Expertise collective

Dyslexie Dysorthographie Dyscalculie

Bilan des données scientifiques

Inserm

Institut national
de la santé et de la recherche médicale

Dyslexie
Dysorthographie
Dyscalculie

Bilan des données scientifiques

Dyslexie, dysorthographie, dyscalculie
Bilan des données scientifiques

ISBN 978-2-85598-856-X

© Les éditions Inserm, 2007 101 rue de Tolbiac, 75013 Paris

Dans la même collection

- Obésité. Dépistage et prévention chez l'enfant. 2000
- Asthme et rhinites d'origine professionnelle. 2000
- Lombalgies en milieu professionnel. Quels facteurs de risques et quelle prévention ? 2000
- Dioxines dans l'environnement. Quels risques pour la santé ? 2000
- Hormone replacement therapy. Influence on cardiovascular risk ? 2000
- Rythmes de l'enfant. De l'horloge biologique aux rythmes scolaires. 2001
- Susceptibilités génétiques et expositions professionnelles. 2001
- Éducation pour la santé des jeunes. Démarches et méthodes. 2001
- Alcool. Effets sur la santé. 2001
- Cannabis. Quels effets sur le comportement et la santé ? 2001
- Asthme. Dépistage et prévention chez l'enfant. 2002
- Déficits visuels. Dépistage et prise en charge chez le jeune enfant. 2002
- Troubles mentaux. Dépistage et prévention chez l'enfant et l'adolescent. 2002
- Alcool. Dommages sociaux, abus et dépendance. 2003
- Hépatite C. Transmission nosocomiale. État de santé et devenir des personnes atteintes. 2003
- Santé des enfants et des adolescents, propositions pour la préserver. Expertise opérationnelle. 2003
- Tabagisme. Prise en charge chez les étudiants. 2003
- Tabac. Comprendre la dépendance pour agir. 2004
- Psychothérapie. Trois approches évaluées. 2004
- Déficiences et handicaps d'origine périnatale. Dépistage et prise en charge. 2004
- Tuberculose. Place de la vaccination dans la maladie. 2004
- Suicide. Autopsie psychologique, outil de recherche en prévention. 2005
- Cancer. Approche méthodologique du lien avec l'environnement. 2005
- Trouble des conduites chez l'enfant et l'adolescent. 2005
- Cancers. Pronostics à long terme. 2006
- Éthers de glycol. Nouvelles données toxicologiques. 2006
- Déficits auditifs. Recherches émergentes et applications chez l'enfant. 2006
- Obésité. Bilan et évaluation des programmes de prévention et de prise en charge. 2006
- La voix. Ses troubles chez les enseignants. 2006

DANGER LE PHOTOCOPILLAGE TUE LE LIVRE

Ce logo rappelle que le code de la propriété intellectuelle du 1er juillet 1992 interdit la photocopie à usage collectif sans autorisation des ayants-droits.
Le non-respect de cette disposition met en danger l'édition, notamment scientifique.

Toute reproduction, partielle ou totale, du présent ouvrage est interdite sans autorisation de l'éditeur ou du Centre français d'exploitation du droit de copie (CFC, 20 rue des Grands-Augustins, 75006 Paris).

Couverture : conception graphique © am bourgeois

Expertise collective

Dyslexie Dysorthographie Dyscalculie

Bilan des données scientifiques

Inserm

Institut national
de la santé et de la recherche médicale

Cet ouvrage présente les travaux du groupe d'experts réunis par l'Inserm dans le cadre de la procédure d'expertise collective, pour répondre à la demande du Régime social des indépendants, anciennement la Canam, concernant la dyslexie, la dysorthographie et la dyscalculie. Ce travail s'appuie sur les données scientifiques disponibles en date du deuxième semestre 2006. Plus de 2 000 articles ont constitué la base documentaire de cette expertise.

Le Centre d'expertise collective de l'Inserm a assuré la coordination scientifique et éditoriale de cette expertise collective. Dans le cadre de la mission d'accompagnement des expertises collectives mise en place par Christian Bréchot, Directeur général de l'Inserm, l'expertise a bénéficié des conseils de Jean-Marie Danion, professeur de psychiatrie représentant la Direction générale de l'Inserm, de Jean-Claude Ameisen, président du comité d'éthique de l'Inserm, et des membres du département de l'information scientifique et de la communication sous la direction de Pascale Sillard et Patrick Chanson.

Groupe d'experts et auteurs

Pierre BARROUILLET, Faculté de psychologie et de sciences de l'éducation, Université de Genève, Suisse
Catherine BILLARD, Centre de référence sur les troubles des apprentissages, neuropédiatrie, Hôpital Bicêtre, Le Kremlin Bicêtre
Maria DE AGOSTINI, Recherche en épidémiologie et biostatistique, Inserm U 780, CNRS, Villejuif
Jean-François DÉMONET, Service de neurologie, Inserm U455, Hôpital de Purpan, Toulouse
Michel FAYOL, Laboratoire de psychologie sociale et cognitive, Université Blaise Pascal et CNRS, Clermond-Ferrand
Jean-Émile GOMBERT, Centre de recherche en psychologie, cognition et communication, CRPPC, Université Rennes 2, Rennes
Michel HABIB, Service de neurologie pédiatrique, Hôpital des enfants de la Timone, Marseille
Marie-Thérèse LE NORMAND, Physiologie et neurologie du développement, Inserm E 9935, Hôpital Robert Debré, Paris
Franck RAMUS, Laboratoire de sciences cognitives et psycholinguistique, UMR 8554, EHESS, CNRS, ENS, Paris
Liliane SPRENGER-CHAROLLES, Laboratoire de psychologie de la perception, Université René Descartes et FRE 2929 CNRS, Paris
Sylviane VALDOIS, Laboratoire de psychologie et neurocognition, UMR 5105, Université Pierre Mendès France et CNRS, Grenoble

Ont présenté une communication

Catherine BILLARD et coll., Centre de référence sur les troubles des apprentissages, neuropédiatrie, Hôpital Bicêtre, Le Kremlin Bicêtre
Michel HABIB, Service de neurologie pédiatrique, Hôpital des enfants de la Timone, Paris
Marie-Thérèse LE NORMAND et coll., Physiologie et neurologie du développement, Inserm E 9935, Hôpital Robert Debré, Paris
Monique TOUZIN, Unité de rééducation neuropédiatrique, CHU Bicêtre

Ont rédigé une note de lecture

Michel DELEAU, Psychologie du développement, Université de Rennes
Nicolas GEORGIEFF, Institut des Sciences Cognitives, Bron
Philippe MEIRIEU, Sciences de l'éducation, Université Lumière-Lyon 2

Remerciements

L'Inserm et le groupe d'experts remercient Stanislas DEHAENE (Neuroimagerie cognitive, Inserm U 562, Service Hospitalier Frédéric Joliot, CEA, Orsay) et José MORAÏS (Faculté des sciences psychologiques et de l'Éducation, Université libre de Bruxelles) pour leur relecture de l'ouvrage ainsi que pour leurs conseils.

Coordination scientifique, éditoriale et logistique

Fabienne BONNIN, chargée d'expertise, Centre d'expertise collective de l'Inserm, Faculté de médecine Xavier-Bichat, Paris
Catherine CHENU, attachée scientifique, Centre d'expertise collective de l'Inserm, Faculté de médecine Xavier-Bichat, Paris
Jeanne ÉTIEMBLE, directrice, Centre d'expertise collective de l'Inserm, Faculté de médecine Xavier-Bichat, Paris
Cécile GOMIS, secrétaire, Centre d'expertise collective de l'Inserm, Faculté de médecine Xavier-Bichat, Paris
Anne-Laure PELLIER, attachée scientifique, Centre d'expertise collective de l'Inserm, Faculté de médecine Xavier-Bichat, Paris
Chantal RONDET-GRELLIER, documentaliste, Centre d'expertise collective de l'Inserm, Faculté de médecine Xavier-Bichat, Paris

Préface

Je remercie le Régime social des indépendants RSI (anciennement la Canam) d'avoir confié à l'Inserm la réalisation d'une expertise collective sur des troubles affectant les apprentissages scolaires tels que la dyslexie, dont l'importance en santé publique a justifié un plan national d'action en 2001.

Je tiens tout particulièrement à féliciter le groupe d'experts d'avoir traité un sujet particulièrement difficile en faisant une analyse objective de la littérature disponible dans les champs disciplinaires où les progrès ont été les plus marqués ces dernières années. Je souhaite que cet éclairage scientifique soit utile aux professionnels du secteur de l'Education et de la Santé pour aider les enfants à surmonter leur handicap.

Cette expertise ne prétend pas avoir abordé tous les aspects concernant ces troubles à composantes multiples ni avoir répondu à toutes les questions. La recherche doit se poursuivre pour combler les nombreuses lacunes de connaissance. L'interdisciplinarité est un facteur de succès de cette recherche comme le soulignent les experts.

La réalisation de cette expertise s'est inscrite dans le cadre d'une évolution en cours des expertises collectives à l'Inserm visant à mieux intégrer dans le débat les différents points de vue et modes de pensée.

Les représentants des associations de patients et de parents, des professionnels du champ éducatif, médical et para-médical (orthophonistes, neuropsychologues, psychologues…) ont eu l'occasion d'échanger sur le travail réalisé par les experts avant la publication de cette expertise et d'apporter leur point de vue, leur expérience et leur savoir-faire. Leurs propos rapportés dans cet ouvrage contribuent à sa qualité.

Je remercie chaleureusement mes collaborateurs qui ont prodigué leurs conseils au cours de ce travail dans le cadre de leur mission d'accompagnement des expertises collectives que j'ai mise en place. Je remercie également tous les scientifiques et professionnels impliqués dans les apprentissages et leurs troubles qui, par une lecture critique de tout ou partie du document, selon leur champ d'intérêt, ont permis d'en améliorer la rédaction.

Je souligne l'intérêt que l'Inserm accorde au débat qui doit se poursuivre après ce travail conséquent mais nécessairement limité des experts. J'invite le lecteur à prendre connaissance des trois notes de lecture confiées à des personnalités choisies pour leurs approches différentes et complémentaires.

Professeur Christian Bréchot

Directeur général de l'Inserm

Sommaire

Avant-propos XIII

Analyse

I Acquisitions et apprentissages 1

De l'acquisition du langage aux apprentissages scolaires 3

1. Acquisition du langage oral : repères chronologiques 5
2. Apprentissage de la lecture 33
3. Apprentissage de la production écrite et de l'orthographe 79
4. Apprentissage de l'arithmétique 107
5. Apprentissage du langage écrit chez les sourds 137

II Troubles spécifiques des apprentissages 149

Des difficultés d'apprentissage aux troubles spécifiques 151

6. Définitions et classifications 159
7. Données de prévalence 175
8. Dyslexie : études de cas 191
9. Dyslexie : études de groupes et de cas multiples 217
10. Dysorthographie 273
11. Dyscalculie et troubles de l'apprentissage de l'arithmétique 291
12. Troubles des acquisitions associés à la dyslexie 343
13. Troubles comportementaux ou émotionnels associés à la dyslexie 367

III Théories explicatives de la dyslexie 379

Des premières approches de la dyslexie aux hypothèses actuelles 381

14. Théorie phonologique 389
15. Théorie visuelle 419
16. Théorie du déficit de la fonction cérébelleuse 451
17. Théorie du trouble du traitement temporel 459
18. Apport de l'imagerie cérébrale 479
19. Facteurs génétiques 497
20. Analyse critique des théories explicatives de la dyslexie 513

IV Prévention et prise en charge 535
Du repérage à la prise en charge à l'école et à la pratique clinique ... 537
21. Repérage, dépistage et diagnostic 541
22. Bilan des études de prévention en milieu scolaire 571
23. Traitements et méthodes de rééducation de la dyslexie 591
24. Stratégies de soins des troubles spécifiques et associés 613

Synthèse, principaux constats, recommandations 635

Communications / Débat 719
Résultats préliminaires d'une étude épidémiologique au CE1 721
Trois méthodes comparées de rééducation 743
Exemple de remédiation neurodéveloppementale 767
Rééducation orthophonique dans la dyslexie 785

Rencontre-débat du 16 janvier 2007 793

Note de lecture de Michel Deleau 807
Note de lecture de Nicolas Georgieff 811
Note de lecture de Philippe Meirieu 819
Réponse du groupe d'experts au propos de Philippe Meirieu 823

Annexes 827
Expertise collective Inserm 829
Centres référents pour les troubles du langage 835

Avant-propos

Depuis les années 2000, la Caisse nationale des travailleurs indépendants (Canam), devenue en 2005 le Régime social des indépendants (RSI) a sollicité l'Inserm pour la réalisation de plusieurs expertises collectives relatives à la santé des enfants. Elles portent, entre autres, sur l'obésité, les troubles mentaux et les troubles spécifiques des apprentissages scolaires identifiés comme des priorités en santé publique au niveau national.

La dyslexie, qui entrave l'apprentissage de la lecture, est le trouble spécifique le plus connu et le mieux étudié. La dyscalculie ou la dysorthographie ont fait l'objet de beaucoup moins de recherches. Les difficultés scolaires liées à ces troubles s'ils ne sont pas pris en charge peuvent conduire à la marginalisation voire à la stigmatisation des enfants et les échecs cumulés aboutir à des difficultés d'insertion sociale à l'âge adulte.

La Canam (RSI) a souhaité que l'Inserm réalise, à travers la procédure d'expertise collective, un état des connaissances scientifiques récentes permettant de mieux connaître et comprendre les troubles spécifiques des apprentissages scolaires ainsi qu'un bilan des publications scientifiques concernant les outils et méthodes de repérage et de prise en charge.

Pour répondre à cette demande, l'Inserm a réuni un groupe de 11 experts ayant des compétences dans les domaines de la psychologie cognitive, la psychologie du développement, la neuropsychologie de l'enfant, la pédiatrie, les neurosciences, la psycholinguistique, la linguistique et l'épidémiologie.

L'impact que peuvent avoir les progrès des connaissances scientifiques sur la prise en charge de la dyslexie et des autres troubles spécifiques des apprentissages est une des questions de l'expertise. De nombreux outils de remédiation de la dyslexie sont aujourd'hui proposés sans pour autant que leur efficacité ait été évaluée ni même que leurs références théoriques aient été explicitées. Cette situation justifie un état de lieux des connaissances sur la dyslexie, la dysorthographie et la dyscalculie ainsi que sur les méthodes de prise en charge.

La dysphasie (trouble spécifique du langage oral) et la dyspraxie (trouble de l'acquisition de la coordination) n'ont pas été abordées dans le cadre de cette expertise ciblée sur les troubles spécifiques des apprentissages scolaires. Ces troubles ont cependant un retentissement important sur les apprentissages scolaires. Ils sont évoqués dans le chapitre sur les troubles associés et mériteraient de faire l'objet d'un bilan approfondi des connaissances au cours d'une prochaine expertise collective Inserm.

Le groupe a structuré sa réflexion autour des questions suivantes :

• Que sait-on à l'heure actuelle de l'acquisition « normale » du langage, de l'apprentissage de la lecture, de l'orthographe et du calcul, pouvant éclairer la compréhension des troubles spécifiques des apprentissages ?

• Quelles sont les définitions et classifications des troubles spécifiques des apprentissages utilisées dans les différentes études pour en déterminer leur fréquence et leur démographie ?

• Qu'est-ce que la dyslexie, quelles sont ses principales manifestations et leur fréquence ?

• Quels sont les autres troubles spécifiques des apprentissages (dyscalculie, dysorthographie) et leurs relations avec la dyslexie ? Quels autres troubles sont fréquemment associés ?

• Quelles sont les principales théories explicatives de la dyslexie et quel a été l'apport dans ce domaine des nouvelles technologies scientifiques (neuro-imagerie, génétique, neurosciences cognitives) ayant permis les avancées récentes ?

• Quelles sont les différentes méthodes de remédiation et comment s'articulent-elles avec les théories actuelles ? Quel est l'état actuel des recherches scientifiques en matière d'indications de prises en charge et d'évaluation des méthodes proposées ?

• Quels sont les outils et stratégies disponibles en termes de repérage, dépistage, diagnostic et prise en charge ? Quelles sont les perspectives dont les enseignants, les familles et les enfants eux-mêmes pourraient tirer bénéfice ?

L'ouvrage est constitué de quatre parties. Pour comprendre la dyslexie, la dysorthographie et la dyscalculie, il est apparu indispensable de présenter tout d'abord de manière synthétique l'acquisition du langage oral, l'apprentissage de la lecture, de la production écrite, de l'orthographe et du calcul chez l'enfant ne présentant pas de difficulté particulière. Ceci constitue la première partie de l'ouvrage.

La deuxième partie est consacrée à la présentation des troubles spécifiques des apprentissages scolaires (définition, prévalence…). La diversité des formes de dyslexie est illustrée à travers l'analyse des études de cas alors que l'étude des populations d'enfants dyslexiques révèle une forte prévalence d'un déficit cognitif spécifique (le déficit phonologique). Les données de la littérature relatives à la dysorthographie et dyscalculie développementales sont encore peu développées. Les fréquentes associations entre troubles « dys » et d'autres troubles psychiques ouvrent des pistes de réflexion sur des mécanismes physiopathologiques communs.

Les différentes théories explicatives de la dyslexie (déficit phonologique, déficit du traitement auditif temporel, théories visuelles, déficit de la fonc-

tion cérébelleuse, théorie magnocellulaire,…) font l'objet d'une troisième partie. Le lien avec d'autres troubles développementaux contribue à engendrer de nouvelles hypothèses. On voit donc là un chantier foisonnant de recherches. Les travaux en neurobiologie, neuro-imagerie, en génétique moléculaire, loin d'être aboutis, ouvrent des pistes intéressantes sur les mécanismes possibles de ces déficits.

La dernière partie de l'ouvrage est centrée sur le repérage, le dépistage, le diagnostic, la prévention et la prise en charge. Le bilan des connaissances effectué dans cette expertise conforte-t-il ou non les principes généraux sur lesquels s'appuient les pratiques professionnelles et les modes d'organisation pour la prise en charge des enfants ? Selon la méthodologie de l'expertise collective Inserm, cette partie ne décrit pas l'ensemble des pratiques en France mais analyse les différentes méthodes de remédiation ayant fait l'objet de publications et leur évaluation scientifique. D'une manière générale, et en ce qui concerne l'approche diagnostique et la prise en charge multidisciplinaire ces troubles ne doivent-ils pas être conçus comme relevant d'un handicap ?

Des rapports antérieurs à cette expertise (rapport Ringard, 2000 ; rapport Véber et Ringard, 2001) ont donné lieu à un Plan national d'action pour les enfants atteints d'un trouble spécifique du langage (Ministère de la santé, Ministère de l'éducation nationale, 2001)[1]. Ce plan traduit une volonté d'agir pour améliorer la situation de ces enfants et de leur famille. Dans le cadre de ce plan, des études épidémiologiques et des programmes de recherche notamment dans le domaine de l'évaluation des pratiques de soins de même que sur les stratégies pédagogiques et sur les contenus didactiques étaient prévus. Cinq ans après leur mise en œuvre, les mesures entreprises dans le cadre du plan national dans le champ de la santé font l'objet d'une évaluation conduite par la Fédération nationale des observatoires régionaux de santé sous l'égide de la Direction générale de la santé. Toujours, dans le cadre de ce plan, une commission d'experts a travaillé sur les outils de dépistage des troubles du langage, le rapport a été rendu public en 2006[2] au moment de la finalisation des travaux de cette expertise collective et n'a donc pu être intégré à l'analyse.

1. http://www.sante.gouv.fr/htm/dossiers/troubles_langage/plandysl.pdf
ftp://trf.education.gouv.fr/pub/edutel/actu/2001/03_21_dp_troublelangage.pdf
2. http://www.sante.gouv.fr/htm/dossiers/troubles_langage/recommandations_tsl.pdf

I

Acquisitions et apprentissages

Introduction : De l'acquisition du langage aux apprentissages scolaires

Les chapitres de cette première partie visent à dresser un bilan critique des données actuellement disponibles relativement à l'acquisition du langage et à l'apprentissage de la lecture, de l'écriture et du calcul. En effet, pour répondre à l'objectif de cette expertise concernant les troubles spécifiques des apprentissages scolaires, leur repérage, caractérisation et prise en charge, il faut au préalable disposer d'informations suffisantes sur le déroulement « normal » des apprentissages concernés.

Peu d'apprentissages se réalisent spontanément sans que nous ayons à y investir de l'attention et du temps. C'est notamment le cas de tous les apprentissages complexes : la lecture, l'arithmétique, mais aussi le piano, l'ébénisterie ou l'électronique… De telles acquisitions impliquent la rencontre d'obstacles plus ou moins nombreux et fréquents qui doivent être surmontés pour progresser : on peut alors parler de difficultés d'apprentissage. Tant que les individus peuvent dépasser ces difficultés, seuls ou accompagnés, ou bien les « contourner », si par exemple l'apprentissage n'est pas imposé, le problème des troubles se pose peu : on en reste à l'existence de difficultés.

La situation est tout autre lorsqu'un savoir ou un savoir-faire est requis pour l'insertion dans la société. Lire, compter, écrire sont autant d'acquisitions considérées comme indispensables dans les sociétés occidentales. Les pratiques pédagogiques mises en place au cours de l'histoire ont conduit à établir des programmes, des progressions et des étapes décrivant et imposant plus ou moins selon les champs disciplinaires quand et comment ces acquisitions doivent se réaliser pendant la scolarité.

On peut considérer que cette « stratégie programmée » constitue un moyen d'optimiser ce que les individus peuvent acquérir dans un domaine de connaissance donné, compte tenu de leur niveau de développement, des savoirs et savoir-faire déjà acquis, du temps disponible (qui dépend de l'importance du domaine considéré par rapport aux autres) et des objectifs poursuivis par l'institution et, à travers elle, la société. Dès lors, les (inévitables) difficultés sont supposées adaptées, c'est-à-dire surmontables par les apprenants, sous réserve que l'introduction des savoirs et savoir-faire soit préparée et que l'accès à leur maîtrise soit guidé de manière à tenir compte des différences interindividuelles de niveau initial, de capacité, de rythme et de motivation.

Pourtant, malgré toutes les adaptations des programmes et progressions, et malgré les aménagements de dispositifs d'enseignement, les difficultés « normales », généralement surmontées par la plupart des apprenants apparaissent insurmontables pour une partie d'entre eux, au moins à un moment donné du cursus et dans le cadre d'une organisation définie de l'apprentissage. Les difficultés durablement non surmontées par certains font qu'ils s'écartent du niveau de réussite attendu (ou prescrit) des apprenants relativement à un ou plusieurs domaines à une période définie du cursus. Cet écart conduit à s'interroger sur ce qui le détermine. Plusieurs facteurs doivent être envisagés : carences éducatives, irrégularité de la scolarisation, qualité de l'enseignement reçu, existence de troubles sensoriels ou neurologiques, niveau de motivation, retard général de développement. Lorsque ces diverses éventualités ont pu être écartées, on peut alors parler de trouble spécifique des apprentissages.

Les cinq chapitres qui suivent visent précisément à décrire ce qui est connu du déroulement usuel des apprentissages de manière à contribuer à mieux caractériser les enfants qui s'écartent des trajectoires attendues et dont certains peuvent ainsi être considérés comme présentant des troubles spécifiques des apprentissages.

1

Acquisition du langage oral : repères chronologiques

La capacité d'un nouveau-né à apprendre sa langue maternelle ne cesse d'étonner. En quelques années, il va pouvoir maîtriser la grammaire de sa propre langue qui est un système complexe de propriétés phonologiques, lexicales et syntaxiques. Les études linguistiques et cognitives abordent la question de l'acquisition de la parole et du langage en se référant à ce système en trois composantes : la forme, le contenu et l'usage. La forme comprend la phonologie, le lexique, la morphologie et la syntaxe. Le contenu comprend la signification qui est la sémantique du langage. L'usage est la pragmatique ou l'étude de l'ensemble des codes qui régissent les intentions de communication des locuteurs. La figure 1.1 représente schématiquement les composantes du langage.

Figure 1.1 : Composantes du langage

Dès les premiers mois, une capacité perceptive des sons de la parole permet au bébé de discriminer, de catégoriser les sons élémentaires puis de reconnaître certains mots de sa langue par la prosodie (l'enveloppe « musicale » de la parole avec ses aspects de rythme, de tempo, de mélodie, d'accent, d'intonation). Vers 7-8 mois, les bébés sont capables de reconnaître et de mémoriser des formes syllabiques de type « mot » avec des séquences consonnes-voyelles bien définies appartenant aux particularités de sa langue. Vers 9-10 mois, c'est la période de la production du babillage et des premiers mots avant l'explosion lexicale vers 18 mois, l'émergence des assemblages de mots vers 24 mois, et enfin la construction des catégories morphosyntaxiques à partir de 30 mois. Même si la variabilité inter-individuelle est très importante, la période 0-3 ans est décisive dans le déroulement du processus d'acquisition de la parole et du langage chez l'enfant comme l'illustre la figure 1.2.

Figure 1.2 : Chronologie des acquisitions du langage chez l'enfant de 0 à 3 ans

Perception de la parole : premières étapes

Les caractéristiques de la perception de la parole ont été mises en évidence de façon très précoce chez le bébé.

Attention sélective et perception catégorielle

La perception catégorielle des sons de parole a été observée au cours d'épreuves d'habituation. Chez le bébé exposé à un stimulus acoustique, le

rythme de succion tend à diminuer (habituation) si le stimulus ne varie pas ; il s'accélère en revanche, lorsqu'on présente un stimulus que le nourrisson perçoit comme différent du premier. Des expériences fondées sur ce paradigme d'habituation avec succion non nutritive montrent qu'à la naissance, l'enfant perçoit de façon catégorielle des contrastes sonores de parole reposant sur le trait de voisement (sourdes *versus* sonores). Eimas et coll. (1971) et Mehler et coll. (1988) ont montré qu'entre la naissance et 4 mois, les bébés étaient capables de discriminer même les contrastes qui ne sont pas présents dans leur environnement (Jusczyk, 1997). À partir de cette capacité perceptive initiale, le nourrisson développe et organise sa perception des sons de la langue environnante (Kuhl, 1992) pendant que les contrastes non représentés dans sa langue finissent par ne plus être detectés vers 10-13 mois (Werker et Tees, 1984). L'influence spécifique d'une langue apparaît plus tôt sur les voyelles que sur les consonnes (Polka et Werker, 1994). L'espace vocalique serait constitué vers l'âge de 10 mois. Puis, les répertoires consonantiques d'enfants appartenant à des communautés linguistiques diverses se différencieraient progressivement entre 11 et 13 mois.

Segmentation précoce et perception des indices prosodiques (rythme et mélodie)

Bien avant de pouvoir comprendre le sens des mots, le bébé en privilégie la forme sonore (Saffran et coll., 1996 ; Nazzi et coll., 1998 ; Nazzi et coll, 2000 ; Ramus et coll., 2000a et b ; Bertoncini et Nazzi, 2004 ; Kuhl, 2004 ; Nazzi et coll., 2005). Le bébé est sensible aux diverses régularités rythmiques et mélodiques de sa langue (mots fortement accentués, terminaisons de phrases). Cela suggère que la reconnaissance précoce de la langue maternelle dans les deux premiers mois de vie serait en fait une reconnaissance du type de rythme de la langue maternelle. Des discriminations plus fines entre la langue maternelle et des langues de la même famille rythmique émergent vers 5 mois.

Les études portant sur le développement de la segmentation de la parole laissent apparaître le rôle fondamendal des indices prosodiques (rythme et mélodie) dans l'initialisation des processus de traitement, en particulier pour la segmentation permettant d'extraire les mots et de repérer les régularités syntaxiques qui organisent les phrases en unités linguistiques hiérarchisées. La « composante prosodique » est nécessaire pour mettre en relation la phonologie et la syntaxe (Morgan, 1986 ; Jusczyk, 1992 ; Morgan et Demuth, 1996 ; Gout et coll., 2004).

La langue environnante module la perception de la parole du très jeune enfant (Werker et Lalonde, 1988 ; de Boysson-Bardies, 2004). Chaque langue possède un matériel prosodique, phonologique et phonétique spécifique, ainsi que des règles particulières de mise en relation des différentes caté-

gories syntaxiques. En russe, par exemple, le sens d'une phrase comme « maman embrasse bébé » sera différent selon la désinence ou la terminaison des mots « bébé » et « maman » ; on comprendra soit que maman est embrassée, soit au contraire que bébé est embrassé : « mama tseluyet malyutkU » veut dire « maman embrasse bébé » mais « mamU tseluyet malyutka » veut dire « bébé embrasse maman ». Un bébé russe de 12 mois doit donc être attentif à la terminaison des mots alors qu'un bébé français de même âge doit focaliser son attention sur l'ordre des mots.

Production de la parole : premières étapes

Du babillage au récit, plusieurs étapes jalonnent le développement linguistique de l'enfant.

Babillage

Les premiers travaux portant sur le babillage remontent à Jakobson (1969) qui décrivait le babillage comme une suite de sons, aléatoires et extrêmement variés, n'entretenant aucune relation ni avec les premiers mots des enfants, ni avec ceux des adultes. Depuis, un grand nombre de travaux ont montré une continuité entre les sons présents dans les premières vocalisations prélinguistiques et ceux présents dans les premières formes langagières signifiantes.

Son émergence est même considérée comme un moment clé du développement langagier et sa description en stades comme un élément crucial de la compréhension du développement linguistique chez le jeune enfant. Un retard de l'apparition du babillage serait même un prédicteur des troubles des apprentissages ultérieurs (Oller et coll., 1999).

Principales étapes du babillage

À 1 mois et même avant, des mouvements phonatoires quasi réflexes de type [Øeu] ont été observés.

De 1 à 4 mois, des séquences phoniques, constituées de syllabes primitives nettement perceptibles par l'entourage, formées de sons quasi vocaliques et de sons quasi consonantiques articulés à l'arrière de la gorge apparaissent.

De 4 à 8 mois, on observe des brusques changements de la fréquence fondamentale, des productions de voix bitonales et des tremblements de la voix. Le répertoire phonique s'élargit avec l'apparition de sons consonantiques longuement tenus. Vers l'âge de 6 mois, le « babillage rudimentaire » (*marginal babble*) se compose d'assemblages consonne-voyelle difficilement segmentables en raison d'une articulation assez lâche et de

transitions très lentes entre les mouvements de fermeture et d'ouverture du tractus vocal.

Vers 8-10 mois, les enfants commencent à produire le babillage canonique c'est-à-dire des syllabes bien formées de type CV (consonne-voyelle). Le babillage canonique est un assemblage articulatoire qui se compose d'un « noyau d'énergie », le son vocalique, et d'au moins « une marge », le son consonantique qui possède les caractéristiques temporelles de la langue-cible.

MacNeilage et Davis (1993 et 2000) ont développé une théorie biomécanique explicative de ces tendances communes appelée théorie du cadre et du contenu (*frame-content theory*). Selon ces auteurs, le babillage est réalisé par des cycles simples ou répétés d'oscillation mandibulaire (le cadre) provoquant la production de structures simples ou redupliquées de type CV. Ainsi, observe-t-on une tendance forte de la part des enfants à commencer leurs énoncés par une consonne et à l'achever par une voyelle.

Selon MacNeillage et Davis (2000), les langues du monde ont également tendance à conforter le type syllabique CV, seul type considéré comme universel. La première période de production enfantine serait ainsi dominée par le cadre dans lequel les inventaires et structures de sons particuliers peuvent être réalisés grâce à la seule oscillation mandibulaire avec une contribution minimale des articulateurs. La deuxième étape représente une phase de complexification avec introduction du contenu dans le cadre. L'inventaire des sons connaît une augmentation significative puis, à partir d'une taille d'inventaire donnée, apparaît la capacité à moduler ces sons de façon inter- et intra-syllabique. Ces mouvements de complexification sont présents à la fois dans les langues du monde et chez les enfants. Des analyses de fréquence de mots ont révélé la présence de ces formes dans dix langues actuelles : en anglais, estonien, français, allemand, hébreu, japonais, maori, quechua, espagnol et swahili (MacNeilage et Davis, 2000).

D'autres chercheurs estiment que la langue environnante serait à l'origine de certaines productions préférentielles à la fin de la période de babillage et au cours de la période des premiers mots. De Boysson-Bardies et coll. (1984) ont fait écouter à des adultes naïfs des séquences de babillage en français, arabe et cantonais. Les participants avaient pour tâche d'identifier le babillage des enfants français âgés de 8-10 mois. Le résultat obtenu – 70 % d'identifications correctes – suggère que le babillage de la période prélinguistique présente des caractéristiques intonatives dépendantes de la langue environnante. De Boysson-Bardies et coll. (1989) ont également comparé des voyelles produites par des enfants français, anglais, cantonais et algériens. Ces auteurs aboutissent à la conclusion suivante : la qualité acoustique des voyelles produites dans le babillage diffère d'une langue à l'autre.

Le babillage serait tout d'abord redupliqué, formé d'une chaîne de syllabes identiques du type « mamama », « papapapa ». Il se diversifierait ensuite, les

syllabes successives différant les unes des autres soit par la consonne, soit par la voyelle, soit par les deux, « patata », « tokaba », « badata ». Dans ces séries, le jeune enfant favorise les syllabes ouvertes de type CV au détriment de celles de type syllabique fermé : CVC (Oller et Eilers, 1982 ; Locke, 1983 ; Kent et Bauer, 1985 ; Stoel-Gammon, 1985 ; Vihman, 1992).

Premiers mots

La production du lexique chez l'enfant est l'un des phénomènes les plus spectaculaires dans toutes les langues du monde. Ce phénomène est marqué par un brusque accroissement du vocabulaire entre 12 et 30 mois. En moyenne, un enfant produit 10 mots à 12 mois, 50 mots à 18 mois, plus de 300 mots à 24 mois et 500 mots à 30 mois. Les études à grande échelle sur 39 langues[3] ont montré non seulement une régularité dans le rythme des acquisitions mais aussi des variations interindividuelles et interculturelles considérables. Les facteurs qui sous-tendent les régularités et les variations de cette « explosion lexicale » sont multiples et ne semblent pas répondre aux mêmes « lois » développementales.

Les premiers mots sont souvent constitués d'une ou de deux syllabes identiques formées d'une consonne et d'une voyelle. L'enfant les utilise pour désigner toute une gamme d'objets (surgénéralisation). Il est d'ailleurs nécessaire de connaître le contexte pour interpréter ces premiers mots. Ces surgénéralisations se réduisent à mesure que s'affine la discrimination.

Les premiers mots que prononce l'enfant sont loin d'avoir la valeur de précision de nos concepts adultes. Un même mot peut être utilisé dans des situations très différentes. Le mot « manteau » par exemple peut désigner le vêtement, le chapeau blanc ou la poussette utilisée pour la promenade. Il est facile de comprendre comment l'enfant associe les divers éléments d'une situation telle que l'habillage en vue d'une sortie par exemple, et les désigne par le même terme.

Eve Clark (1974) a étudié la généralisation des premiers mots. Elle montre par exemple que la classe « ouf-ouf » [ufuf] peut désigner les animaux de petite taille comme le chien, le mouton, le chat tandis que les mots « meuh-meuh » [m | m |] sont employés pour les animaux de grande taille. Cela sup-

3. http://www.sci.sdsu.edu/cdi/adaptations_ol.htm
Anglais (Grande-Bretagne), anglais (Nouvelle-Zélande), allemand (Autriche), allemand (Allemagne), bantou (kiswahili et kigiriama, Afrique), bengali, basque, catalan, cantonais (Hong-Kong), chinois, croate, coréen, danois, espagnol (Cuba), espagnol (Mexique), espagnol (Europe), finlandais, français (Canada), français (Europe), galicien, grec, hongrois, hébreu, islandais, italien, japonais, langue des signes (USA), malaisien, mandarin (Beijing), néerlandais, polonais, portugais (Brésil), roumain, russe, tamoul (Ceylan), thaï, turc, suédois

pose une représentation mentale par laquelle le sens des premiers mots devra s'affiner à mesure que l'enfant acquiert d'autres mots et qu'il perçoit les différences entre les objets et les situations. Tout nouvel élément d'information sur son univers semble amener l'enfant à restructurer le sens initial de ses premiers mots.

Dès l'âge de 10-13 mois, l'enfant émet des énoncés ne comportant qu'un seul mot (période dite « un mot à la fois »).

L'accès aux premiers mots suppose chez l'enfant une certaine connaissance des objets et des événements de son environnement. Avant de pouvoir associer une séquence sonore particulière à une classe particulière d'objets, il doit :

- disposer du concept de l'objet, c'est-à-dire distinguer entre objet et contexte ;
- apprendre que les sons émis par l'adulte sont liés à un objet particulier, et que l'objet est toujours associé à ce son ;
- avoir la notion qu'un item lexical désigne le même objet même si ce dernier apparaît à différents moments, en différents endroits, à différentes distances et dans différentes positions. Les attributs sont indépendants des contextes auxquels ils s'appliquent et réciproquement : la mère, ou le père, peut changer de vêtements ou de coiffure, mais reste la même personne ;
- organiser la coordination de l'espace, des objets et des événements appréhendés dans ses différentes modalités sensorielles.

La base sémantique des premiers mots chez le jeune enfant est donc constituée par un système initialement limité mais ouvert, qui encode les objets familiers concrets, les principales personnes de son entourage, de même que, progressivement, les états et les changements d'état de ces objets et personnes, les actions que les personnes effectuent sur les objets et les sentiments immédiats de ces personnes.

Évaluation des premiers mots

Généralement, les premiers mots de l'enfant se réfèrent aux personnes et aux objets avec lesquels ils sont le plus souvent en contact, les objets et les personnes qui font partie de son univers, les membres de sa famille, les animaux, la nourriture, les boissons et les jouets (Nelson, 1973). L'adaptation française de l'inventaire du développement communicatif de Bates-Mac-Arthur (*Communicative Development Inventories*, CDI) pour évaluer les premiers mots de l'enfant à 12 mois (Kern, 2003 ; Bovet et coll., 2005a et b) est présentée dans le tableau 1.I. On demande aux parents de cocher la première colonne (C) pour les mots que l'enfant comprend mais ne dit pas encore (on considère que l'enfant comprend un mot même s'il ne le comprend que dans une seule situation) ou bien de cocher la deuxième colonne (CD) pour les mots que l'enfant comprend et qu'il utilise de manière spontanée. Si sa prononciation est différente de celle des adultes, on coche tout de même le mot.

Tableau 1.I : Adaptation du CDI : Inventaire français du développement communicatif (IFDC)

C CD	C CD	C CD	C CD
abeille	aïe	ainsi font font…	allô
arrête/r	attends/attendre	attention	au revoir
a/avoir soif	balle	ballon	bébé
biberon/bibi	bois/boire	bonjour	bonne nuit
caillou	camion de pompier	chat	chaud/e
chaussette	chien/toutou	chut	clef
collier	couche/lange	coucou	cuillère
cuisine	danse/r	donne/r	dors/dormir/faire dodo
eau	encore	être fatigué	fais/faire un bisou
fenêtre	figure/visage	fleur	frigo
gâteau/biscuit	glace (aliment)	jour	là
lapin	lit	livre	main
maison	maman	mange/r	marche/r
merci	miam-miam	miaou	montre/r
musique	nez	prénom de l'enfant	nombril/bourrillon
non	nounours	ouaf-ouaf	oui
pain	papa	(petit) déjeuner	pied
poubelle	prends/prendre	purée	regarde/r
s'il te plaît	sucette/tutte	tante/tata/tatie	tee-shirt
téléphone	tombe/r	tortue	vite
voiture/auto			

La croissance du vocabulaire est très rapide entre 16 et 20 mois, période de l'explosion lexicale des 50 premiers mots qui s'étend sur une période de 4 à 5 mois.

Base phonologique des premiers mots

Les enfants mettent plus de deux ans à partir de leurs premiers mots pour produire l'inventaire complet des consonnes et des voyelles (Fikkert, 1998). L'acquisition est relativement lente parce que l'articulation motrice est très complexe, qui requiert la coordination fine de plusieurs dizaines de muscles pour programmer et réaliser plus d'une dizaine de cibles phonétiques par seconde. Il y aurait un « encodeur phonétique » qui prévoit deux voies pour établir un plan articulatoire, celle de l'assemblage et celle de la récupération de plans stockés pour des patterns fréquents (Levelt et coll., 1999).

Les préférences phonétiques au cours de la production des premiers mots et dans certaines langues du monde semblent indiquer l'existence de propriétés fondamentales du système de production.

Explosion lexicale

La période désignée sous le terme d'« explosion lexicale » a été rapportée par un grand nombre d'auteurs tels Mac Carthy (1954), Bloom (1973), Benedict (1979) ou plus récemment Goldfield et Reznik (1996). Elle se caractérise par un apprentissage très rapide mais également par une utilisation cohérente, catégorielle et conventionnelle des mots. Néanmoins, il existe un grand nombre de divergences entre les auteurs concernant la définition de ce phénomène d'explosion lexicale. En effet, bien que la majorité des études s'accordent sur le fait que tout enfant connaissant un développement normal passe par cette poussée lexicale (*lexical spurt*), quelques unes avancent le cas d'enfants ayant un développement plus progressif de leur répertoire lexical. C'est le cas de Nelson (1973) qui note un apprentissage plus progressif chez des enfants anglophones possédant un lexique plus varié. Il en va de même pour Goldfield et Reznik (1996) qui observent que sur 18 enfants anglophones de 14 à 24 mois, seulement 13 manifestent une explosion lexicale.

On note aussi des divergences quant au moment de l'apparition de cette explosion lexicale. Dans la plupart des cas, elle surviendrait lorsque l'enfant possède environ 50 mots différents dans son répertoire, à savoir au cours d'une période s'étendant de 16 à 19 mois (Poulin-Dubois et Graham, 1994). D'autres auteurs la situent vers 20-24 mois, juste quelques semaines avant l'émergence de la syntaxe (Dromi, 1987 ; Mervis et Bertrand, 1995). Une raison possible de ces divergences pourrait être que la variabilité interindividuelle reste importante au début de la production du lexique. Les variations de la période de l'explosion lexicale seraient aussi associées à la diversité et la complexité des langues (Bloom, 1970 ; Vihman, 1986 ; De Boysson-Bardies et Vihman, 1991 ; Vihman et De Boysson-Bardies, 1994).

La recherche des facteurs qui seraient à l'origine des variations interindividuelles dans le développement du vocabulaire donne des résultats encore très controversés. Si l'on a traditionnellement tendance à associer une précocité du vocabulaire aux filles plutôt qu'aux garçons, et aux milieux socioculturels les plus favorisés (Le Normand, 1999 et 2006), certains travaux suggèrent que les facteurs cognitifs liés au traitement du langage et particulièrement à la mémoire phonologique sont aussi déterminants (Adams et Gathercole, 1996). Les auteurs de cette étude ont testé un groupe d'enfants entre 2 et 3 ans sur trois critères de mémoire phonologique (séquence de chiffres, répétition de mots et de non-mots) et sur des épreuves faisant intervenir d'autres aptitudes cognitives. Les résultats montrent que l'aptitude à la répétition est associée à la fois à la connaissance du vocabulaire et à la maîtrise des capacités articulatoires, indiquant ainsi que les capacités de mémoire phonologique peuvent être évaluées de manière fiable chez les très jeunes enfants.

L'existence de variations interindividuelles observées dans les premières productions de mots est très liée à l'émergence des premières catégories morphosyntaxiques chez les jeunes enfants. Un tel constat a conduit les auteurs à postuler deux mécanismes d'apprentissage :

• un mécanisme analytique qui permettrait aux enfants de décomposer la parole entendue (l'*input*) en unités pertinentes pour construire des représentations adéquates ;
• un mécanisme holistique qui permettrait à l'enfant de stocker et de reproduire de larges segments (*chunks*) bien avant que ceux-ci ne soient analysés. Ce sont par exemple, des marques de remplissage comme les « *fillers* » tels que « a » ou « è » simples voyelles centrales indifférenciées devant le nom ou le verbe, très fréquentes à 20 mois (Peters et Strömquist, 1996 ; Veneziano et Sinclair, 2000 ; Demuth, 2001).

Ces premières formes paragrammaticales coexisteraient aussi souvent avec d'autres expressions verbales comme les expressions « oui-non », les onomatopées, les interjections, les formes syncrétiques prêtes à l'emploi comme « ça+y+est », « il+est+là », « c'est+beau+ça », « bonne+nuit », « bonjour », « au+revoir », autant de formes mémorisées, figées, qui sont restituées à bon escient. L'origine de ces variations individuelles reste encore méconnue mais relance le débat sur le rôle des facteurs de maturation linguistique et/ou cognitive et des facteurs spécifiques à la langue.

Assemblages de mots

À partir de 20 mois, ce qui correspond au stade moyen des 50 mots, les assemblages de mots se mettent en place très rapidement. La question ici est celle des relations formes-fonctions et particulièrement de l'organisation des mots selon leur fonction. Comment l'enfant maîtrise-t-il les contraintes sémantiques et syntaxiques qui président à l'organisation séquentielle des énoncés ? Selon Braine (1963, 1971 et 1976), tout se passerait comme si l'enfant sélectionnait, dans le langage entendu, un petit nombre de mots et s'en servait en leur attribuant une position fixe. L'enfant mettrait en application un nombre limité de formules positionnelles qui seraient directement apprises et dérivées du langage adulte selon un principe dit « de généralisation contextuelle ». Ce principe de la « grammaire pivot » stipule que l'enfant repère la position d'un mot ou d'un groupe de mots dans les énoncés de l'adulte et tend ensuite à utiliser le mot ou le groupe de mots en « formules » à la même place, c'est-à-dire dans le même contexte. L'agencement des premiers mots ne semble donc pas être laissé au hasard. Très vite l'enfant repère un petit nombre de formes verbales dans le langage de l'adulte et les utilise dans ses propres productions.

Caractéristiques des assemblages de mots : omissions des catégories syntaxiques

Ce qui caractérise la période d'assemblage de mots, c'est la fréquence très élevée de l'omission des catégories syntaxiques dans le système nominal (déterminants, préposition, adjectifs possessifs ou démonstratifs) et dans le système verbal (pronoms, auxiliaires, copules).

Parisse et Le Normand (2000a) ont étudié les assemblages de mots en constatant une bonne correspondance entre les productions de l'enfant de 24 mois et celles de l'adulte. Les résultats du tableau 1.II montrent, en effet, que les bi-catégories utilisées le plus fréquemment par les enfants sont des fragments d'énoncés d'adulte.

Tableau 1.II : Assemblages de mots définis comme étant des bi-catégories (d'après Parisse et Le Normand, 2000a)

Enfants 24 mois				Adulte	
Rang*	Nombre de bi-catégories	Bi-catégories	Exemples	Rang	Nombre de mots
1	197	pro+v|être	c'+est	3	4 949
2	168	det+n	le +bébé	1	6 866
3	46	v|être+adv (place)	est+ là	131	122
4	46	v|être+adj	est+ petit	29	727
5	44	pro rel+pro	où+l'est	4	3 292
6	40	v|avoir+adv (neg)	a+pas	39	530
7	39	prep: art+n	du+pain	8	2 340
8	39	v|être+v (pp)	est+parti	30	706
9	35	pro+v	moi+veux	2	5 200
10	31	pro| y+v|avoir	y'+a	23	877
11	29	adv: neg+adv (place)	pas+ là	207	56
12	29	adj+n	petit bébé	16	1 224
13	25	Co act+pro	oh+moi	118	146
14	24	Co act+v (pp)	oh+parti	548	1
15	20	v|être+adv (neg)	est+pas	36	627
Total	812				27 663

pro : pronom ; v : verbe ; det : déterminant ; n : nom ; adv : adverbe ; adj : adjectif ; rel : relatif ; neg : négation ; prep : préposition ; art : article ; pp : participe passé ; co act : co-actant
* Le rang est lié à la fréquence d'utilisation des bi-catégories

Ces productions ont été recueillies en situation de jeu avec un matériel audiovisuel et analysées selon le codage du *Childes* (*Child Language Data Exchange System* : Système d'échanges des données du langage chez l'enfant). Elles ont révolutionné depuis 1981 les opérations de transcription, de codage, de stockage, d'analyse automatique, et de transfert et partage des données (McWhinney, 2000 ; Parisse et Le Normand, 2000b ; Rose, 2003).

Quelle est la nature de ces omissions ?

Radford (1990) avance l'hypothèse qu'au début, la grammaire de l'enfant est limitée aux catégories lexicales, le système grammatical/fonctionnel étant

soumis à une maturation plus tardive. Wexler (1994) montre aussi qu'il existe un stade dans le développement linguistique du jeune enfant, au cours duquel celui-ci n'utilise pas forcément les marques de temps dans des phrases principales bien qu'il connaisse les propriétés de la flexion des verbes. Il rapporte également que dans d'autres langues, en français (Pierce, 1992) et en allemand (Poeppel et Wexler, 1993), mais aussi en danois, en norvégien, en suédois notamment, le jeune enfant de 2 ans utilise parfois les formes infinitives des verbes alors que des formes fléchies sont attendues. En outre, dans ces contextes grammaticaux et pour une même phrase, des infinitifs peuvent être, selon lui, présents ou absents, donc optionnels.

Ces infinitifs ont été nommés infinitifs racines (*root infinitives*) par Rizzi (1994) et infinitifs facultatifs (*optional infinitives*) par Wexler (1994). Cette période d'acquisition caractérisée par la possibilité de produire des énoncés déclaratifs à l'infinitif se retrouve aussi dans un grand nombre de langues comme l'anglais, l'allemand, le néerlandais, le suédois, le danois et le norvégien. Le phénomène est apparemment quasi inexistant dans les langues permettant l'omission libre du sujet, comme l'italien, l'espagnol et le catalan (Guasti, 1994 ; Sano et Hyams, 1994) ou le japonais (Sano, 1996). Chez les enfants francophones, il est difficile de repérer clairement cette période de l'infinitif racine et facultatif à cause de l'homophonie « é »/« er » que l'on retrouve dans ces verbes du premier groupe qui sont très fréquemment utilisés par l'enfant francophone au début de la construction de la formation des mots. De plus, les enfants francophones produisent de manière co-occurente des énoncés déclaratifs à temps conjugué en réalisant des surgénéralisations.

Caractéristiques des premières formes morpholexicales : principe de surgénéralisation (exemple du suffixe « é » pour les verbes irréguliers)

L'enfant ayant appris, par exemple, l'emploi du suffixe « é » pour indiquer le participe passé, applique ce principe en le généralisant aux verbes des autres groupes. Il produit alors des structures comme « il a metté » pour « il a mis », « il a batté » pour « il a battu », « il a rié » pour « il a ri », « il a répondé » pour « il a répondu », « il a boivé » ou « il a buvé » pour « il a bu ». Toujours, en raison d'un principe de généralisation, il fera aussi des erreurs comme « il a prendu » pour « il a pris », « il a éteindu » pour « il a éteint », « il a couri » pour « il a couru »… Dans tous ces cas, l'enfant applique un principe à des éléments linguistiques de façon inappropriée.

Inversement, il se produit des cas où l'enfant applique un principe exceptionnel à des structures linguistiques stables. Il est donc possible de l'entendre dire : « il a envoi » pour « il a envoyé », erreur sans doute formée par analogie à des structures irrégulières comme « il a écrit » ou « il a conduit » ou encore il pourra dire « il dormra » pour « il dormira ».

La surgénéralisation peut s'étendre aussi au domaine lexical. Lorsque l'enfant crée des mots nouveaux, il a tendance à les concevoir à partir des

structures déjà existantes. Par exemple, il pourra dire « la chambre de nuit » par analogie avec « la chemise de nuit ».

Indice de maturité syntaxique : longueur moyenne de l'énoncé

D'après plusieurs auteurs (Brown, 1973 ; Miller et Chapman, 1981 ; Rondal et coll., 1985 ; Wells, 1985), la « longueur moyenne de l'énoncé » (LME) évalue la maturité et la complexité syntaxique de l'enfant. Cette échelle se présente en six phases de développement (tableau 1.III).

Tableau 1.III : Six stades de l'échelle LME (Longueur moyenne de l'énoncé)

Phases	LME (en morphèmes par énoncés)	Âge (mois)	Caractéristiques
I	1 à 2	12 à 26	Énoncés à 1 ou 2 mots
II	2 à 2,5	27 à 30	Énoncés à 2 mots et +
III	2,5 à 3	31 à 34	Phrases simples
IV	3 à 3,75	35 à 40	Phrases complexes
V	3,75 à 4,5	41 à 46	Coordination de phrases
> V+	> 4,5	> 47	Construction de récits

Selon Brown (1973), la LME est un bon indice de la maturité du langage des jeunes enfants. Sa validité chez le jeune enfant est fiable lorsqu'on obtient 50 énoncés ou plus.

L'énoncé se définit soit :
- comme une production verbale marquée à son début et à sa fin par une pause ;
- comme une production verbale marquée à son début et à sa fin par une modification de l'intonation ;
- par son caractère grammatical : des phrases complètes définies comme des productions verbales contenant au minimum un nom ou un pronom dans une relation sujet-verbe, des phrases incomplètes (pas de sujet, verbes à l'impératif…).

Des données francophones (Le Normand, 1991 et 2006) portant sur des enfants âgés de 24 à 36 mois ont décrit l'évolution de cet indice avec l'âge. Tous les auteurs s'accordent pour estimer, qu'au-delà d'une longueur moyenne de 4 mots par énoncé, ce que dit l'enfant est davantage fonction du contexte dans lequel est recueilli le langage que de sa maturité syntaxique. Il n'y a plus de corrélation entre la LME et l'âge. Il convient donc de limiter l'utilisation du LME à une période bien déterminée (24-36 mois). Ce fait a été confirmé par d'autres données, soit francophones portant sur 60 enfants âgés respectivement de 20, 30 et 39 mois (Bassano et coll., 1998 ; Bassano, 2005), soit collectées dans d'autres langues, dégageant ainsi un cer-

tain nombre de variations et de régularités. Au-delà de cet âge, d'autres catégories syntaxiques doivent être définies pour apprécier le développement syntaxique. Ce qui importe ici est le processus très rapide mis en œuvre par l'enfant pour apprendre à utiliser de manière appropriée ces catégories : le système nominal avec l'émergence des déterminants (article défini et indéfini) et des prépositions, les flexions du nom avec les marques de l'accord du genre et du pluriel, mais aussi le système verbal (auxiliaires, copules) avec l'émergence des pronoms, le développement des flexions du verbe (conjugaisons) et la subordination des énoncés.

Certaines langues comme les langues latines et le russe utilisent beaucoup de désinences. Les enfants qui se familiarisent avec de telles langues acquièrent très vite ces mots grammaticaux qui se reflètent dans les énoncés binaires avec des compléments d'objet direct et indirect. La désinence du complément d'objet direct est parmi celle que l'enfant acquiert le plus vite lorsqu'il apprend le russe, le serbo-croate, le latvien, le hongrois, le finnois et le turc.

En français, l'ordre des mots détermine le sens de la phrase. Un énoncé se compose généralement sur le modèle « sujet-verbe-complément d'objet » (SVO). Dès que l'enfant a compris l'ordre des mots, il peut attribuer un sens différent aux énoncés tels que : « le garçon pousse la fille » ; « la fille pousse le garçon ».

Construction de récits

Les recherches à propos du récit oral chez l'enfant ont conduit à distinguer, d'une part, entre une dimension que l'on peut considérer comme conceptuelle qui a trait à la représentation des séquences d'événements et une autre plus spécifiquement linguistique et, d'autre part, relativement à cette dernière, entre une dimension rhétorique concernant la structure des textes narratifs et une autre ayant trait aux aspects lexico-syntaxiques intervenant dans la mise en texte (Fayol, 1985 et 2000). L'intérêt de ces distinctions repose sur le fait que les connaissances mobilisées et leurs modalités d'acquisition ne se recouvrent pas et que leur acquisition pose des problèmes spécifiques.

Représentation mentale des séquences d'événements

La dimension conceptuelle concerne la représentation mentale des états et événements du monde réel ou fictif ainsi que les relations temporelles ou causales qu'ils entretiennent et qui font intervenir des objets, lieux et personnages. Elle correspond approximativement à ce qui est dénommé dans la littérature « modèle mental » (Johnson-Laird, 1983) ou modèle de situation

(van Dijk et Kintsch, 1983). Elle vaut aussi bien pour les récits oraux ou écrits que pour les films ou les bandes dessinées. Elle relève de la représentation du monde indépendamment de la manière dont celle-ci est (re)codée (Gernsbacher, 1990). Elle a donné lieu à plusieurs approches théoriques, dont la plus importante pour ce qui a trait au récit a été élaborée par Schank et Abelson (1977). Cette conception postule que la compréhension ou la production de récit est sous-tendue par une trame mentale où les actions s'organisent en fonction de buts poursuivis par des agents, lesquels développent ces actions pour déjouer les obstacles qui s'opposent à l'atteinte de ces buts. Ces séquences événementielles ne sont ni verbalisées, ni dessinées. Cette trame est formalisable sous forme de réseaux causaux : chaînes d'événements liés entre eux par des relations d'ordre temporel, causales ou autres. L'étude du développement de la compréhension et de la production des chaînes chronologico-causales met en évidence deux faits paradoxaux. D'une part, l'acquisition et la mise en œuvre de ces chaînes se révèlent très précoces puisqu'elles sont disponibles dès l'âge de 5 ans et même avant (Sperry et Sperry, 1996). D'autre part, l'étude de la compréhension en lecture et de la composition écrite révèle que la construction de modèles mentaux correspondant à ces chaînes évolue à nouveau entre 6 et 10 ans. Tout se passe comme si le passage à l'écrit, en raison des situations énonciatives qui le caractérisent par rapport à l'oral et des contraintes nouvelles qu'il fait peser sur les traitements, induisait une diminution ou une stagnation des capacités de mobilisation des connaissances relatives aux chaînes causales et aux inférences qu'elles supportent.

Structure textuelle des récits

La dimension rhétorique tient au fait que la mise en forme langagière du récit ne se limite pas à énoncer les personnages, lieux, objets et événements. Pour une culture donnée, il existe une ou plusieurs formes canoniques d'organisation des énoncés (et non seulement des contenus qu'ils évoquent) (Gutteriez-Clellen et coll., 1995). Les travaux des années soixante-dix ont mis en évidence l'effet de ces organisations généralement dénommées superstructures narratives. Pour Mandler et Jonhson (1977) comme pour Stein et Glenn (1979), tout récit comporte un « cadre » (*frame*) dans lequel se trouvent précisés les lieux, moments et personnages. Ce « cadre » se place en début des récits, ce qui correspond à des contraintes pragmatiques liées à l'efficacité de la communication, mais non aux nécessités du déroulement des faits (de la trame). Vient ensuite un « déclencheur », lequel introduit un obstacle qui s'oppose en général à l'atteinte du but poursuivi par le personnage principal. Cet obstacle induit une réaction émotionnelle ainsi que l'élaboration d'un « sous-but » visant à lever ou contourner l'obstacle. Il s'ensuit une ou plusieurs « tentatives », actions plus ou moins couronnées de succès, jusqu'au résultat final.

Les recherches portant sur les adultes attestent que les récits comportant tous les constituants dans l'ordre conventionnel sont mieux rappelés que ceux qui ne respectent pas ces contraintes (Yussen et coll., 1991). Cet effet a été observé chez les enfants dès l'âge de 4-5 ans et dans différentes cultures. Toutefois, les plus jeunes tendent à rappeler moins bien certaines catégories narratives que les adultes : les réactions et les buts notamment (Mandler et coll., 1980). Cette caractéristique des patrons de rappel des plus jeunes est probablement imputable au développement des chaînes causales : les enfants de 4-5 ans rencontrent des difficultés dans la prise en compte de ce qui motive les séquences d'actions. En revanche, Poulsen et coll. (1979) montrent que la « fin des histoires » se trouve privilégiée lorsqu'elle s'insère dans un récit (en images) par rapport à la condition où elle se situe dans une suite aléatoire d'images.

Les premiers récits respectent rarement l'organisation cadre-déclencheur/complication-tentative/action(s)-résolution. Il faut attendre environ 7-8 ans pour que cette superstructure devienne dominante. Notamment, le placement en début de récit des éléments du cadre se révèle relativement tardif (Fayol, 1991). Cette apparition d'un cadre formellement identifiable est contemporaine de l'utilisation normée de l'imparfait et du plus-que-parfait ainsi que d'expressions telles que « la veille », « le lendemain ». Ces formes relèvent en français des conventions narratives. Auparavant, les enfants tendent plutôt à produire un résumé de l'événement caractéristique du discours en situation qui sera ultérieurement développé, au moins lorsqu'ils élaborent un récit présentant une unité thématique. Ce passage d'un mode d'organisation précoce à dominante discursive à un autre correspondant mieux aux conventions du récit écrit pose le problème des raisons qui sous-tendent cette évolution.

Il paraît plausible que l'acquisition du schéma narratif soit liée à l'exposition à un corpus de récits écrits. Seuls, ces récits présentent les régularités d'organisation correspondantes. Varnhagen et coll. (1994) ont montré chez des enfants de première et deuxième années primaires (CP à CE1) que la lecture et l'audition répétées et prolongées de textes narratifs induisent chez ces enfants l'acquisition des régularités caractéristiques de la superstructure narrative. Cette hypothèse souligne que ceux qui ne bénéficient pas d'une telle exposition ne développeront pas ce schéma. Les données de Cain (1996) confirment que les enfants qui ont une compréhension faible sont aussi ceux dont les productions narratives s'écartent le plus de la superstructure du récit et qu'ils ont été moins que les autres en contact avec des récits écrits, que ceux-ci leur aient été lus ou qu'ils les aient lus eux-mêmes. La simple exposition passive aux textes narratifs ne suffit d'ailleurs pas à entraîner l'extraction des régularités. Fitzgerald et Spiegel (1983) ont conçu un programme d'entraînement à la découverte et à l'utilisation de la superstructure narrative en production. Les enfants ainsi instruits ont manifesté une amélioration significative de performances en production, mais aussi en compré-

hension, confirmant ainsi l'existence des corrélations observées par Cain (1996).

En résumé, le schéma narratif facilite l'intégration des informations en compréhension et la complétude et le respect du caractère conventionnel des récits en production. Son intervention ne se confond pas avec celle des relations chronologico-causales. Il constitue une organisation rhétorique conventionnelle qui ne peut s'acquérir que par exposition à un corpus de textes présentant les régularités correspondantes. Son acquisition est très précoce et dépend fortement du contact avec les récits écrits. Toutefois, un apprentissage explicite par instruction s'avère efficace, même à un âge relativement élevé.

Dimension linguistique dans la construction du récit : mise en texte

La dimension linguistique concerne tous les phénomènes liés à la mise en texte. Elle a surtout été analysée relativement au développement du récit.

Tout récit met en scène un ou plusieurs personnage(s) qui doive(nt) être introduit(s) dans la narration puis ré-évoqué(s) au fur et à mesure des besoins. Les langues disposent de marques spécifiques pour assurer ces différentes fonctions. Par exemple, les personnages ou objets nouveaux apparaissent d'abord précédés d'un article indéfini (« un homme entra »). Les mentions ultérieures utilisent des déterminants définis : articles (« l'homme »), pronoms (« il »), adjectifs démonstratifs (« cet homme »). Globalement, l'emploi, très stéréotypé, de ces marques ne soulève plus de problème chez l'adulte. Il fait toutefois appel à des régularités subtiles qui donnent parfois lieu à des erreurs (Reichler-Béguelin, 1994), notamment lorsque plusieurs personnages sont concernés et que leurs « poids » respectifs dans les actions successives varient (Fayol, 1997a).

Une autre dimension linguistique a trait au marquage de la continuité et de la discontinuité événementielles. Les récits décrivent des événements successifs dont les liaisons peuvent être de force et de nature diverses, par exemple, du simple déroulement parallèle de deux activités (« l'homme marchait/ une automobile passait ») à une relation causale étroite (« le coup partit/ l'homme tomba »). Des marques indiquent les degrés et natures des liaisons : connecteurs (et, mais, alors…) (Bestgen et Costermans, 1997 ; Fayol et Mouchon, 1997), signes de ponctuation (Fayol, 1997b ; Heurley, 1997), formes verbales permettant de distinguer entre des actions de premier plan et des faits ou états relevant du second plan (« l'homme marchait/un bruit attira son attention ») (Hickmann, 1997).

La chronologie de l'acquisition sur les aspects morphologiques et syntaxiques du récit chez l'enfant suggère que le statut morphologique des catégories syntaxiques et leur construction se maîtrisent progressivement.

Statut morphologique de l'article

La chronologie approximative de l'acquisition de l'article dans le système du nom chez l'enfant se réalise en moyenne dans le sens de la maîtrise de l'accord (masculin et féminin) et du nombre (singulier et pluriel) sur les articles indéfinis vers 3 ans avant de porter sur celui des articles définis vers 3 ans et demi.

Peu d'études ont analysé systématiquement le « statut » morphologique des articles définis dans le langage enfantin. Celles qui existent soulignent qu'au début, l'unité [dét+nom] semble difficilement décomposable. Selon certains auteurs, l'article a le statut d'un préfixe, pour d'autres, il s'agit d'une partie non segmentée de la représentation phonologique du nom dépourvue de statut morphologique indépendant (Sourdot, 1977 ; Peters, 1983 ; Carroll, 1989). C'est seulement dans un deuxième temps que les articles sont (ré)analysés en tant que morphèmes indépendants. De même, Heinen et Kadow (1990) mentionnent que les enfants commencent avec l'article défini et qu'on le trouve même pendant cette période dans des contextes où l'on s'attend à un article indéfini. Clark et coll. (1985) puis Clark (1998) affirment que les enfants francophones ont tendance jusqu'à l'âge de 6 ans à sur-employer l'article défini, comme si les réferents de l'unité [dét+nom] étaient connus des auditeurs alors qu'ils ne le sont pas. La relation entre la connaissance mutuelle et l'emploi des articles n'est pas facile à maîtriser. Une perspective similaire est défendue par Karmiloff-Smith (1979) pour qui l'article défini est d'abord utilisé dans une fonction déictique c'est-à-dire en situation « *hic and nunc* ». C'est dans un deuxième temps que l'enfant prend en considération la situation extralinguistique.

Du point de vue des phonologues, l'article est considéré comme un élément inaccentué qui dépend de l'élément lexical qui suit (l'adjectif/le nom). L'article n'a pas d'accent individuel (Selkirk, 1984). En français, cette dépendance de l'article est explicite, dans le contexte d'un mot lexical qui commence par une voyelle ou un « h » dit « muet ». Le français connaît un allomorphe élidé de l'article défini dans ce contexte :

- « l'orange » peut devenir « la norange » ou « la orange » ;
- « l'histoire » peut devenir « la histoire ».

Lorsque l'article défini masculin est sélectionné par les prépositions « à », ou « de », deux autres allomorphes apparaissent comme le résultat de la contraction de l'article défini et la préposition. Étant donné que seuls les éléments ayant le statut de têtes syntaxiques peuvent s'amalgamer, il est attendu que cette opération ne s'étende pas aux démonstratifs qui sont des catégories maximales :

- « à » + « le » devient « au » ;
- « de » + « le » devient « du ».

La capacité qu'a l'article défini de s'élider et de se contracter avec les prépositions (« à » et « de ») relève d'une propriété plus générale d'éléments nommés « clitiques ».

Statut morphologique du pronom

La chronologie approximative généralement admise dans la plupart des études sur les pronoms est la suivante : « moi » au cours des premiers mots à partir de 18 mois, « je », « tu », « il », « elle »… à partir de 30 mois (Pierce, 1992 ; Kaiser, 1994 ; Meisel, 1995 ; Ferdinand, 1996 ; Jakubowicz et Faussart, 1998 ; Granfeldt et Schlyter, 2001 et 2003). Entre 3 ans et 3 ans et demi, apparaissent les acquisitions des pronoms objets comme « le » et « la » (Hamann et coll., 1996 ; Jakubowicz et Faussart, 1998 ; Granfeldt et Schlyter, 2003), et des pronoms réfléchis comme « se » (Barrière et coll., 2000).

D'autres études ont montré que la restructuration prosodique (comme l'élision, l'amalgame, et le phénomène de liaison) sont des processus transitoires fréquents entre 2 et 4 ans qui apparaissent fréquemment dans les pronoms peu accentués (Chevrot et Fayol, 2001 ; Wauquier-Graveline, 2004 ; Chevrot et coll., 2005).

Karmiloff-Smith (1986) définit trois étapes qui président à l'utilisation adéquate des pronoms dans le récit. Entre 3 et 5 ans, les enfants ne mettent pas encore en relation le pronom et le nom auquel il réfère. Entre 5 et 8 ans, les enfants utilisent les pronoms en référence au sujet principal de l'histoire à raconter. Enfin, ce n'est qu'entre 8 et 12 ans que les enfants maîtrisent la stratégie dite « anaphorique » complète consistant à utiliser les pronoms pour tous les personnages de l'histoire racontée. Le traitement des anaphores reste longtemps problématique.

Flexions verbales

La fonction temporelle spécifique des flexions verbales n'est pas encore établie après 6 ans. De 3 à 6 ans, elles ne servent qu'à exprimer les caractéristiques de l'action. À cet âge, l'enfant utilise plus fréquemment les adverbes et les conjonctions de temps que les flexions verbales pour exprimer les relations temporelles entre les événements.

Connecteurs entre les propositions

Les études sur la construction du récit des enfants montrent que les connecteurs entre les propositions ne sont pas acquis avant 10-11 ans (pour une revue, voir Fayol, 1983 et 1997a ; Jisa, 1985 ; de Weck, 1991 ; Jisa et Kern, 1998 ; Hickman, 2000).

Entre 3 et 4 ans, les enfants n'utilisent pas encore de manière conventionnelle les connecteurs du langage qui relient les propositions. Ils emploient beaucoup de déictiques temporels comme « ici », « là », « maintenant » ou de simples coordinateurs comme « et », « mais ». Au cours de cette période, il s'agit de marquer l'ajout d'un événement plutôt qu'une relation particulière entre les différents événements. Cette stratégie souligne deux aspects de la production des enfants : d'une part, ils ont des difficultés à construire un récit décontextualisé et d'autre part, ils réalisent plus une sorte d'énuméra-

tion des différents états de choses qu'une entité textuelle cohérente. Les contraintes communicationnelles sont encore peu respectées.

À 5 ans, les enfants commencent à établir des liens plus clairs et plus variés entre les événements qui se déroulent dans un récit. Ce sont surtout des relations de la simultanéité (conjonction de coordination : « et » ; conjonction de coordination et adverbe de temps : « et puis » ; conjonction de subordination et de séquentialité : « quand » ; adverbes temporels : « après », « puis »). La coordination domine la subordination. Elle est représentée principalement par des locutions adverbiales et des propositions relatives. Pour les enfants de 5 ans, l'auditeur a encore besoin de fournir des efforts d'interprétation des formes.

À 7 ans, ils utilisent surtout des coordinateurs temporels exprimant la séquentialité. Le regroupement en blocs informationnels est introduit par quelques expressions temporelles au début de l'histoire. La simultanéité est exprimée par des subordonnées temporelles qui restent néanmoins très rares. Rare est également la hiérarchisation des événements, qui sont en règle générale introduits les uns après les autres. Dans le domaine des connecteurs, les enfants de 7 ans respectent les principes de décontextualisation, mais leur compétence narrative n'est pas encore maîtrisée. En effet, certains connecteurs sont utilisés pour la constitution d'une cohérence à un niveau supérieur, celui de l'épisode narratif.

Les connecteurs les plus utilisés chez les enfants de 10-11 ans sont des connecteurs temporels encodant la relation de simultanéité et de séquentialité. Toutefois, les enfants de 10-11 ans disposent aussi d'autres outils pour exprimer ces relations, comme les subordinateurs temporels. Bien que les enfants de 10-11 ans utilisent encore la coordination à la place de la subordination, cette dernière prend une place non négligeable dans leurs productions, signe d'une certaine mise en relief d'événements particuliers, voire d'épisodes narratifs. Les enfants de 10-11 ans, bien que ne possédant pas encore une compétence narrative similaire à celle des adultes, respectent les contraintes qui vont de pair avec la constitution d'une narration en français. Les connecteurs qu'ils utilisent permettent de produire des histoires cohérentes à tous les niveaux d'analyse. Ils ont à leur disposition un éventail varié de formes dont ils maîtrisent les différentes fonctions.

En conclusion, l'ensemble de ces données sur la chronologie des acquisitions de la parole du langage et de la construction du récit devrait permettre aux praticiens (pédagogues et cliniciens) de définir des objectifs mais aussi de repérer les asynchronies de développement. L'évaluation précoce des capacités de segmentation, de l'émergence du babillage, de l'apparition des premiers mots et de la mise en texte à partir des récits dans sa dimension conceptuelle et linguistique se justifie en raison de la valeur prédictive que ces capacités présentent par rapport à l'apprentissage de la lecture et de l'écriture.

BIBLIOGRAPHIE

ADAMS AM, GATHERCOLE SE. Phonological working memory and spoken language development in young children. *Quarterly Journal of Experimental Psychology* 1996, **49A** : 216-233

BARRIÈRE I, LORCH M, LE NORMAND MT. La cliticisation en SE dans le langage de l'enfant : surgénéralisation des affixations et des omissions. *In* : La cliticisation. MULLER C (ed). Centre National de la Recherche Scientifique, Bordeaux, 2000

BASSANO D, MAILLOCHON I, EME E. Developmental changes and variability in the early lexicon: a study of French children's naturalistic productions. *J Child Lang* 1998, **25** : 493-531

BASSANO D. A naturalistic study of early lexical development: general processes and inter-individual variations in french children. *First Language* 2005, **25** : 67-101

BENEDICT H. Early lexical development: Comprehension and production. *J Child Lang* 1979, **6** : 183-200

BERTONCINI J, NAZZI T. Développement précoce de la perception de la parole. *In* : Développement psychologique du nourrisson. LÉCUYER R (ed). Editions Dunod, Paris, 2004 : 387-424

BESTGEN Y, COSTERMANS J. Temporal markers of narrative structure: Studies in production. *In* : Processing interclausal relationships. COSTERMANS J, FAYOL M (eds). Erlbaum, Mahwah, NJ, 1997

BLOOM L. Language Development: Form and function in emerging grammars. MIT Press, Cambridge, MA, 1970

BLOOM L. One word at a time: The use of single word utterances before syntax. Mouton, The Hague, The Netherlands, 1973

BOVET F, DANJOU G, LANGUE J, MORELLO M, TOCKERT E, KERN S. Les inventaires français du développement communicatif (IFDC) du nourrisson. *Médecine et Enfance* 2005a, **25** : 327-332

BOVET F, DANJOU G, LANGUE J, MORELLO M, TOCKERT E, KERN S. Un nouvel outil d'évaluation du développement communicatif du nourrisson. *Médecine et Enfance* 2005b, **25** : 67-74

BRAINE MDS. The ontogeny of English phrase structure: The first phase. *Language* 1963, **39** : 3-13

BRAINE MDS. On two types of models of the internalization of grammar. *In* : The ontogenesis of grammar. SLOBIN DI (ed). Academic Press, New York, 1971

BRAINE MDS. Children's first word combinations. With Commentary by Melissa Bowerman. 41 in Monographs of the Society for Research in Child Development, University of Chicago Press, Chicago, 1976

BROWN R. A first language : the early stages. George Allen and Uwin, London, 1973

CAIN K. Story knowledge and comprehension skill. *In* : Reading comprehension difficulties. CORNOLDI C, OAKHILL J (eds). Erlbaum, Mahwah, NJ, 1996 : 167-192

CARROLL S. Language acquisition studies and a feasible theory of grammar. *The Canadian Journal of Linguistics* 1989, **34** : 399-418

CHEVROT JP, FAYOL M. Acquisition of French liaison and related child errors. *In* : Research on Child Language Acquisition. ALMGREN M, BARREÑA A, EZEIZABARRENA MJ, IDIAZABAL I, MACWHINNEY B (eds). Vol. 2, Cascadilla Press, 2001 : 760-774

CHEVROT JP, DUGUA C, FAYOL M. Liaison et formation des mots en français : un scénario développemental. *Langages* 2005, **158** : 38-52

CLARK EV. Some aspects of the conceptual basis for first language acquisition. *In* : Language perspectives: acquisition, retardation and intervention. University Park Press, Baltimore, MD, 1974

CLARK EV. Lexical creativity in French-speaking children. *Cahiers de Psychologie Cognitive/Current Psychology of Cognition* 1998, **17** : 513-530

CLARK EV, GELMAN SA, LANE NM. Compound nouns and category structure in young children. *Child Development* 1985, **56** : 84-94

DE BOYSSON-BARDIES B. Comment la parole vient aux enfants ? Éditions Odile Jacob, Paris, 2004

DE BOYSSON-BARDIES B, VIHMAN MM. Adaptation to language : Evidence from babbling and first words in four language. *Language* 1991, **67** : 297-319

DE BOYSSON-BARDIES B, SAGART L, DURAND C. Discernible differences in the babbling of infants. according to target language. *Journal of Child Language* 1984, **11** : 1-15

DE BOYSSON-BARDIES B, HALLE P, SAGART L, DURAND C. A crosslinguistic investigation of vowel formants in babbling. *Journal of Child Language* 1989, **16** : 1-17

DE WECK G. La cohésion dans les narrations d'enfants. Étude du développement des processus anaphoriques. Delachaux-Niestlé, Neuchâtel, 1991

DEMUTH K. A prosodic approach to filler syllables. *J Child Lang* 2001, **28** : 246-249

DROMI E. Early lexical development. Cambridge University Press, New YorK, 1987

EIMAS PD, SIQUELAND ER, JUSCZYK PW, VIGORITO J. Speech perception in infants. *Science* 1971, **171** : 303-306

FAYOL M. L'acquisition du récit : un bilan des recherches. *Revue Française de Pédagogie* 1983, **62** : 65-82

FAYOL M. Le récit et sa construction. Delachaux et Niestlé, Neuchâtel, Paris, 1985

FAYOL M. Stories: A psycholinguistic and ontogenetic approach to the acquisition of narrative abilities. *In* : From basic language to discourse basis. PIERAUT LE BONNIEC G, DOLITSKY M (eds). Amsterdam, Benjamin, 1991

FAYOL M. Des idées au texte, psychologie cognitive de la production verbale. Presses Universitaires de France, Paris, 1997a : 145–177

FAYOL M. On acquiring and using punctuation: A study in written French. *In* : Processing interclausal relationships. COSTERMANS J, FAYOL M (eds). Erlbaum, Mahwah, NJ, 1997b : 157-178

FAYOL M. Comprendre et produire des textes écrits. L'exemple du récit. *In* : L'acquisition du langage. KAIL M, FAYOL M (eds). Vol. 2, Paris, Presses Universitaires de France, 2000

FAYOL M, MOUCHON S. Production and comprehension of connectives in the written modality. A study of written french. *In* : Writing development: An interdisciplinary view. PONTECORVO C (ed). John Benjamins, Amsterdam, 1997 : 193-204

FERDINAND A. The development of functional categories. The acquisition of the subject in French. Holland Academic Graphics, The Hague, 1996

FIKKERT P. The acquisition of Dutch phonology'. *In* : The acquisition of Dutch. GILLIS S, DE HOUWER A (eds). Benjamins, Amsterdam, 1998 : 163-222

FITZGERALD J, SPIEGEL DL. Enhancing children's reading comprehension through instruction in narrative structure. *Journal of Reading Behavior* 1983, **15** : 1-17

GERNSBACHER MA. Language comprehension as structure building. Erlbaum, Hillsdale, NJ, 1990

GOLDFIELD BA, REZNICK JS. Why does vocabulary spurt? *In* : Proceedings of the 20th annual Boston University Conference on Language Development. STRINGFELLOW A, CAHAMA-AMITAY D, HUGHES E, ZUKOWSKI A (eds). Vol 1, Cascadilla Press, Somerville, MA, 1996 : 249-260

GOUT A, CHRISTOPHE A, MORGAN J. Phonological phrase boundaries constrain lexical access: II.Infant data. *Journal of Memory and Language* 2004, **51** : 548-567

GRANFELDT J, SCHLYTER S. Acquisition of French subject pronouns in child and adult learners. *In* : Proceedings from the colloquium on Structure, Acquisition and Change of Grammars: Phonological and Syntactic Aspects [Working papers in Multilingualism, 26]. CANTONE KF, HINZELIN MO (eds). Universität Hamburg, 2001 : 89-105

GRANFELDT J, SCHLYTER S. Cliticisation in the acquisition of French as L1 and L2. *In* : The acquisition of French: Focus on functional categories. PRÉVOST P, PARADIS J (eds). John Benjamins, Amsterdam /Philadelphia, 2003 : 442-493

GUASTI MT. Verb syntax in Italian child grammar: Finite and nonfinite verbs. *Language Acquisition: A Journal of Developmental Linguistics* 1994, **3** : 1-40

GUTIERREZ-CLELLEN VF, PENA E, QUINN R. Accommodating cultural differences in narrative style: A multicultural perspective. *Topics on Language Disorders* 1995, **15** : 54-67

HAMANN C, RIZZI L, FRAUENFELDER U. On the acquisition of subject and object clitics of French. *In* : Generative perspectives on language acquisition. CLAHSEN H (ed). John Benjamins, Amsterdam/Philadelphia, 1996 : 309-334

HEINEN S, KADOW H. The acquisition of French by monolingual children : A review of the literature. *In* : Two first languages: Early grammatical development in bilingual children. MEISEL JM (ed). Dordrecht, Foris, 1990 : 47-72

HEURLEY L. Processing units in written texts: Paragraphs or information blocks? *In* : Processing interclausal relationships. COSTERMANS J, FAYOL M (eds). Erlbaum, Mahwah, NJ, 1997 : 179-200

HICKMANN M. Information status and grounding in children's narratives: A cross-linguistic perspective. *In* : Processing interclausal relationships. COSTERMANS J, FAYOL M (eds). Erlbaum, Mahwah, NJ, 1997 : 221-243

HICKMANN M. Le développement de l'organisation discursive. *In* : Acquisition du langage. Le langage en développement. Volume 2. KAIL M, FAYOL M (eds). Collection Psychologie et Sciences de la pensée. PUF, Paris, 2000 : 83-115

JAKOBSON R, FANT CGM, HALLE M. Preliminaries to speech analysis: The distinctive features and their correlates. MIT Press, Cambridge, MA, 1969

JAKUBOWICZ C, FAUSSART C. Gender agreement in the processing of spoken language. *Journal of Psycholinguistic Research* 1998, **27** : 587-617

JISA H. French preschoolers' use of 'et pis' ('and then'). *First Language* 1985, **5** : 169-184

JISA H, KERN S. Relative clauses in French children's narrative text. *Journal of Child Language* 1998, **25** : 623-652

JOHNSON-LAIRD PN. Mental models. Cambridge University Press, Cambridge, MA, 1983

JUSCZYK PW. Developing phonological categories from the speech signal. *In* : Phonological development: models, research, implications. FERGUSON CA, MENN L, STOEL-GAMMON C (eds). Timonium, Maryland, York Press, Monkton, MD, 1992

JUSCZYK PW. The discovery of spoken language. MIT Press, Cambridge, 1997

KAISER G. More about INFL-ection and Agreement: The acquisition of clitic pronouns in French. *In* : Bilingual first language acquisition: French and German grammatical development. MEISEL JM (ed). John Benjamins, Amsterdam, 1994 : 131-159

KARMILOFF-SMITH A. A functional approach to child language: A study of determiners and reference. Cambridge University Press, New York, 1979

KARMILOFF-SMITH A. Language development after five. *In* : Language acquisition. FLETCHER P, GARMAN M (eds). Cambridge University Press, New York, 1986

KENT RD, BAUER HR. Vocalizations of one-year olds. *J Child Lang* 1985, **12** : 491-526

KERN S. Le compte rendu parental au service de l'évaluation de la production lexicale des enfants français entre 16 et 30 mois. *Glossa* 2003, **85** : 48-62

KUHL PK. Speech prototypes: Studies on the nature, functions, ontogeny and phylogeny of the «centers of speech categories». *In* : Speech perception, production and linguistic structure. TOHKURA Y, VATIKIOTIS-BATESON E, SAGISAKA Y (eds). Ohmsha, Tokyo, 1992 : 239-264

KUHL PK. Early language acquisition: cracking the speech code. *Nature Reviews Neuroscience* 2004, **5** : 831-843

LE NORMAND MT. La démarche de l'évaluation psycholinguistique chez l'enfant de moins de trois ans. *Glossa* 1991, **26** : 14-21

LE NORMAND MT. Modèles psycholinguistiques du développement du langage. *In* : Le langage de l'enfant, aspects normaux et pathologiques. CHEVRIE-MÜLLER C, NARBONA J (eds). Masson, Paris, 1999 : 27-42

LE NORMAND MT. Premiers mots et émergence des catégories syntaxiques chez l'enfant. *In* : Neurophysiologie du langage. GOUSSE M (ed). Elsevier, SAS, Paris, 2006 : 31-46

LEVELT WJM, ROELOFO A, MEYER A. A theory of lexical access in speech production. *Behavioral and Brain Science* 1999, **22** : 1-75

LOCKE J. Phonological Acquisition and Change. Academic Press, New York, 1983

MACNEILAGE PF, DAVIS BL. Motor explanations of babbling and early speech patterns. *In* : Developmental Neurocognition: Speech and Face Processing in the First Year of Life. DE BOYSSON-BARDIES B, DE SCHONEN S, JUSCZYK P, MACNEILAGE P, MORTON J (eds). Kluwer, Dordrecht, 1993

MACNEILAGE P, DAVIS BL. On the origin of internal structure of word forms. *Science* 2000, **288** : 527-531

MACWHINNEY B. The CHILDES project: Tools for analyzing talk. Erlbaum, Hillsdale, NJ, 2000

MANDLER J, JONHSON NS. Remembrance of things parsed: Story structure and recall. *Cognitive Psychology* 1977, **9** : 111-151

MANDLER J, SCRIBNER S, COLE M, DE FOREST M. Cross-cultural invariance in story recall. *Child Development* 1980, **51** : 19-26

MCCARTHY DA. Language development in children. *In* : Manual of child psychology. CARMICHAEL L (ed). 2nd ed. John Wiley & Sons, New York, 1954 : 492-630

MEHLER J, JUSCZYK PW, LAMBERTZ C, HALSTED N, BERTONCINI J, AMIEL-TISON C. A precursor of language acquisition in young infants. *Cognition* 1988, **29** : 143-178

MEISEL JM. Parameters in acquisition. *In* : The Handbook of Child Language. FLETCHER P, MACWHINNEY B (eds). Basil Blackwell, Oxford, UK, 1995

MERVIS CB, BERTRAND J. Early lexical acquisition and the vocabulary spurt: A response to Goldfield & Reznick. *J Child Lang* 1995, **22** : 461-468

MILLER JF, CHAPMAN RS. The relation between age and mean length of utterances in morphemes. *Journal of speech and hearing research* 1981, **24** : 154-161

MORGAN JL. From Simple Input to Complex Grammar. MIT Press, 1986

MORGAN J, DEMUTH K. Signal to Syntax: Bootstrapping from Speech to Grammar. Lawrence Erlbaum Associates, Mahwah, NJ, 1996

NAZZI T, BERTONCINI J, MEHLER J. Language discrimination by newborns: toward an understanding of the role of rhythm. *J Exp Psychol Hum Percept Perform* 1998, **24** : 756-766

NAZZI T, JUSCZYK PW, JOHNSON EK. Language discrimination by English-learning 5-month-olds: Effects of rhythm and familiarity. *Journal of Memory and Language* 2000, **43** : 1-19

NAZZI T, DILLEY LC, JUSCZYK AM, SHATTUCK-HUNAGEL S, JUSCZYK PW. English learning infants' segmentation of verbs from fluent speech. *Language and Speech*, 2005, **48** : 279-298

NELSON K. Structure and strategy in learning to talk. N° 149, in Monographs of the Society for Research in Child Development, University of Chicago press, Chicago, 1973

OLLER DK, EILERS RE. Similarity of babbling in Spanish- and English-learning babies. *Journal of Child Language* 1982, **9** : 565-577

OLLER KD, EILERS RE, NEAL AR, SCHWARTZ HK. Precursors to speech in infancy: the prediction of speech and language disorders. *Journal of Communication Disorder* 1999, **32** : 223-245

PARISSE C, LE NORMAND MT. How do children build their morphosyntax: The case of French. *J Child Lang* 2000a, **27** : 267-292

PARISSE C, LE NORMAND MT. Automatic disambiguation of morphosyntax in spoken language corpora. *Behav Res Methods Instrum Comput* 2000b, **32** : 468-481

PETERS AM. The units of language acquisition. Cambridge University Press, New York, NY, 1983

PETERS AM, STRÖMQUIST S. The role of prosody in the acquisition of grammatical morphemes. *In* : From signal to syntax. MORGAN J, DEMUTH K (eds). Lawrence Erlbaum, Hillsdale, NJ, 1996 : 215-232

PIERCE AE. Language acquisition and syntactic theory: A comparative analysis of French and English child grammars. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, 1992

POEPPEL D, WEXLER K. The full competence hypothesis of clause structure in early German. *Language: Journal of the Linguistic Society of America* 1993, **69** : 1-33

POLKA L, WERKER J. Developmental changes in perception of nonnative vowel contrasts. *Journal of Experimental Psychology: human perception and performance* 1994, **20** : 421-435

POULIN-DUBOIS D, GRAHAM SA. Infant categorization and early object word meaning. *In* : Early childhood development in the French tradition: Contributions from current research. VYT A, BLOCH H, BORNSTEIN MH (eds). Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale, NJ, 1994

POULSEN D, KINTSH EH, KINTSH W, PREMAK D. Children's comprehension and memories for stories. *Journal of Experimental Child Psychology* 1979, **28** : 379-403

RADFORD A. Syntactic theory and the acquisition of English syntax: The nature of early child grammars of English. Basil Blackwell, Oxford, UK, 1990

RAMUS F, HAUSER MD, MILLER C, MORRIS D, MEHLER J. Language discrimination by human newborns and by cotton-top tamarin monkeys. *Science* 2000a, **288** : 349-351

RAMUS F, NESPOR M, MEHLER J. Correlates of linguistic rhythm in the speech signal. *Cognition* 2000b, **75** : AD3-AD30

REICHLER-BEGUELIN MJ. L'encodage du texte écrit. *In* : Proceedings of the workshop on understanding early literacy in a developmental and cross-linguistic approach, vol. 2, European Science foundation, 1994

RIZZI L. Some notes on linguistic theory and language development: The case of root infinitives. *Language Acquisition: A Journal of Developmental Linguistics* 1994, **3** : 371-393

RONDAL JA, BACHELET JF, PÉRÉE F. Analyse du langage et des interactions verbales adulte-enfant. *Bulletin d'Audiophonologie* 1985, **5** : 507-536

ROSE Y. ChildPhon: A database solution for the study of child phonology. *In:* Proceedings of the 28th annual Boston University Conference on Language Development. BRUGOS A, MICCIULLA L, SMITH SO, MERVILLE CE (eds). MA, Cascadilla Press, October 31-November 2, 2003

SAFFRAN JR, ASLIN RN, NEWPORT EL. Statistical learning by 8 month olds infants. *Science* 1996, **274** : 1926-1928

SANO T. Roots in language acquisition: A comparative study of Japanese and European languages. Thesis, University of California, Los Angeles, 1996

SANO T, HYAMS N. Agreement, finiteness, and the development of null arguments. *Proceedings of NELS* 1994, **24** : 543-558

SCHANK RC, ABELSON R. Scripts, plans, goals, and understanding. Erlbaum, Hillsdale, NJ, 1977

SELKIRK E. Phonology and Syntax: The Relation between Sound and Structure. Cambridge, MA, MIT Press, 1984

SOURDOT M. Identification et différenciation des unités : Les modalités nominales. *In* : La syntaxe de l'enfant avant 5 ans. FRANÇOIS F, FRANÇOIS D, SABEAU-JOUANNET E, SOURDOT M (eds). Librairie Larousse, Paris, 1977 : 90-120

SPERRY LL, SPERRY DE. Early development of narrative skills. *Cognitive Development* 1996, **11** : 443-465

STEIN NL, GLENN CG. An analysis of story comprehension in elementary school children. *In* : New directions in discourse processing. FREEDLE RO (ed). Ablex, Norwood, NJ, 1979

STOEL-GAMMON C. Phonetic inventories, 15-24 months: A longitudinal study. *Journal of Speech and Hearing Research* 1985, **28** : 505-512

VAN DIJK TA, KINTSCH W. Strategies of discourse comprehension. Academic Press, New York, 1983

VARNHAGEN CK, MORRISON FJ, EVERALL R. Aging and schooling effects in story recall and story production. *Developmental Psychology* 1994, **30** : 969-979

VENEZIANO E, SINCLAIR H. The changing status of "filler syllables" on the way to grammatical morphemes. *J Child Lang* 2000, **17** : 1-40

VIHMAN MM. More on language differentiation. *J Child Lang* 1986, **13** : 595-597

VIHMAN MM. Early syllables and the construction of phonology. *In* : Phonological development: Models, research, implications. FERGUSON CA, MENN L, STOEL-GAMMON C (eds). York Press, Monkton, MD, 1992

VIHMAN MM, DE BOYSSON-BARDIES B. The nature and origin of ambient language influence on infant vocal production and early words. *Phonetica* 1994, **51** : 159-169

WAUQUIER-GRAVELINES S. Les liaisons dangereuses : phonologie et psycholinguistique : une interface complexe. *In* : Psycholinguistique Cognitive : essai en l'honneur de J Segui. FERRAND L, GRAINGER J (eds). De Boek, Paris, 2004 : 91-107

WELLS G. Language development in the preschool years. Cambridge University Press, New York, 1985

WERKER JF, TEES RC. Cross-language speech perception: Evidence for perceptual reorganization during the first year of life. *Infant Behavior and Development* 1984, **7** : 49-63

WERKER JF, LALONDE CE. Cross language speech perception: Initial capabilities and developmental change. *Developmental Psychology* 1988, **24** : 672-683

WEXLER K. Finiteness and head movement in early child grammars. Cambridge University press, Cambridge, UK, 1994

YUSSEN SR, STRIGHT AD, GLYSCH RL, BONK CE, LU I, AL-SABATY I. Learning and forgetting of narratives following good and poor text organization. *Contemporary Educational Psychology* 1991, **16** : 346-374

2

Apprentissage de la lecture

La compréhension d'un texte écrit dépend à la fois du niveau de compréhension orale de celui qui lit et de sa maîtrise de mécanismes spécifiques à la lecture. L'exemple de la lecture d'une partition de musique peut permettre de cerner ce que sont ces mécanismes. En effet, l'incapacité de lire un document de ce type n'est en général pas attribuée à des difficultés de compréhension de la musique, ni à des troubles visuels. Ce qui est supposé faire défaut dans ce cas, ce sont les mécanismes qui permettent au musicien expert d'associer automatiquement dans sa tête une petite suite de notes écrites à un bout de mélodie. Il en va de même pour la lecture : un enfant intelligent ne peut comprendre un texte écrit que s'il a automatisé les mécanismes qui permettent d'identifier les mots écrits. Ce sont en effet ces mécanismes qui sont spécifiques à la lecture, le processus de compréhension étant largement amodal, c'est-à-dire similaire quel que soit le mode de présentation – écrit ou oral – comme le suggèrent des travaux qui ont montré que, chez le lecteur qui a développé des procédures d'identification des mots écrits efficientes, les corrélations entre compréhension écrite et orale sont très élevées (Gernsbacher et coll., 1990 ; Lecocq, 1996). Dans ce chapitre, les recherches sur les mécanismes à l'œuvre chez le lecteur adulte qui sait lire (le lecteur dit « expert ») vont être examinées dans un premier temps. Sans cet éclairage, il n'est pas possible de comprendre l'apprentissage normal de la lecture et les difficultés de cet apprentissage. La deuxième partie du chapitre porte sur l'acquisition normale de la lecture[4].

Synthèse des travaux sur le lecteur expert

Si la compréhension d'un texte s'effectue sans effort cognitif apparent chez le lecteur expert, c'est parce qu'elle s'appuie sur des mécanismes très rapides, et largement indépendants du contexte, qui lui permettent d'identifier en moyenne cinq mots écrits par seconde. C'est ce que suggèrent les travaux présentés dans les deux premières parties de cette section, la troisième étant cen-

4. De nombreuses parties de ce chapitre sont issues de l'ouvrage publié par Sprenger-Charolles et Colé (2003).

trée sur la nature des informations auxquelles ce lecteur a accès dans cette étape très précoce de la lecture : informations visuelles, phonologiques et sémantiques.

Contexte et identification des mots écrits

Contrairement à une idée répandue, le lecteur expert fixe pratiquement tous les mots d'un texte, et non un sur cinq en devinant les autres (Rayner, 1998). De plus, c'est l'efficacité des procédures d'identification des mots écrits largement indépendantes du contexte qui différencie ce lecteur du débutant, ou de celui qui a des difficultés de lecture, comme l'ont montré les études princeps de West et Stanovich (1978) et de Perfetti et coll. (1979).

Dans l'étude de West et Stanovich (1978), des enfants et des adultes devaient lire le plus vite possible un mot cible dans deux principales conditions : à la fin d'une phrase congruente (« le chien court derrière le chat ») ou non congruente (« la fille s'assied sur le chat »). Les temps sont plus longs dans la seconde condition pour les enfants mais pas pour les adultes. Toutefois, la présence d'un contexte congruent réduit le temps de lecture dans tous les groupes, cet effet étant néanmoins significativement plus faible chez les adultes. L'étude de Perfetti et coll. (1979) signale en plus, qu'à niveau scolaire équivalent (5e année du primaire), ce sont les mauvais lecteurs qui profitent le plus du contexte. Le temps de lecture d'un mot est en effet plus long chez eux quand il est présenté seul que lorsqu'il est inséré dans le contexte d'une histoire, comme le montre la figure 2.1. Un plus fort effet du contexte a aussi été relevé chez des étudiants diagnostiqués dyslexiques durant leur enfance dans une comparaison impliquant des enfants de même niveau de lecture (Bruck, 1990).

Figure 2.1 : Temps d'identification de mots présentés en isolat ou dans le contexte d'une histoire chez des enfants de 5e année du primaire en fonction du niveau de lecture (Perfetti et coll., 1979)

Le rôle du contexte dans l'identification des mots écrits décroît donc avec l'âge et le niveau de lecture, probablement parce que cette identification est, chez l'expert, si rapide qu'elle ne laisse pas le temps aux effets contextuels (plus lents) d'interférer. Un effet de facilitation contextuelle peut toutefois être observé dans certaines conditions chez l'expert, en particulier quand le mot est induit par le contexte (par exemple, « avalanche » dans la phrase « Les skieurs ont été ensevelis par une soudaine… », Stanovich et West, 1981). Mais cet effet disparaît lorsque les mots sont congruents par rapport au contexte mais non prédictibles (Forster, 1981), ce qui constitue le cas de figure très largement majoritaire en situation de lecture habituelle.

Automatismes dans l'identification des mots écrits

Une des propriétés essentielles de l'identification des mots écrits chez le lecteur expert est son caractère involontaire. Elle ne mobilise pas en effet ses ressources attentionnelles, c'est chez lui un automatisme, quasiment un réflexe (Perfetti et Zhang, 1995). L'effet dit « *Stroop* », qui résulte d'une interférence entre le sens d'un mot et sa forme, est considéré comme étant un indicateur de cette automatisation. Ainsi, quand on demande à un lecteur expert de nommer la couleur de l'encre d'un mot écrit, la réponse est plus longue quand le mot écrit est un nom de couleur qui ne correspond pas à la couleur de l'encre, par exemple, « vert » écrit en rouge, ce qui signale que le lecteur ne peut pas s'empêcher de lire, même quand on le lui demande. Les résultats à ce type de test permettent de cerner le niveau d'automaticité des procédures d'identification des mots écrits : plus ces procédures sont automatisées, plus il y aura compétition, et donc interférence, entre les deux noms de couleurs activés, celui du mot écrit et celui de la couleur de l'encre.

L'idée d'une reconnaissance des mots écrits quasi-réflexe peut être illustrée par l'étude de Guttentag et Haith (1978). Ces chercheurs ont présenté à des adultes et à des enfants scolarisés en début et en fin de 1re année de primaire des images représentant des animaux, des meubles et des moyens de transport. Les images ont été montrées seules (condition contrôle) et dans quatre conditions expérimentales : soit avec des mots écrits appartenant à une catégorie sémantique différente de celle de l'image (« chat-cahier ») ou à la même catégorie sémantique (« chat-chien »), soit avec des symboles non alphabétiques ou des suites de lettres non prononçables. Les sujets devaient dénommer le plus rapidement possible l'image en ignorant le mot écrit. Les effets d'interférence d'une reconnaissance irrépressible des mots écrits sont évalués en comparant le temps de dénomination dans chacune des conditions par rapport à ceux obtenus dans la condition contrôle. Les résultats sont présentés dans la figure 2.2. Les adultes dénomment moins rapidement les dessins avec des lettres que ceux incluant des symboles non alphabétiques, ce qui suggère que les lettres sont traitées automatiquement.

De même, ils dénomment moins rapidement les dessins avec des mots écrits de la même catégorie sémantique ou d'une catégorie différente, ce qui indique que les procédures d'identification des mots écrits sont quasiment des réflexes. Enfin, l'effet d'interférence est significativement plus fort quand le mot écrit appartient à la même catégorie que le mot imagé que lorsque les deux mots ne sont pas proches sémantiquement, ce qui est révélateur d'un accès très rapide au sens des mots. Des effets d'interférence similaires qualitativement, mais plus forts, sont observés chez les enfants après 9 mois d'apprentissage de la lecture, mais pas après 2 mois, ce qui indique que, très rapidement, le lecteur débutant a mis en place des procédures d'identification des mots écrits proches de celles de l'expert.

* difference significative

Figure 2.2 : Différence entre la condition interférente et contrôle selon le type de stimulus interférent : 2 et 3, suite de caractères autres que des lettres (2) et lettres non prononçables (3) ; 4 et 5, mot de catégorie sémantique différente de celle de l'image (4) ou de la même catégorie sémantique (5) ; (d'après Guttentag et Haith, 1978)

Accès au code visuel, phonologique et sémantique des mots

Les résultats précédents indiquent que les procédures d'identification des mots écrits sont largement automatiques chez le lecteur expert. Il reste à savoir à quelles informations ce lecteur a accès quand il identifie un mot écrit. Les modèles dans ce domaine (Plaut et coll., 1996 ; Ans et coll., 1998 ; Coltheart et coll., 2001) postulent que l'identification des mots écrits est le résultat de l'activation de 3 types d'information ou codes : les codes orthographique, phonologique et sémantique. Le code orthographique d'un

mot comporte les lettres qui le composent et leur combinaison (t+o+u+r), le code phonologique, les phonèmes et leur combinaison (/t/ + /u/ + /r/) et le code sémantique comporte son (ou ses) sens.

La chronologie (on parle de décours temporel) de l'activation de ces codes peut être évaluée par la technique d'amorçage rapide : une amorce, mot ou pseudo-mot (c'est-à-dire une séquence de lettres sans signification qui respecte les règles orthographiques et phonologiques de la langue) précède l'apparition d'un mot-cible sur lequel il faut effectuer une tâche particulière. L'amorce et la cible partagent des propriétés communes, orthographiques (vélo-véla), phonologiques (vélo-vélau) ou sémantiques (vélo-moto) ou n'entretiennent aucune relation (vélo-table). Le temps de présentation de l'amorce est très court, de l'ordre de quelques millisecondes. Les tâches les plus fréquemment utilisées sont la décision lexicale (déterminer si l'item est un mot de la langue) et la lecture à haute voix.

Les travaux dans ce domaine ont mis en relief trois faits majeurs. D'une part, chez l'expert, les codes orthographique et phonologique d'un mot écrit sont très rapidement activés, le code orthographique étant activé avant le code phonologique (Ferrand et Grainger, 1992 et 1993). En effet, comme l'indique la figure 2.3, la facilitation due à la présence d'une amorce orthographique se manifeste pour une durée de présentation de cette amorce de l'ordre de 33 à 50 ms, la facilitation phonologique n'étant notée qu'après 50 ms.

Figure 2.3 : Décours temporels de l'activation des codes orthographique et phonologique des mots (d'après Ferrand et Grainger, 1992 et 1993)

D'autres études indiquent une activation précoce du code orthographique des mots écrits avec des durées d'exposition de l'amorce de 30 et 60 ms chez des lecteurs débutants ayant un âge moyen au-dessous de 10 ans (Booth et coll., 1999). Toutefois, quel que soit le temps d'exposition, l'effet d'amorçage phonologique est faible et ne supplante jamais celui de l'amorçage orthographique, ce qui suggère que l'activation de ce code est moins rapide chez le débutant que chez l'expert. Enfin, le code sémantique du mot écrit est activé après son code orthographique et son code phonologique, autour de 200 ms chez le lecteur expert (Ferrand et Grainger, 1992 et 1993 ; Perea et Gotor, 1997). Des résultats similaires ont été relevés avec des enfants (Plaut et Booth, 2000). Il n'est pas facile de comparer ces études en raison des différences de durée d'exposition des amorces (800 ms chez les enfants).

Synthèse des travaux sur l'apprenti-lecteur

Le lecteur expert a recours à des procédures d'identification des mots écrits très rapides, fortement indépendantes du contexte et lors de cette étape précoce de traitement de l'information, il a accès aux codes orthographique et phonologique des mots écrits, avant d'avoir accès à leur code sémantique. L'objectif majeur de l'apprentissage de la lecture doit donc être d'acquérir un haut niveau d'automaticité dans l'identification des mots écrits. C'est le développement de telles procédures qui permettra à l'enfant d'atteindre un niveau de compréhension écrite égal à celui de sa compréhension orale, en le dégageant du poids d'un décodage lent et laborieux, ou du recours à des anticipations contextuelles hasardeuses.

Dans cette section, après avoir développé un cadre de référence permettant de situer les problèmes auxquels le lecteur débutant est confronté, sont ensuite présentées les compétences susceptibles d'influer sur l'apprentissage de la lecture (capacités phonologiques et visuelles, QI, milieu socio-culturel…) et, enfin, la façon dont se mettent en place les mécanismes spécifiques à la lecture, à savoir les procédures d'identification des mots écrits. Une attention particulière est portée à la question de l'incidence des méthodes sur l'apprentissage de la lecture.

Cadre de référence

Pour comprendre les problèmes auxquels sont confrontés les enfants quand ils apprennent à lire en français, il est nécessaire d'avoir une idée précise de ce qu'implique cet apprentissage dans une écriture alphabétique, par rapport aux autres types d'écriture. Toutes les écritures, y compris les écritures logographiques comme celle du chinois (souvent incorrectement dénommées écritures idéographiques) transcrivent des unités de la langue orale, et non

des idées. Ce qui change c'est la taille des unités et leur nature : unités qui ont un sens, comme les mots, ou qui n'ont pas de signification, comme les syllabes ou les phonèmes. La transcription de l'oral s'effectue en effet à trois niveaux : le mot ou le morphème, la syllabe et le phonème. Ainsi celui qui s'occupe d'enfants présentant des troubles du langage est désigné par un seul mot en français (orthophonie) et par deux en anglais (*speech therapy*). Ces mots contiennent des sous-unités qui ont également un sens, les morphèmes, comme ortho- (orthodontiste, orthographe) et phon- (phoniatre, phonétique). Ces éléments sont les unités de base, non décomposables, de certaines écritures (celle du chinois). Dans d'autres écritures, les mots et les morphèmes peuvent être décomposés en sous-unités qui n'ont pas de sens : les syllabes et les graphèmes. Par exemple, le mot oral « cheval » comporte 2 syllabes (che-val) et 5 graphèmes (« ch », plus les 4 autres lettres). Les syllabes sont les unités de base, non décomposables, des écritures syllabiques (les *kanas* du japonais), l'unité de base d'une écriture alphabétique étant le graphème, qui correspond au phonème. D'autres écritures transcrivent les unités phonologiques et morphologiques par les consonnes et les voyelles respectivement, comme en arabe ou en hébreu. La figure 2.4 présente une schématisation des principaux problèmes auxquels le lecteur débutant est confronté : la disponibilité, la consistance et la taille des unités qui relient l'écrit à l'oral (Ziegler et Goswami, 2005 ; voir également Sprenger-Charolles, 2003).

<table>
<tr><td colspan="5">Sémantique</td></tr>
<tr><td>Unités qui ont un sens : procédure lexicale de lecture</td><td>Mot</td><td>⇔</td><td>Mot</td><td>Unités qui ont un sens</td></tr>
<tr><td></td><td>Morphème</td><td>⇔</td><td>Morphème</td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="3">Unités sans signification : procédure sublexicale ou procédure phonologique</td><td>Syllabe</td><td>⇔</td><td>Syllabe</td><td rowspan="3">Unités sans signification</td></tr>
<tr><td>Attaque-Rime</td><td>⇔</td><td>Attaque-Rime</td></tr>
<tr><td>Lettre ➔ Graphème</td><td>⇔</td><td>Phonème</td></tr>
<tr><td></td><td>Orthographe</td><td></td><td>Phonologie</td><td></td></tr>
<tr><td>Taille et disponibilité des unités</td><td></td><td>Transparence des relations</td><td></td><td>Taille et disponibilité des unités</td></tr>
</table>

Figure 2.4 : Principaux niveaux de difficultés auxquels est confronté l'apprenti-lecteur dans des écritures alphabétiques (adapté de Ziegler et Goswami, 2005)

Le premier problème auquel le lecteur débutant est confronté vient de ce que, avant l'apprentissage de la lecture, il ne dispose pas de représentations orthographiques, à part pour quelques mots qu'il a pu apprendre par cœur. De même, il n'a alors pas forcément accès de façon explicite à certaines unités phonologiques, en particulier, le phonème, qui est le trait distinctif minimal

permettant de différencier – dans une langue donnée – deux mots, par exemple « bol » et « vol » en français. En effet, la prise en compte du phonème, indispensable pour apprendre à lire dans une écriture alphabétique, nécessite de se focaliser sur des éléments du langage parlé abstraits et, en plus, difficilement accessibles pour des raisons de co-articulation. En effet, les phonèmes ne sont pas prononcés les uns à la suite des autres, mais en un seul geste articulatoire à l'intérieur d'une syllabe (le mot « calcul » est prononcé /kal/+/kül/ et non /k+a+l+k+ü+l/), ce qui rend difficile leur identification.

Le second problème est lié au degré de consistance des relations entre les unités de l'écrit et de l'oral, qui varie en fonction des langues. Ainsi, dans certaines écritures alphabétiques, comme en espagnol, les relations graphème-phonème sont très consistantes. Ce n'est pas le cas en anglais, le français occupant une position intermédiaire (Sprenger-Charolles et Colé, 2003). Les problèmes de consistance s'expliquent par l'histoire des langues (alors que l'oral évolue, l'écrit est plus conservateur) mais aussi par le fait que les lettres de l'alphabet ne permettent pas de transcrire les phonèmes des différentes langues. En effet, on ne dispose que de 5-6 lettres pour les voyelles, qui permettent de transcrire les 5 voyelles simples de l'espagnol, mais pas les quelques 10 à 16 voyelles du français ou de l'allemand. Dans ces deux écritures, il a donc fallu utiliser une combinaison de lettres, ou une lettre à laquelle s'ajoute une marque spécifique, pour transcrire, en particulier, certaines voyelles (le « ou » du français, par opposition au « u » qui s'écrit « ü » en allemand, et le « n » qui en français indique une voyelle nasale : « an », « on », « un », « in »). L'unité de base d'une écriture alphabétique n'est donc pas la lettre, mais le graphème qui renvoie au phonème, unité de base du système phonologique. Toutefois, la prise en compte d'unités plus larges peut réduire certaines inconsistances. C'est le cas des rimes en anglais, qui facilitent la lecture des voyelles, les relations graphème-phonème pour les voyelles étant fortement inconsistantes dans cette langue. Par exemple, la voyelle « i » se prononce de la même façon quand elle est suivie par la séquence « ght », comme dans les mots « *night, sight, light…* » (la rime de ces mots est « ight » et leur attaque « n », « s » ou « l »). Ce fait a conduit certains chercheurs à développer un modèle d'apprentissage de la lecture dans lequel une place centrale est accordée au découpage syllabique du mot en attaque-rime (Goswami et Bryant, 1990). On peut toutefois supposer que ce type d'unité ne devrait pas jouer un rôle majeur dans des langues qui comportent des voyelles clairement articulées et des syllabes ouvertes, c'est-à-dire se terminant par une voyelle, comme en français ou en espagnol par exemple (Delattre, 1965), puisque dans ce cas la rime du mot est également un phonème.

Enfin, le dernier problème est lié à la taille des unités. Il y a en effet beaucoup plus d'unités orthographiques à apprendre dans les écritures qui utilisent des unités de large taille (mot ou morphème) que dans celles qui utilisent des unités de petite taille (syllabe et phonème). Toutefois, les unités de grande taille ont un sens, pas celles de petite taille. Il en découle

que les unités de petite taille sont moins facilement accessibles que celles de grande taille.

La difficulté de l'apprentissage de la lecture doit varier en fonction de la disponibilité, de la consistance et de la taille des unités qui relient l'écrit à l'oral. Ainsi, dans une écriture logographique comme celle du chinois, l'apprenti-lecteur doit apprendre par cœur de nombreux mots qu'il ne peut décomposer en unités plus petites. La charge de la mémoire est donc énorme, toutefois les unités de base de l'écrit sur lesquelles il peut s'appuyer, les mots ou morphèmes, sont facilement accessibles, tout au moins celles qui font partie de son lexique oral. Inversement, dans une écriture alphabétique, l'utilisation d'un petit nombre de relations entre graphèmes et phonèmes permet à l'apprenti-lecteur d'avoir accès au large stock de mots qu'il connaît à l'oral. La charge mnésique n'est donc pas très importante. En revanche, pour relier les graphèmes aux phonèmes, il faut s'appuyer sur des unités orales peu accessibles, les phonèmes. Toutefois quand, dans une écriture alphabétique, l'établissement des relations graphème-phonème est entravé par leur inconsistance qui peut provenir de l'orthographe ou de la qualité des représentations phonémiques de l'apprenant, l'apprenti-lecteur peut utiliser des unités plus larges : attaque-rime, syllabe, morphème et mot.

Ce cadre de référence, inspiré du modèle développé par Ziegler et Goswami (2005 ; voir également Sprenger-Charolles, 2003 ; Sprenger-Charolles et coll., sous presse), permet de situer la majeure partie des questions auxquelles les chercheurs ont essayé de répondre. La suite de ce chapitre se limitera aux travaux ayant porté sur les écritures alphabétiques pour trois raisons. D'une part, parce que les petits français apprennent à lire dans une écriture alphabétique. D'autre part, parce que ce type d'écriture est largement répandu. Enfin, pratiquement tous les enfants commencent à apprendre à lire en recourant à un système alphabétique. C'est même le cas en chinois, un pinyin, qui utilise l'alphabet latin, ayant été introduit dans les années 1970 en Chine continentale pour faciliter l'apprentissage de la lecture. Ce système est maintenant obligatoire dans les écoles élémentaires, les caractères chinois étant introduits progressivement. Ce fait est un révélateur des difficultés rencontrées par l'enfant quand il doit apprendre à lire dans une écriture logographique.

Compétences nécessaires à l'apprentissage de la lecture (en dehors de la lecture)

D'après le cadre théorique présenté, parmi les capacités métalinguistiques (Gombert, 1992), les capacités d'analyse morphologique et phonémique devraient avoir une forte incidence sur l'apprentissage de la lecture. Les secondes permettent en effet d'identifier et de manipuler des éléments du langage oral (les phonèmes) qui, dans une écriture alphabétique, correspondent aux

plus petites unités de l'écrit (les graphèmes) alors que les premières permettent d'avoir accès aux plus petites unités sublexicales ayant un sens, les morphèmes. D'autres capacités non linguistiques, ainsi que des facteurs environnementaux, sont également supposés avoir une incidence sur cet apprentissage : les capacités visuelles des enfants, leur niveau cognitif et leur environnement socio-culturel. La 1re partie de cette section fait le point sur les relations entre apprentissage de la lecture et capacités d'analyse phonologique, la 2e sur l'implication des capacités d'analyse morphologique et la 3e sur les autres facteurs qui peuvent avoir une incidence sur cet apprentissage.

Capacités d'analyse phonologique et apprentissage de la lecture

Avant l'apprentissage de la lecture, les capacités d'analyse phonémique des enfants, comparativement à leurs capacités d'analyse syllabique, sont faibles. Cela peut s'expliquer par le fait que le phonème ne se prononce en général pas seul, sauf s'il s'agit d'une voyelle. Ce serait la confrontation avec une écriture alphabétique qui permettrait le développement des capacités d'analyse phonémique. Liberman et coll. (1974) ont été les premiers à avoir mis en relief ce résultat, qui a été reproduit depuis dans de nombreuses études impliquant des pré-lecteurs de différentes langues. Ainsi, comme le montre le tableau 2.I, alors que les enfants réussissent mieux des tâches impliquant la manipulation de syllabes que des tâches similaires[5] impliquant la manipulation de phonèmes avant l'apprentissage de la lecture, ce n'est plus le cas après cet apprentissage, tout au moins dans des écritures alphabétiques.

Ce tableau appelle plusieurs commentaires. Tout d'abord, à la fois avant et après l'apprentissage de la lecture, les enfants ont des scores élevés dans les épreuves de manipulation de syllabe, sauf les petits anglais, probablement parce que les frontières syllabiques ne sont pas claires dans leur langue. D'autre part, les petits turcs ont des scores surprenants en analyse phonémique avant l'apprentissage de la lecture, ce qui peut s'expliquer par le fait que les voyelles en turc servent à indiquer des changements morphologiques (par exemple, le pluriel), ce qui peut obliger les enfants turcs à traiter des modifications phonémiques subtiles avant même d'avoir appris à lire. En comparaison, les enfants italiens, allemands, français et anglais n'arrivent à atteindre un bon niveau d'analyse phonémique qu'après l'apprentissage de la lecture, ce qui suggère que cette capacité est le résultat de l'apprentissage de la lecture dans une écriture alphabétique. Les faibles scores d'analyse phonémique relevés chez les petits japonais, qui ont appris à

5. Par exemple, compter le nombre de syllabes ou de phonèmes contenus dans un mot, ou encore supprimer le premier ou le dernier élément d'un mot (syllabe ou phonème). Pour éviter les biais qui peuvent provenir de différences de niveau de vocabulaire, on utilise souvent des pseudo-mots.

lire dans une écriture syllabique, confortent cette interprétation (Mann, 1986). Les résultats observés chez des adultes illettrés et ex-illettrés vont dans le même sens. Ainsi, les capacités d'analyse phonémique des illettrés sont plus faibles que celles de sujets de même milieu ayant appris à lire tardivement (17 % contre 72 % pour les ex-illettrés : Morais et coll., 1979), mais pas leurs capacités d'analyse syllabique (Morais et coll., 1986). La simple maturation ne semble donc pas suffisante au développement des capacités d'analyse phonémique.

Tableau 2.I : Capacités d'analyse syllabique et phonémique et apprentissage de la lecture

	Pourcentage moyen de réponses correctes			
	Dernière année de maternelle		1re année de primaire	
Langage	Syllabe	Phonème	Syllabe	Phonème
Anglais[1]		48		74
Anglais[2]	63,5	63	75	75,6
Français[3]		45		98
Allemand[1]		17,5		69
Italien[4]	77	34,4	88	93,1
Turc[2]	93,5	67,1	97,5	94
Japonais[5]			91	43

[1] D'après Mann et Wimmer, 2002 (tâche de suppression)
[2] D'après Durgunoglu et Oney, 1999 (tâche de comptage)
[3] D'après Sprenger-Charolles et coll., 2000 (tâche de suppression, futurs normolecteurs : 5 et 7 ans respectivement)
[4] D'après Cossu et coll., 1988, les données anglaises sont celles de Liberman et coll., 1974 (tâche de comptage)
[5] D'après Mann, 1986 (tâche de comptage impliquant des unités intermédiaires entre le phonème et la syllabe, les mores)

Quant aux travaux sur les unités attaque-rime, très nombreux, ils ont principalement été effectués avec des enfants anglais qui semblent développer les capacités d'analyse syllabique avant celles portant sur les unités attaque-rime, ces dernières se développant avant les capacités d'analyse phonémique. C'est ce que rapportent Anthony et coll. (2003) qui ont examiné les résultats de plus de 1 000 enfants âgés de 2 à 6 ans, en contrôlant, entre autres, le type de tâche utilisée (voir également, Anthony et coll., 2002 ; Anthony et Lonigan, 2004). D'autres études montrent que les tâches impliquant la manipulation des unités attaque-rime sont toujours mieux réussies que celles impliquant les phonèmes, quel que soit l'âge des enfants (à 4 ans : Muter et coll., 1998 ; à 5 ans : Muter et coll., 1998 ; Goswami et East, 2000 ; Hulme et coll., 2002 ; à 6 ans : Nation et Hulme, 1997 ; Hulme et coll., 2002). Ce type de résultat pourrait cependant être

spécifique à l'anglais. En effet, des pré-lecteurs et lecteurs débutants néerlandophones ne traitent pas les unités attaque-rime comme étant des unités cohésives de l'oral (Geudens et Sandra, 2003).

D'autres travaux indiquent qu'il est nécessaire de tenir compte, non seulement du type d'unités, mais également du type de tâche. Ainsi, comme l'a montré Lecocq (1991), sur 10 épreuves impliquant des unités phonémiques, seulement 2 sont à peu près maîtrisées par des enfants de 4 ans, et 3 le sont un an plus tard. De plus, les enfants font des progrès substantiels dans ce domaine avant l'apprentissage de la lecture. L'amélioration des scores est en effet de plus de 67 % entre 3 ans et demi et 6 ans pour l'ensemble des épreuves d'analyse phonologique. Des progrès de l'ordre de 36 % sont cependant constatés entre 6 ans et 6 ans et demi, ce qui indique une nouvelle fois que l'apprentissage de la lecture stimule les compétences phonologiques et cela probablement de façon spécifique. En effet, l'évolution des scores de mémoire entre les mêmes âges est moindre (13 % et 11 %, respectivement).

Le fait que les capacités d'analyse phonémique ne soient pas celles qui sont les plus développées avant l'apprentissage de la lecture ne permet toutefois pas de se prononcer sur le rôle qu'elles peuvent jouer dans cet apprentissage. Or, parmi les capacités d'analyse phonologique, les meilleurs prédicteurs de l'apprentissage de la lecture sont les capacités d'analyse phonémique. Dans ce domaine, en dehors de l'article princeps publié en 1983 par Bradley et Bryant dans la revue *Nature*, l'étude la plus souvent citée est celle de Bryant et coll. (1990). Cette étude est présentée en détail, non seulement pour montrer quels sont les moyens d'évaluation utilisés, mais également pour signaler certains problèmes de méthode.

Les enfants (N = 65) ont été suivis de 4 ans et demi à 6 ans et demi. Ils ont été vus deux fois entre temps (à 5 ans et demi et à 6 ans). Les capacités d'analyse des unités attaque-rime ont été évaluées lors des deux premières sessions et celles d'analyse phonémique lors de la troisième session. Pour les épreuves attaque-rime, l'enfant devait dire quel est, parmi trois mots, celui qui n'a pas la même fin (en l'occurrence la même rime, par exemple : « *peg, cot, leg*») ou le même début (en l'occurrence la même attaque, par exemple : « *pin, pig, tree* »). Des images ont été utilisées afin d'éviter la surcharge mnésique. Les tests d'analyse phonémique comportaient des épreuves de suppression du premier et du dernier phonème de mots consonne-voyelle-consonne et une épreuve de comptage de phonème dans des items de 1 à 3 phonèmes. Les tests portant sur les unités attaque-rime renseignent sur les habiletés phonémiques ultérieures après avoir contrôlé l'effet de facteurs pouvant biaiser les résultats (âge, QI verbal et non verbal, milieu socioéconomique). Après les mêmes contrôles, les habiletés phonologiques (unités attaque-rime et phonèmes) expliquent une part importante de la variance en lecture.

Selon les auteurs, ces résultats signalent que la sensibilité aux unités attaque-rime permet l'émergence de la conscience phonémique, cette dernière ayant une incidence directe sur la lecture, tout comme la sensibilité aux unités attaque-rime. Toutefois, comparer le pouvoir prédictif de ces deux capacités est difficile, les évaluations n'ayant pas été faites au même moment. En plus, les tâches de chasse à l'intrus utilisées pour évaluer la sensibilité aux unités attaque-rime ne sont pas très spécifiques. En fait, les unités à l'attaque des mots correspondent le plus souvent à un phonème. Les résultats pourraient donc s'expliquer par le fait que les enfants peuvent très tôt manifester un certain niveau de sensibilité à des unités phonémiques, quand la tâche le leur permet. Cette interprétation est renforcée par une étude française (Lecocq, 1991) dans laquelle l'épreuve la plus prédictive du futur niveau de lecture, quel que soit le test de lecture utilisé, est une épreuve du type de celles utilisées par l'équipe de Bryant (trouver, parmi 4 mots celui qui n'a pas la même consonne initiale : « bon, bois, bain, dent »). Pourtant cette épreuve n'était pas la mieux réussie par les enfants : elle ne se situait qu'au 6e rang des 14 épreuves administrées.

Dans l'étude de Bryant et coll. (1990), il n'a toutefois pas été tenu compte du niveau de pré-lecture des enfants. Comme le soulignent Castles et Coltheart (2004), on ne peut donc pas éliminer la possibilité que ce serait le niveau de lecture au temps 1 qui déterminerait celui observé au temps 2. Ces auteurs ont identifié 18 études dans lesquelles le niveau de pré-lecture a été évalué (Bradley et Bryant, 1983 ; Wagner et coll., 1994 ; Wagner et coll., 1997 ; Muter et coll., 1998 ; Caravolas et coll., 2001 ; Hulme et coll., 2002). Les preuves en faveur d'une contribution des capacités d'analyse syllabique et rimique sur le niveau ultérieur en lecture sont très limitées comparativement à celles en faveur d'une contribution des capacités d'analyse phonémique. En fait, parmi les études sélectionnées, toutes celles incluant un examen des capacités d'analyse phonémique précoces montrent une contribution significative de ces capacités sur les compétences ultérieures en lecture et en écriture. Ces résultats ont été reproduits dans des études plus récentes (Kirby et coll., 2003 ; Parrila et coll., 2004 ; Schatschneider et coll., 2004).

Un autre argument en faveur du rôle des capacités d'analyse phonémique dans l'apprentissage de la lecture provient d'études sur des dyslexiques. En effet, dans ce type de tâches, les dyslexiques ont des scores plus faibles que ceux des normolecteurs plus jeunes qu'eux, mais de même niveau de lecture (en anglais : Bruck, 1992 ; Fawcett et Nicholson, 1994 ; en allemand : Wimmer, 1993), ce qui ne peut être imputé au rôle de la lecture sur les capacités d'analyse phonémique, puisque les groupes sont appariés en fonction de ce niveau. En plus, les études longitudinales ont permis de relever un déficit d'analyse phonémique chez de futurs dyslexiques avant même l'apprentissage de la lecture (en allemand : Wimmer, 1993 et 1996 ; en français : Sprenger-Charolles et coll., 2000).

Un dernier argument en faveur du poids des compétences d'analyse phonémique sur l'apprentissage de la lecture vient des études d'entraînement. Dans une méta-analyse (Ehri et coll., 2001a), l'effet d'un entraînement de ces capacités sur la lecture a été évalué en calculant la différence, en écart-type, entre les groupes entraînés et les groupes témoins de 52 études. Des améliorations de l'ordre de 0,20, 0,50 et 0,80 écart-type ont été respectivement considérées comme faibles, modérées et notables (Cohen, 1988). L'effet moyen d'un entraînement phonémique est modéré (0,53). Toutefois, l'effet est plus important dans les études avec des enfants anglophones que dans celles avec des non-anglophones (des Danois, des Hollandais, des Finnois, des Allemands, des Norvégiens, des Espagnols et des Suédois), tout au moins lors du premier post-test (0,63 *versus* 0,36), pas par la suite (0,42 *versus* 0,47). Selon les auteurs, l'entraînement phonémique aurait un plus fort effet immédiat chez les anglophones parce qu'il les aiderait à clarifier les relations entre graphèmes et phonèmes, qui sont très inconsistantes dans leur langue. L'effet de ce type d'entraînement est également plus notable quand il a porté sur des enfants à risque pour l'apprentissage de la lecture (0,86), surtout à long terme (1,33), ce qui peut s'expliquer par le fait que ces enfants sont généralement diagnostiqués tôt et sur la base de la faiblesse de leurs scores en analyse phonémique. Il faudrait donc un certain temps pour que l'effet de l'entraînement porte ses fruits sur les capacités entraînées et, ensuite, sur la lecture. Chez les lecteurs en difficultés, l'effet de l'entraînement est plus faible, que ce soit sur la lecture (0,45), ou sur les capacités entraînées (0,62 contre 0,95 chez les enfants à risque), ce qui suggère qu'un déficit d'analyse phonémique est à la base des difficultés de lecture, un tel déficit étant difficile à compenser (voir aussi Vellutino et coll., 2004). Enfin, l'effet le plus notable est obtenu quand, en plus des activités d'analyse phonémique, les enfants ont à manipuler les lettres (0,67). Ce résultat (voir aussi les revues de Bus et Van Ijzendoorn, 1999 et de Castles et Coltheart, 2004), suggère que le développement des capacités d'analyse phonémique est un facteur important dans l'apprentissage de la lecture, mais pas une condition suffisante.

Capacités d'analyse morphologique et apprentissage de la lecture

Les modèles d'apprentissage de la lecture soit ne prennent pas en compte le niveau morphologique (Ziegler et Goswami, 2005), soit considèrent que ce type de traitement ne joue un rôle qu'à partir du moment où l'enfant maîtrise le décodage (Frith, 1985 ; Seymour, 1994). L'utilisation de la morphologie pour identifier les mots écrits serait donc un signe d'expertise. Cette question est examinée dans la partie suivante, la synthèse présentée ci-dessous portant sur les relations entre analyse morphologique et apprentissage de la lecture. Les travaux sur les relations entre capacités d'analyse morphologique et lecture ont porté sur la morphologie dérivationnelle (qui permet de dériver des familles de mots : « lait-laitier, laiterie… ») et

flexionnelle (qui sert à marquer le genre et le nombre, mais également la personne et le temps des verbes : « je chante ; tu chantes ; tu chanteras… »). Comme les épreuves évaluant les capacités d'analyse phonologique, celles évaluant les capacités d'analyse morphologique sont passées à l'oral, ces deux types de capacités étant souvent évaluées en même temps.

Le pouvoir explicatif des capacités d'analyse morphologique est plus faible que celui des capacités d'analyse phonologique : 4 % de variance en lecture expliquée contre 37 % en 1re année du primaire (Carlisle et Nomanbhoy, 1993). Une autre étude a montré que, aussi bien en 1re qu'en 2e année, les capacités d'analyse phonémique sont reliées aux compétences d'identification des mots écrits, pas les capacités d'analyse morphologique (Muter et coll., 2004). Toutefois, cette dernière habileté mesurée en 1re année renseigne sur le niveau de compréhension en lecture un an plus tard. Les résultats d'une étude française vont dans le même sens (Casalis et Louis-Alexandre, 2000). Les connaissances morphologiques en grande section de maternelle expliquent 6 % de la variance dans un test de lecture en 1re année du primaire (la Bat-Elem, Savigny, 1974) et 22 % de la variance en compréhension écrite en 2e année (Écosse, Lecocq, 1996). L'implication des connaissances morphologiques serait donc plus forte chez les enfants plus âgés. Cela est également suggéré par une étude dans laquelle les enfants ont été suivis de la 2e à la 5e primaire (Deacon et Kirby, 2004). Après avoir contrôlé le niveau de lecture, le QI verbal et non verbal et les compétences d'analyse phonologique en 2e primaire, les compétences en analyse morphologique évaluées à la même époque renseignent sur le niveau de lecture ultérieur (de la 3e à la 5e primaire), qu'il s'agisse des capacités de décodage ou de compréhension. D'autres études indiquent que le poids des compétences d'analyse morphologique sur la lecture s'accroît avec le niveau scolaire alors que celui des compétences d'analyse phonologique décroît, tout en restant significatif (Shankweiler et coll., 1995 ; Carlisle, 2000 ; Mahony et coll., 2000).

Autres facteurs influant sur l'apprentissage de la lecture

Scarborough (1998a et b) a effectué une méta-analyse de 61 études incluant plus de 30 enfants suivis pendant un à trois ans depuis un âge se situant entre 4 ans et demi et 6 ans. Le tableau 2.II indique les corrélations moyennes entre les prédicteurs et le futur niveau de lecture. Les habiletés non verbales précoces, visuelles, motrices, et visuo-motrices, tout comme le QI non-verbal, ne sont que faiblement reliés au futur niveau de lecture. De plus, les mesures précoces les plus fortement corrélées aux performances ultérieures en lecture sont celles qui sont directement impliquées dans cette activité : les capacités phonologiques, la connaissance des lettres et les capacités de dénomination sérielle rapide, évaluées par un test qui permet de cerner la rapidité et la précision de l'accès au lexique à l'oral. Le même cons-

tat ressort d'une étude française (Kipffer-Piquard, 2003) dans laquelle 85 enfants ont été suivis de 4 à 8 ans. Le QI non verbal, tout comme la mémoire visuelle (évaluée par la reproduction de séquences visuelles qui varient en longueur, entre 2 et 7 items), ne sont que faiblement reliés au niveau de lecture à 8 ans (respectivement 0,18 et 0,19), à l'inverse de capacités d'analyse et discrimination phonémique (respectivement 0,44 et 0,53), de mémoire à court terme (évaluées par la répétition de pseudo-mots de 3 à 6 syllabes, 0,41), de connaissance des lettres (0,41), et de dénomination sérielle rapide (de 0,41 à 0,53 selon le test).

Tableau 2.II : Corrélations entre les prédicteurs en maternelle et les scores ultérieurs en lecture (résultats d'une méta-analyse de 61 études, d'après Scarborough, 2001)

Prédicteurs	Nombre d'études	Corrélation
Mesures impliquant le traitement de l'écrit		
Rudiments de lecture (connaissance des relations lettre-son…)	21	0,57
Identification des lettres	24	0,52
Mesures impliquant le langage oral		
Analyse phonologique	27	0,46
Dénomination sérielle rapide	14	0,38
Mémoire de phrases ou rappel d'histoires	11	0,45
Mémoire verbale de chiffres ou de mots	18	0,33
Vocabulaire (dénomination)	5	0,45
Vocabulaire (compréhension)	20	0,33
QI verbal	12	0,37
Mesures impliquant les habiletés non verbales		
QI non-verbal	8	0,26
Mémoire visuelle	8	0,31
Discrimination visuelle	5	0,22
Intégration visuo-motrice	6	0,16
Habiletés motrices	5	0,25

Ces données corrélationnelles ne prennent pas en compte le degré d'association entre les différentes mesures, qui peut être très fort. C'est ce qu'indiquent deux études, une avec des enfants danois (Petersen et Elbro, 1999), l'autre avec des enfants français (Kipffer-Piquard, 2003). L'étude danoise a porté sur 150 enfants. Les prédicteurs relevés avant l'apprentissage de la lecture étaient la connaissance des lettres, les capacités d'analyse phonologique et morphologique, la clarté de la prononciation et les antécédents de dyslexie dans la famille. Moins de la moitié des 11 variables significativement corrélées au futur niveau de lecture prédisent de façon unique cette compétence. De même, dans l'étude de Kipffer-Piquard (2003), 5 des

15 mesures relevées en grande section de maternelle prédisent le niveau en lecture en fin de 2e primaire, alors que 12 d'entre elles étaient significativement corrélées à ce niveau. Ces 5 mesures expliquent 52,2 % de la variance en lecture, deux (dénomination rapide et discrimination phonémique) rendant compte de 43,2 % de cette variance.

Les études précédentes signalent les compétences précoces qui prédisent le futur niveau de lecture des enfants. Dans la pratique, il faut pouvoir se prononcer sur les cas individuels. Comme le soulignent Elbro et Scarborough dans une synthèse de la littérature (2003), le pourcentage de classifications correctes est élevé (de l'ordre de 80 %). C'est ce qu'indique l'étude ayant porté sur des enfants danois (Petersen et Elbro, 1999). Les 6 mesures prédictives relevées avant l'apprentissage de la lecture (dans trois épreuves d'analyse phonologique et morphologique, une de connaissance des lettres, une de prononciation plus une évaluation des antécédents familiaux de dyslexie) permettent de classer correctement, en fonction de leur niveau de lecture, 129 des 150 enfants (86 %) en fin de 2e primaire. La classification est toutefois moins fiable pour les enfants qui, effectivement, ont rencontré des difficultés (60 % de classifications correctes pour ceux qui ont des scores au-dessous du 11e percentile dans un test de lecture de mots) que pour ceux de l'autre groupe (94 %). Dans l'étude française, les enfants ont été séparés en deux groupes à la fin de la 2e primaire sur la base de leurs scores au test de l'Alouette (Lefavrais, 1967)[6] : les mauvais lecteurs (plus de 6 mois de retard en lecture), et les autres (moins de 5 mois de retard). Les prédicteurs sélectionnés pour la classification sont les deux qui expliquent la majeure partie de la variance en lecture (capacités de discrimination phonémique et de dénomination sérielle rapide). Ils permettent à eux seuls de classer correctement 83,5 % des enfants en fonction de leur niveau de lecture en fin de 2e primaire (soit 71 sur 85). Comme dans l'étude danoise, la classification est moins fiable pour les futurs mauvais lecteurs (76 %) que pour les autres (87 %).

Enfin, le milieu socioculturel des enfants est moins fortement relié à leur futur niveau de lecture que ne le sont leurs habiletés linguistiques. Dans l'ensemble, d'après la synthèse de Elbro et Scarborough (2003), les corrélations sont au-dessous de 0,25. Le même constat ressort de l'analyse des pratiques familiales de lecture. Ainsi, selon deux méta-analyses qui ont évalué l'impact des lectures des parents sur le niveau de lecture des enfants, les corrélations entre ces deux domaines, bien que significatives, sont faibles : de l'ordre de 0,28 (Scarborough et Dobrich, 1994 ; Bus et coll., 1995). Les mesures de ce type sont donc moins informatives que celles qui prennent en compte les compétences langagières précoces pour identifier les enfants à

6. Ce choix se justifiant par les corrélations très élevées entre ce test et les autres épreuves de lecture, qu'elles évaluent les capacités de décodage ou de compréhension.

risque pour l'apprentissage de la lecture. La prédiction est toutefois plus fiable quand il est tenu compte non pas des habitudes de lecture des parents, mais de leurs habiletés dans ce domaine. Ainsi, le fait d'avoir des parents souffrant de difficultés de lecture est un facteur de risque. Lorsque le niveau de lecture des parents est contrôlé, l'influence des facteurs socioéconomiques est réduite (Petersen et Elbro, 1999).

En résumé, ce sont les capacités d'analyse phonologique qui sont le plus fortement reliées à l'apprentissage de la lecture à son début, le pouvoir prédictif des compétences d'analyse morphologique augmentant en fonction du niveau scolaire, alors que celui des compétences d'analyse phonologique diminue, tout en restant significatif. De plus, les prédicteurs les plus forts de l'apprentissage de la lecture sont les compétences d'analyse phonologique, principalement au niveau phonémique, celles de mémoire phonologique à court terme, de dénomination rapide et le niveau de connaissance des lettres. Ces prédicteurs permettent de pronostiquer précocement les enfants à risque pour cet apprentissage, avec une fiabilité élevée. En comparaison, le poids des habiletés non verbales, tout comme celui des facteurs socioculturels, est moindre. Enfin, des entraînements à l'analyse phonémique ont des effets positifs sur la lecture, qui sont toutefois plus importants si, en plus, les correspondances entre lettres et phonèmes sont enseignées.

Développement des compétences spécifiques à la lecture

Les études sur le lecteur expert indiquent que les compétences spécifiques à la lecture se situent au niveau de l'identification des mots écrits, ces procédures étant largement indépendantes du contexte. D'après les modèles de référence dans le domaine (Plaut et coll., 1996 ; Coltheart et coll., 2001), pour identifier les mots écrits, ce lecteur peut utiliser la voie dite directe (aussi appelée voie lexicale ou procédure par adressage, ou encore procédure visuo-orthographique) ou la voie dite indirecte (aussi appelée voie sublexicale ou procédure par assemblage, ou encore procédure par médiation phonologique), ce qui renvoie, dans la terminologie utilisée dans le domaine de l'enseignement, à la lecture globale de mot, en opposition au décodage. Dans la suite, le terme « adressage » (ou procédure lexicale) est utilisé pour désigner la première procédure et le terme « décodage » (ou procédure sublexicale) pour désigner la seconde. Il faut toutefois tenir compte du fait que le décodage s'automatise progressivement : cette procédure ne fait donc pas seulement référence à la lecture lente et laborieuse du débutant, le lecteur expert peut en effet identifier très rapidement des mots qu'il ne connaît pas. De plus, l'expert a accès en quelques millisecondes aux codes orthographique, phonologique et sémantique des mots écrits : le lecteur supposé utiliser une procédure par adressage ne perçoit donc pas seulement les caractéristiques visuelles et sémantiques des mots écrits.

La question est de savoir comment se mettent en place ces procédures au cours de l'apprentissage de la lecture. Si, comme l'ont montré les travaux sur les compétences qui prédisent le futur niveau de lecture dans une écriture alphabétique, ce sont les capacités d'analyse phonémique qui apparaissent comme étant les meilleurs prédicteurs, on peut supposer que l'enfant va d'abord s'appuyer sur les correspondances graphème-phonème, et non sur des unités de plus grande taille[7]. La réussite de l'apprentissage de la lecture doit donc dépendre de la consistance de ces relations, qui varie en fonction des langues. La première partie de cette section présente les principaux résultats des études dans le domaine. Ensuite est examiné le rôle des méthodes d'enseignement sur l'apprentissage de la lecture.

Rôle de l'environnement linguistique sur l'apprentissage

Dans certaines langues, comme en espagnol ou en italien, les correspondances grapho-phonémiques sont très consistantes alors que dans d'autres, comme en anglais, elles sont peu consistantes, l'allemand et le français occupant une place intermédiaire[8]. On devrait donc relever des différences quantitatives entre anglophones et non anglophones, mais également des différences qualitatives. Ainsi, le décodage devrait être utilisé plus systématiquement quand l'orthographe est transparente que lorsqu'elle ne l'est pas, une orthographe opaque pouvant conduire à la mise en œuvre précoce de la procédure lexicale, ou à la prise en compte d'unités sublexicales plus larges que les graphèmes.

Une étude qui a impliqué des enfants de différents pays d'Europe permet de cerner l'incidence négative de l'opacité de l'orthographe sur les débuts de l'apprentissage de la lecture (Seymour et coll., 2003). Sauf pour les anglais et les français, uniquement des enfants en 1re année d'apprentissage de la lecture ont été examinés, les anglophones étant les plus jeunes (5,6 ans). Toutefois, les anglophones de 2e année ont approximativement le même âge (6,6 ans) que les enfants de 1re année français et espagnols, mais ils ont un an de moins que les allemands (7,6 ans). Des mots familiers très fréquents ont été sélectionnés dans chaque langue : mots « plein » (en français : « voir, femme… », en anglais : « *high*, *boy*… ») et mots « fonction » (en

7. Nous ne reviendrons pas sur la question des stratégies logographiques (voir pour une synthèse Sprenger-Charolles et Colé, 2003), qui n'ont aucun pouvoir génératif (en anglais : Masonheimer et coll., 1984 ; Stuart et Coltheart, 1988; en allemand : Wimmer et Hummer, 1990 ; en français : Sprenger-Charolles et Bonnet, 1996).

8. Le français se caractérise toutefois par le fait que les correspondances grapho-phonémiques (utilisées pour la lecture) sont très consistantes alors que les correspondances phonographémiques (utilisées pour l'écriture) ne le sont pas (Peereman et Content, 1999). Ainsi, le mot « tableau » ne peut se lire que d'une seule façon alors qu'il peut s'orthographier « tablo, tablau, thablo… », ce qui permet de comprendre pourquoi les enfants apprennent plus facilement à lire qu'à écrire (Sprenger-Charolles et coll., 1998b et 2003 ; Eme et Golder, 2005).

français : « donc, alors… », en anglais: « *them*, *about*… »). Deux listes de pseudo-mots ont également été élaborées, une contenant des items d'une syllabique, l'autre de deux syllabiques. Les résultats des anglophones, des francophones, des germanophones et des hispanophones en fin de 1re année du primaire ainsi que ceux des anglophones et des francophones en fin de 2e année du primaire sont présentés dans la figure 2.5.

Les anglophones de 1re année sont clairement des *outliers*. Les scores de ceux de 2e année sont comparables à ceux des français de 1re année mais inférieurs à ceux des espagnols et allemands de 1re année (entre 15 et 34 % de différence). Les analyses statistiques indiquent que, en lecture de mots, la moyenne des anglophones de 1re année est inférieure à celle des enfants français, danois et portugais de même niveau scolaire, qui, à leur tour, ont des résultats inférieurs à ceux de tous les autres enfants. Les anglophones de 2e année forment un sous-groupe avec les Danois, les Portugais et les Français de 1re année. En lecture de pseudo-mots, les scores des anglophones de 2e année sont faibles et inférieurs à ceux de tous les enfants de 1re année, sauf les danois. À âge équivalent (6,6 ans), le niveau de lecture des anglophones, qui ont pourtant bénéficié d'une année supplémentaire d'apprentissage de la lecture, est inférieur à celui de la majeure partie des autres enfants. Ces résultats sont d'autant plus remarquables que les anglophones de cette étude ont un niveau de lecture supérieur aux normes nationales et sont issus de milieux socioéconomiques plutôt favorisés.

Figure 2.5 : Pourcentage de réponses correctes (d'après l'étude inter-langue de Seymour et coll., 2003)

G1 : 1re année ; G2 : 2e année ; entre parenthèse : âge moyen des enfants

Dans une autre étude, des enfants francophones et anglophones ont été suivis pendant 2 ans, de la grande section de maternelle à la fin de la 1re année du primaire (Bruck et coll., 1997). Les auteurs ont examiné la lecture de mots simples (des items d'une syllabe, réguliers et de haute fréquence) et de pseudo-mots (construits en changeant la première lettre des mots). Les résultats, présentés dans la figure 2.6, indiquent que les scores des anglophones sont plus faibles que ceux des francophones, la différence entre les deux groupes étant encore une fois plus marquée pour les pseudo-mots que pour les mots.

Ces résultats, qui renforcent l'idée que la consistance des relations graphophonémiques a une incidence positive sur l'apprentissage de la lecture, sont d'autant plus importants qu'une des principales différences entre les deux groupes est que les petits anglophones ont bénéficié d'une sensibilisation précoce à la lecture en grande section de maternelle, pas les petits français. Les mêmes tendances ont été relevées dans une autre étude, qui impliquait en plus des enfants espagnols (Goswami et coll., 1998).

Figure 2.6 : Réponses correctes en lecture de mots et de pseudo-mots pour les enfants de 7 ans de l'étude de Goswami et coll. (1998) et pour ceux de même âge de l'étude de Bruck et coll. (1997)

Les résultats précédents signalent des différences quantitatives en faveur des enfants qui apprennent à lire dans une orthographe transparente. Ils suggèrent aussi que l'environnement linguistique a une incidence sur les procédures de lecture mises en œuvre. Ainsi, comparativement à des non-anglophones, les apprenti-lecteurs anglophones auraient des difficultés de

mise en œuvre du décodage, en témoignent leurs scores, toujours plus faibles, en lecture de mots nouveaux. C'est aussi ce qu'indique l'étude de Wimmer et Goswami (1994), qui a porté sur des enfants anglophones et germanophones de 7, 8 et 9 ans qui ont eu à lire des noms de chiffres ainsi que des pseudo-mots construits à partir de ces mots en changeant la consonne initiale. Les jeunes allemands (7 ans) font moins d'erreurs sur les pseudo-mots que les enfants anglais plus âgés (9 ans) et, lorsqu'ils se trompent, ils produisent surtout des néologismes (l'item écrit est remplacé par un mot qui n'existe pas mais qui a une prononciation voisine). En revanche, les jeunes anglais, soit ne répondent pas, soit font des erreurs de lexicalisation (le pseudo-mot est remplacé par un mot). De plus, les corrélations entre les temps de réponse pour les mots et les pseudo-mots sont élevées chez les jeunes allemands (0,93), pas chez les anglais (0,58).

Ces résultats, qui suggèrent que les jeunes allemands, mais pas les enfants anglais, utilisent largement la même procédure pour lire les mots et les pseudo-mots, ont été reproduits dans une étude ultérieure avec des enfants de même âge (Frith et coll., 1998). Les enfants devaient lire des mots, appariés en difficulté orthographique et en familiarité (*Summer/Sommer*) et des pseudo-mots dérivés des mêmes mots (*Rummer/Rommer*). Les performances des anglophones sont inférieures à celles des germanophones en lecture de mots (80 % *versus* 95 %) et, surtout, en lecture de pseudo-mots (59 % *versus* 88 %). Dans une seconde expérience, la fréquence et la lexicalité ont été manipulées. Pour les mots fréquents, les performances des enfants de 8 ans des deux groupes linguistiques sont similaires, alors que les anglophones manifestent de moins bons scores pour les mots rares ou inventés. Les mêmes enfants ont eu à lire des pseudo-mots composés de trois syllabes simples (« tarulo, surimo »). De nouveau, les scores des anglophones de 8 ans sont inférieurs, non seulement pour la précision (70 % *versus* 99 % pour les enfants allemands) mais également pour les temps de réponse (4,3 s *versus* 1,9 s). Cette étude a également permis de relever des différences dans le traitement des voyelles, source de nombreuses erreurs chez les petits anglais, mais pas chez les enfants allemands. Comme le soulignent les auteurs, ces résultats peuvent s'expliquer par la plus grande consistance de l'orthographe de l'allemand, principalement pour les voyelles. Cette inconsistance de l'orthographe conduit les jeunes anglais à s'aider d'informations lexicales quand ils apprennent à lire, alors que les jeunes allemands s'appuient essentiellement sur les correspondances graphème-phonème.

C'est ce qui ressort d'une autre étude dans laquelle on a présenté à des enfants anglais et allemands de 8 et 9 ans des pseudo-mots qui se prononcent comme un mot de la langue (homophones), des pseudo-mots non-homophones et des mots (Goswami et coll., 2001). Les enfants ont eu à effectuer une tâche de lecture à haute voix et une de décision lexicale (dire si l'item présenté sur l'écran d'un ordinateur est ou non un mot de la langue, en appuyant sur une touche différente pour les réponses « oui » et « non »).

La logique sous-tendant cette étude est que, dans la mesure où les pseudo-mots homophones se prononcent comme un mot de la langue, ils devraient être mieux lus en lecture à haute voix que les pseudo-mots non-homophones, en revanche, ils devraient entraîner un fort taux d'acceptations erronées dans la tâche de décision lexicale. En fait, en lecture à haute voix, l'effet facilitateur de l'homophonie n'est relevé que chez les enfants anglophones, alors que l'effet négatif de l'homophonie n'est observé en décision lexicale que chez les germanophones. Le résultat relevé en lecture à haute voix suggère donc une nouvelle fois que les anglais – mais pas les allemands – auraient besoin d'utiliser leurs connaissances lexicales pour lire des pseudo-mots. Celui observé en lecture silencieuse signale que, chez les enfants germanophones – mais pas chez les anglophones – l'information phonologique serait automatiquement activée au cours de la lecture (comme chez l'expert) et difficile à inhiber.

L'opacité de l'orthographe a aussi une incidence sur les unités sublexicales utilisées par l'apprenti-lecteur. Ainsi, comme l'indiquent les résultats de différentes études, la faible cohérence des correspondances graphème-phonème en anglais conduit l'enfant à développer des stratégies de lecture s'appuyant sur des unités de différentes tailles, alors que quand l'orthographe est transparente, une seule stratégie, s'appuyant sur les correspondances graphème-phonème, est utilisée. En particulier, vu que, en anglais, les inconsistances de prononciation des voyelles sont réduites quand il est tenu compte des consonnes qui suivent, les anglophones utilisent des unités de type rime. En revanche, la prise en compte des unités rime n'a pas d'incidence majeure dans des langues qui comportent des voyelles clairement articulées et qui, en plus, ont principalement des syllabes ouvertes, se terminant par une voyelle (dans ce cas la rime correspond à un phonème), comme en français ou en espagnol par exemple, comparativement à l'allemand et à l'anglais.

Cette question a été examinée dans une étude inter-langues (anglais, français, espagnol) par Goswami et coll. (1998). L'étude a porté sur des enfants de 7, 8 et 9 ans qui ont eu à lire des mots et des pseudo-mots qui avaient ou non la même rime que des mots. Un effet facilitateur de la présence de rimes est relevé chez les anglophones et les francophones, mais pas chez les hispanophones. Comme le soulignent Ziegler et Goswami (2005), la prise en compte des rimes a toutefois un effet plus massif sur les résultats des anglophones que sur ceux des francophones : pour les enfants de 7 ans, l'amélioration des scores est en effet de 15 % à 20 % pour les anglais contre 5 % chez les français. Un résultat similaire a été relevé dans une autre étude avec des enfants francophones de 1re année du primaire (5 % de supériorité pour les pseudo-mots qui riment avec des mots en comparaison avec des items de contrôle, Sprenger-Charolles et coll., 1998b). Toutefois cet effet a été relevé en milieu de CP, alors que ni la fréquence, ni la lexica-lité, n'influaient sur les performances en lecture. Il pourrait donc provenir d'une facilitation *via* le lexique oral, les pseudo-mots qui riment

avec des mots étant construits à partir de mots fréquents qui ont des codes articulatoires préprogrammés. Cette interprétation est renforcée par le fait que, avec les mêmes items et les mêmes enfants, cet effet n'a pas été observé en écriture, modalité dans laquelle les codes articulatoires ne sont pas directement impliqués, à la différence de la lecture à haute voix. Elle est également renforcée par la présence de corrélations élevées entre les deux types de pseudo-mots (0,90).

L'utilisation par des enfants anglais et allemand d'unités sublexicales de petite taille (graphème-phonème, CGP) ou plus larges (rimes) a été réévaluée par Goswami et coll. (2003). La logique de cette étude est qu'une procédure s'appuyant sur les rimes devrait faciliter la lecture de pseudo-mots qui peuvent être lus par une telle procédure (en anglais, « *dake* », qui rime avec « *cake* », en allemand, « *guff* », qui rime avec « *cuff* ») lorsque dans une liste uniquement des pseudo-mots de ce type sont inclus, et vice versa pour des items qui peuvent être lus correctement en n'utilisant que les CGP. Si les deux types d'items sont mélangés dans une même liste, les performances des enfants anglais devraient être plus affectées que celles des allemands. C'est bien le résultat observé. En effet, dans la seconde condition, les scores des allemands ne sont pas pénalisés, ce qui suggère une nouvelle fois qu'ils utilisent surtout les CGP, alors que ceux des anglophones le sont, ce qui signale qu'ils utilisent à la fois une stratégie se basant sur les CGP et une stratégie se basant sur les rimes.

D'autres études indiquent que l'incidence négative de l'opacité de l'orthographe ne se retrouve pas simplement au début de l'apprentissage. C'est ce que suggèrent deux études, l'une avec des enfants de 9 ans, anglophones et néerlandophones (Pate et coll., 2004), l'autre avec des adultes anglais, français et italiens (Paulesu et coll., 2001). Dans ces études, le temps de latence de la réponse vocale dans des tâches de lecture à haute voix a été examiné. La première étude montre une infériorité des anglais, quel que soit le type d'item à lire (les différences à leur détriment sont de 446 et 576 ms pour la lecture de mots et de pseudo-mots, respectivement). De même, les anglais adultes (Paulesu et coll., 2001) se démarquent à la fois des français et des italiens, mais surtout en lecture de pseudo-mots (90 et 260 ms de différence au détriment des anglais ; les différences étant de 30 et 120 ms en lecture de mots) ce qui suggère encore une fois que les anglophones utilisent probablement plus que les sujets non anglophones leurs connaissances lexicales pour lire.

En résumé, le niveau en lecture dépend du degré de transparence de l'orthographe. En effet, les scores les plus faibles se retrouvent chez les anglophones et les meilleurs chez les hispanophones. Les facteurs linguistiques induisent également des différences qualitatives. Ainsi, les anglophones utilisent davantage la procédure lexicale, probablement pour compenser la difficulté de mise en œuvre du décodage dans leur langue.

C'est ce que suggère, d'une part, le fait que, dans toutes les comparaisons inter-langues, les différences les plus fortes à leur détriment ont été relevées en lecture de pseudo-mots, et non en lecture de mots et, d'autre part, la présence d'un effet facilitateur de l'homophonie dans des tâches de lecture à haute voix. En revanche, la présence de corrélations très élevées entre les scores pour les mots et les pseudo-mots chez les germanophones (pas chez les anglophones), tout comme l'absence d'effets facilitateurs de la fréquence et de l'homophonie en lecture à haute voix, indique que ces enfants s'appuieraient essentiellement sur le décodage pour lire. De plus, l'effet négatif de l'homophonie en lecture silencieuse relevé chez eux (pas chez les anglais), signale qu'ils auraient des difficultés à inhiber l'information phonologique. La moindre consistance des unités grapho-phonémiques en anglais semble également favoriser un plus grand recours à des unités plus larges que le graphème, en particulier la rime des mots, ce qui s'explique par le fait que cette consistance est, surtout pour les voyelles, plus forte au niveau des rimes dans cette langue. Ce n'est pas le cas dans des langues qui ont des voyelles clairement articulées, comme en français, en espagnol et en allemand.

Exemple en français : données longitudinales de 6 à 10 ans

En raison de la consistance des relations grapho-phonémiques en français, on peut s'attendre à observer une forte utilisation du décodage au début de l'apprentissage de la lecture. Cette hypothèse a été évaluée dans des études longitudinales (entre autres, Sprenger-Charolles et Casalis, 1995 ; Sprenger-Charolles et Bonnet, 1996 ; Sprenger-Charolles et Siegel, 1997 ; Sprenger-Charolles et coll., 1998a et b ; Sprenger-Charolles et coll., 2003) et transversales (entre autres, Leybaert et Content, 1995 ; Colé et coll., 1999). Nous examinerons surtout les résultats des études longitudinales vu que, les mêmes enfants étant observés à différents moments, les changements relevés entre sessions peuvent être imputés à des déterminants antérieurs. Ceux de deux études vont être présentés en détail (Sprenger-Charolles et coll., 1998b, 2003). Dans ces études, n'ont été pris en compte que des enfants supposés ne pas devoir rencontrer de difficultés pour les apprentissages scolaires, en l'occurrence, ceux ne présentant pas de troubles comportementaux ou sensoriels (auditifs ou visuels), ayant un niveau cognitif normal et de langue maternelle française. Soixante non-lecteurs ont été sélectionnés sur cette base à 5 ans, à partir du bilan réalisé par le psychologue scolaire, le niveau de « non-lecture », tout comme le niveau cognitif verbal et non-verbal, ayant été évalué par des tests spécifiques. En début de primaire, ces enfants étaient scolarisés dans 20 classes de 9 écoles de la banlieue parisienne, ce qui a permis de neutraliser au mieux la variable pédagogique.

Les enfants ont eu à lire des mots réguliers et irréguliers de différents niveaux de fréquence (« table » *versus* « sable » ou « sept » *versus*

« short »)[9]. Les mots réguliers ont été appariés en difficultés orthographiques à des pseudo-mots (« table-lople », « riche-soche »).

Les premiers résultats pour les sessions de CP ont été publiés en 1998 (Sprenger-Charolles et coll., 1998b). En milieu de CP, les performances en lecture sont très fortement affectées par la régularité mais pas par la fréquence ni par la lexicalité. En effet, alors que les mots réguliers sont mieux lus que les mots irréguliers (41 % de réponses correctes contre 7 %), les différences entre mots fréquents et rares (30 % contre 28 %), tout comme celles entre mots et pseudo-mots (44 % contre 48 %) ne sont pas significatives. Les effets de fréquence et de lexicalité se manifestent toutefois dès la fin du CP (75 % de réponses correctes pour les mots fréquents contre 66 % pour les rares ; 88 % pour les mots réguliers contre 80 % pour les pseudo-mots). Néanmoins, à cette époque, les signes de mise en œuvre de la procédure sublexicale sont toujours présents, en particulier l'effet de la régularité qui est même plus marqué que lors de la session précédente. La différence entre les réponses correctes pour les mots réguliers et irréguliers augmente en effet de 15 % (de 34 % à 49 %). Il en est de même, pour la proportion des erreurs de régularisation, qui passe de 5 % à 27 %. Ces résultats indiquent que les enfants utilisent principalement la procédure sublexicale au début de l'apprentissage de la lecture, le poids de cette procédure augmentant dans le temps alors qu'apparaissent progressivement quelques manifestations de traitements lexicaux.

La majeure partie de ces enfants a été suivie jusqu'en fin du CM1 (Sprenger-Charolles et coll., 2003). Dans la mesure où, d'après les résultats précédents, les effets de fréquence et de lexicalité allaient dans le même sens et que les mots rares utilisés étaient suffisamment fréquents pour être connus de lecteurs débutants, les analyses n'ont porté que sur les effets de lexicalité et de régularité. Les résultats, présentés dans la figure 2.7, indiquent que les changements majeurs s'opèrent durant la première année du primaire. En milieu de CP en effet, les scores en lecture de mots réguliers et de pseudo-mots ne diffèrent pas et sont supérieurs à ceux pour les mots irréguliers, qui sont très faibles. En quelques mois, le tableau se modifie fortement. Une progression est relevée pour les trois types d'items mais elle est plus marquée pour les mots réguliers, qui sont alors mieux lus que les pseudo-mots, eux-mêmes mieux lus que les mots irréguliers, ce qui peut s'expliquer par le fait que les mots réguliers bénéficient à la fois de la régularité et de la fréquence d'exposition. Ni la fréquence d'exposition seule, ni la régularité seule suffisent, comme en témoigne la progression plus faible pour les mots irréguliers d'une part, et pour les pseudo-mots d'autre part. Ces résultats permettent de comprendre pourquoi les progrès des enfants espagnols, qui ne rencontrent pratiquement que des mots réguliers,

9. Une pré-enquête de familiarité réalisée avec des enfants de milieu de CP a permis de vérifier que même les mots les moins fréquents utilisés étaient connus d'eux à l'oral. Cette précaution se justifie par le fait qu'il faut éviter de confondre effets de fréquence et de lexicalité, ce qui peut être le cas quand les mots rares sont en fait des mots que les enfants ne connaissent pas.

sont si rapides alors que l'apprentissage de la lecture est lent et laborieux pour les enfants anglais, confrontés à une orthographe peu consistante.

Figure 2.7 : Réponses correctes en lecture à haute voix de mots réguliers et irréguliers et de pseudo-mots : données longitudinales (d'après Sprenger-Charolles et coll., 2003)

Ces résultats peuvent toutefois être biaisés par le fait que les enfants devaient lire à haute voix. Cela ne semble pas être le cas vu ce qui a été observé, avec les mêmes enfants et aux mêmes époques, dans une tâche de lecture silencieuse dans laquelle, après l'énoncé d'une catégorie (fruit, couleur...) un mot appartenant ou non à cette catégorie était présenté. L'épreuve comportait des pièges visuels ou phonologiques. Par exemple, la question « est-ce que c'est une couleur? » était suivie de la présentation du mot « *gris* » (item correct), « *blan* » (intrus phonologique) ou « *rouqe* » (intrus visuel), l'hypothèse étant que si les codes phonologiques des mots écrits sont activés en lecture silencieuse, les intrus phonologiques devraient entraîner plus de fausses acceptations que les intrus visuels. De fait, sauf en milieu de CP, il y a systématiquement plus d'acceptations erronées des intrus phonologiques que des intrus visuels (respectivement pour les sessions de milieu et fin de CP et de fin de CE1 : 83, 90 et 77 % pour les intrus phonologiques et 84, 70 et 54 % pour les intrus visuels, soit respectivement -1 %, +20 % et +23 % de différence au détriment des intrus phonologiques). Les enfants activent donc les codes phonologiques des mots écrits en lecture silencieuse. Ce résultat pourrait toutefois être dû à des connaissances orthographiques peu précises. Pour savoir si l'orthographe des mots utilisés était maîtrisée, le mot-cible a été présenté en même temps que les deux

intrus (« pomme » *versus* « pome, pomne » ; « loup » *versus* « lou, louq »), les enfants devant montrer le « bon mot », celui qui est bien écrit. Le nombre des réponses correctes double entre le milieu du CP et la fin du CE1 (de 42 % à 87 %). En fin de CE1, les représentations orthographiques sont bien établies, tout au moins pour les items proposés. Or, à la même époque, les enfants ne rejetaient correctement qu'environ 25 % des intrus phonologiques contre environ 50 % des intrus visuels dans l'épreuve de décision sémantique. Les scores observés dans l'épreuve de choix orthographique peuvent s'expliquer par le fait qu'il est plus facile de repérer le bon mot quand les trois items sont présentés en même temps que lorsqu'on ne voit qu'un seul mot, correct ou non. Ils ne permettent toutefois pas de comprendre pourquoi, dans l'épreuve de décision sémantique, ce sont les intrus phonologiques qui sont source de plus d'erreurs. De plus, l'examen des erreurs dans l'épreuve de choix orthographique (Sprenger-Charolles et coll., 1998a) a permis de constater que, en milieu de CP, les acceptations erronées concernent massivement les intrus phonologiques (46 %), qui sont aussi souvent choisis que les mots corrects (40 %) et bien plus fréquemment que les intrus visuels (14 %). En fin de CP, alors que les réponses correctes dominent, on relève toujours plus d'erreurs sur les intrus phonologiques (29 %) que sur les intrus visuels (6 %). Quelle que soit l'épreuve, les intrus phonologiques sont donc source d'erreurs plus nombreuses que les intrus visuels. Cette différence ne peut être imputée à une ignorance de l'orthographe puisqu'elle demeure, et s'accentue, alors que les connaissances orthographiques des enfants s'améliorent.

Comme cela a été relevé chez les enfants germanophones (Goswami et coll., 2001), les résultats obtenus en lecture à haute voix indiquent que les enfants francophones ont recours principalement au décodage grapho-phonémique en début d'apprentissage. De même, ceux observés en lecture silencieuse signalent qu'il leur est difficile d'inhiber l'information phonologique contenue dans des items[10].

Incidence de la morphologie dans l'identification des mots écrits

Les modèles développementaux (Frith, 1985 ; Seymour, 1994) postulent que l'utilisation de la morphologie serait un signe d'expertise, ce qui est en accord avec des résultats indiquant que le lecteur expert semble traiter automatiquement les unités morphémiques (Colé et coll., 1997 ; Barber et coll., 2002). Les chercheurs qui se sont intéressés à la question de savoir si, et à partir de quand, l'apprenti-lecteur traite ce type d'unité ont princi-

10. Les enfants sont également capables d'apprendre des régularités non phonologiquement déterminées, comme le fait que certaines lettres peuvent se doubler, « pp », pas d'autres « jj », (Cassar et Treiman, 1997 ; Pacton et Fayol, 2000 ; Pacton et coll., 2001). Toutefois, il n'a pas été montré que la maîtrise de ce type de compétence a un rôle dans le développement de la lecture.

palement travaillé sur l'écriture. Cette question est pourtant loin d'être subalterne, au moins en français, qui a progressivement basculé du système des langues romanes (dans lequel, par exemple, les marques morphologiques de la personne sont notées à la finale des verbes, « *canto, cantas, canta* », sans pronom) au système des langues anglo-saxonnes (dans lequel ces marques sont indiquées par des pronoms). En plus, en français oral, les finales consonantiques des mots se sont amuisées progressivement, si bien que les marques de dérivation ont pour la plupart disparu à l'oral (cf. « grand, petit, long… »). En revanche, l'écrit, plus conservateur que l'oral, a gardé des traces de l'ancien système, ou d'anciennes prononciations, ce qui est à l'origine des principales inconsistances des relations graphème-phonème en français.

Des effets facilitateurs de la morphologie ont été relevés chez des enfants anglais de 7 à 9 ans (Laxon et coll., 1999 ; Carlisle et Stone, 2003 ; Mann et Singson, 2003) et chez des enfants français dès la fin de la 1re primaire (Marec-Breton et coll., 2005). L'étude de Laxon et coll. (1992) indique cependant que l'analyse morphologique des mots lus est sous la dépendance de facteurs phonologiques jusqu'à une période tardive. Ainsi, la lecture de mots suffixés est meilleure que celle de pseudo-suffixés (en français « chasser » *versus* « berger »), chez des enfants et des adultes, toutefois, les mots se terminant en « er » sont mieux lus que ceux finissant par « ed » par les enfants, pas par les adultes, ce qui peut s'expliquer par les règles phonologiques complexes qui gouvernent la prononciation du suffixe « *ed* » en anglais. C'est aussi ce qu'indique l'étude de Feldman et coll. (2002), qui a porté sur des enfants de 5e primaire qui devaient compléter un mot cible à partir d'une amorce transparente ou opaque (en français « vol-voler » *versus* « beau-belle »). Un effet de facilitation morphologique est relevé, que l'amorce soit transparente ou pas, cet effet étant toutefois plus important pour les amorces transparentes. Les résultats d'autres études vont dans le même sens (en anglais : Mann et Singson, 2003 ; en italien : Burani et coll., 2002). Les enfants utilisent donc les unités morphologiques quand ils lisent, quelle que soit l'orthographe (en italien, en allemand et en anglais). Néanmoins, le recours à de telles unités est sous la dépendance de facteurs phonologiques jusqu'à une époque tardive.

Rôle des méthodes d'apprentissage de la lecture

Les recherches dans ce domaine sont essentiellement anglo-saxonnes. Il y a toutefois quelques études francophones, entre autres, celles de Braibant et Gérard (1996) et de Goigoux (2000).

Les études anglo-saxonnes ont fait l'objet de deux synthèses, suite à une requête du congrès des États-Unis qui, en 1997, a demandé que soit évaluée l'incidence des pratiques pédagogiques sur l'apprentissage de la lecture. Une synthèse porte sur l'incidence des méthodes d'enseignement sur l'apprentissage

de la lecture (Ehri et coll., 2001b) ; l'autre sur l'effet d'un entraînement des capacités d'analyse phonémique sur cet apprentissage (Ehri et coll., 2001a)[11].

La première synthèse de Ehri et coll. (2001) inclut 38 études effectuées avec des enfants anglophones scolarisés aux États-Unis, au Canada, en Grande-Bretagne et en Australie. L'effet d'un type particulier de méthode a été évalué en comparant les résultats d'enfants intégrés dans des groupes qui ont bénéficié de méthodes supposées avoir un effet positif sur l'apprentissage de la lecture à ceux d'enfants qui ont été exposés à des méthodes différentes : le groupe dit « témoin ». Les études examinées ont été conduites dans des situations scolaires ordinaires : il ne s'agit donc pas d'expériences de laboratoire. Les différences relevées après l'apprentissage entre les groupes sont présentées en nombre d'écart-type. Des améliorations de l'ordre de 0,20 ; 0,50 et 0,80 écart-type ont été considérées comme étant respectivement faibles, modérées ou importantes (Cohen, 1988).

Cette synthèse avait 4 objectifs principaux :

- évaluer si un enseignement systématique des correspondances graphophonémiques aide plus efficacement les enfants à apprendre à lire qu'un enseignement ne tenant que peu, ou pas du tout, compte de ces correspondances ;
- évaluer si cet enseignement est plus efficace dans certaines circonstances, entre autres, en fonction, d'une part, de son moment d'introduction, très précoce (c'est-à-dire en 1re année du primaire, voire en grande section de maternelle) ou plus tardif (à partir de la 2e année du primaire) et, d'autre part, des habiletés des enfants : est-ce que ce type de méthode est aussi efficace pour des enfants n'ayant pas été repérés comme étant à risque pour l'apprentissage de la lecture que pour ceux supposés à risque pour cet apprentissage ou pour des lecteurs en difficultés ;
- évaluer si ce type d'enseignement a un effet non seulement sur les capacités de décodage mais également sur la compréhension de texte ;
- enfin, évaluer si les différences sont significatives quelles que soient les méthodes auxquelles ont été exposés les enfants du groupe témoin : entre autres, les méthodes de type « mixte », qui enseignent de façon non systématique le décodage, et les méthodes « *whole word* » ou « *whole language* ». Dans la méthode « *whole word* », les enfants apprennent d'abord quelques mots par cœur ; c'est seulement après cette étape, et en général pas avant la fin de la première année du primaire, que débute l'apprentissage des correspondances grapho-phonémiques. À la différence de cette méthode, dans l'approche « *whole language* » l'enseignement des correspondances graphophonémiques n'est pas différé, il est simplement réalisé en fonction des besoins des enfants.

11. Les résultats de cette synthèse sont présentés dans la partie « Compétences nécessaires à l'apprentissage de la lecture ».

L'effet moyen d'un enseignement systématique des relations grapho-phonémiques a été évalué sur les performances des enfants en lecture et en écriture de mots ainsi qu'en compréhension de textes, comparativement aux autres méthodes. Les principaux résultats sont présentés dans les figures 2.8a (avantage de la méthode phonique selon la tâche) et 2.8b (avantage de la méthode phonique selon le niveau de lecture et le niveau socio-économique : moyenne sur les 4 tâches).

Comme l'indique la figure 2.8a, un enseignement systématique des correspondances grapho-phonémiques en 1re année de primaire, voire dès la grande section de maternelle (sur la figure, les résultats des deux années sont confondus) aide efficacement les élèves. Cette supériorité se manifeste sur toutes les mesures. En revanche, lorsque cette méthode est introduite plus tardivement (à partir de la 2e année du primaire), son impact est plus faible. Ce dernier résultat peut toutefois être biaisé par le fait que la très grande majorité des études comportant un enseignement tardif des correspondances grapho-phonémiques (78 %) a porté sur des enfants en difficultés.

Figure 2.8a : Résultats de la méthode phonique selon la tâche (d'après Ehri et coll., 2001b)

De plus, un enseignement systématique des correspondances grapho-phonémiques est particulièrement bénéfique pour les enfants à risque pour l'apprentissage de lecture, en l'occurrence, ceux qui avaient de faibles capacités d'analyse phonémique ou qui étaient intégrés dans des classes spéciales pour enfants en difficultés, ou encore ceux issus des milieux socio-économiques les moins favorisés (voir la figure 2.8b).

Figure 2.8b : Résultats de la méthode phonique selon le niveau de lecture et le niveau socioéconomique : moyenne sur les 4 tâches (d'après Ehri et coll., 2001b)

Parmi les méthodes qui s'appuient systématiquement sur les relations grapho-phonologiques, il a été possible de distinguer trois principales approches : celles qui utilisent les correspondances entre les graphèmes et les phonèmes, celles qui s'appuient sur des unités plus larges telles que les rimes des mots et les approches mixtes. Ces trois approches ont toutes une incidence positive sur la lecture, les meilleurs résultats étant toutefois relevés quand sont enseignées les relations grapho-phonémiques. Enfin, les méthodes s'appuyant systématiquement sur les relations grapho-phonologiques se sont avérées être supérieures à toutes les autres méthodes, y compris aux méthodes mixtes qui enseignent ces relations, mais de façon non systématique.

Les résultats des études intégrées dans cette synthèse sont robustes : ils ont été relevés systématiquement quelle que soit la taille des groupes (20 enfants dans certaines études contre 320 dans d'autres), et quel que soit le mode d'affectation dans les groupes (dans 63 % des études cette affectation n'a pas été effectuée au hasard). Comme le soulignent les auteurs, ces résultats permettent d'avancer qu'un enseignement systématique et précoce des relations grapho-phonémiques aide plus efficacement les élèves qu'une approche peu, ou pas du tout, centrée sur ces relations.

Deux études francophones, celle de Braibant et Gérard (1996) et celle de Goigoux (2000), ont évalué l'impact d'une méthode centrée sur le décodage comparativement à celui d'une méthode idéovisuelle, qui rejette l'enseignement des relations grapho-phonémiques parce que le recours à la phonologie ralentirait la vitesse de lecture et nuirait à la compréhension. L'hypothèse de ces études était que les enfants ayant bénéficié d'un enseignement idéovisuel devraient avoir des performances supérieures à celles des enfants soumis à un enseignement centré sur le décodage, particulièrement en compréhension de textes écrits.

L'étude de Braibant et Gérard a été conduite auprès de 450 enfants scolarisés dans 25 classes de 2e année de 12 écoles francophones de l'agglomération bruxelloise. Les caractéristiques de cette population étaient proches des moyennes de référence (origine sociale, âge, sexe, retard scolaire…). La nécessité de ne pas favoriser les élèves qui ont appris à lire selon une méthode plutôt qu'une autre a conduit les auteurs à renoncer à une évaluation des compétences de lecture à voix haute, cette tâche étant généralement utilisée uniquement par les enseignants qui utilisent une méthode phonique. De même, les capacités de compréhension n'ont pas été évaluées par un test qui implique le recours à des stratégies d'anticipation contextuelles, ce type de stratégies étant privilégié par les enseignants pratiquant une méthode idéovisuelle.

Les capacités de décodage ont été évaluées par une épreuve de lecture silencieuse. Un dessin sous lequel était écrit un mot était présenté aux enfants qui devaient décider si ce mot correspondait bien à celui représenté par l'image. Cette épreuve comportait des « mots inadaptés », par exemple, le mot « boire » sous le dessin d'une « poire ». La compréhension a été évaluée par un test dans lequel l'enfant devait choisir, parmi 4 images, celle qui correspondait à un petit texte écrit. Par exemple, le texte « il est temps de se lever pour aller à l'école » était accompagné des images suivantes : l'une avec une maman montrant l'heure à sa fille qui était dans son lit, sur une autre figuraient deux enfants sur le chemin de l'école, les deux dernières images présentaient respectivement une maman lavant sa petite fille et deux enfants en train de se laver. Trois principaux constats ressortent de cette étude.

Tout d'abord, le niveau de lecture en 2e année du primaire (capacités de décodage et de compréhension) est largement expliqué par la méthode d'enseignement et les pratiques pédagogiques, le pouvoir explicatif de ces variables étant bien plus important que celui des facteurs socioculturels. Les autres facteurs associés à la réussite en lecture sont principalement la langue parlée à la maison et les compétences linguistiques des enfants. Ces deux facteurs n'ont toutefois pas la même incidence sur les différentes mesures des capacités de lecture. Ainsi, les enfants qui ne parlent pas le français à la maison comprennent moins bien ce qu'ils lisent, alors que leurs capacités de décodage sont aussi bonnes que celles des enfants dont la langue maternelle est le français. De même, les compétences linguistiques (vocabulaire, capacités syntaxiques) interviennent dans la réussite au test de compréhension alors qu'elles n'influencent pas de manière significative les capacités de décodage.

Ensuite, quelle que soit l'origine sociale des élèves, l'approche idéovisuelle est moins efficace que l'approche phonique. En fait, comme l'indiquent les résultats présentés dans la figure 2.9, les enfants de milieux les moins favorisés qui ont été exposés à une méthode enseignant le décodage ont des résultats supérieurs à ceux des enfants de milieu plus favorisés confrontés à une méthode idéovisuelle, et ce encore une fois tant dans le test évaluant leurs capacités de décodage que dans celui évaluant leurs capacités de compréhension.

Enfin, les enfants soumis à une approche idéovisuelle ont des scores plus faibles que ceux de l'autre groupe, en plus, cette approche augmente les différences entre les élèves et les classes. En revanche, les résultats des enfants qui ont été exposés à une approche phonique sont plus élevés mais aussi plus homogènes. Par exemple, dans le test de compréhension écrite supposé pourtant leur être plus favorable que le test de décodage, près de 50 % des élèves exposés à une méthode idéovisuelle ont obtenu un score faible (inférieur au percentile[12] 25), près de 25 % d'entre eux ayant même des résultats très faibles (inférieurs au percentile 10). De très bons résultats (supérieurs au percentile 75) n'ont été relevés que chez 10 % de ces enfants. Sur la base des mêmes calculs, 20 % des enfants exposés à une méthode phonique ont obtenu de très bons scores dans la même épreuve, et seulement 10 % des scores faibles.

Ces données ont été confirmées par une étude longitudinale française (Goigoux, 2000). D'après les résultats aux épreuves développées pour cette étude (compréhension et connaissance du code) mais aussi d'après ceux de l'évaluation nationale à l'entrée au CE2, les scores des enfants exposés à une méthode idéovisuelle sont inférieurs à ceux des enfants qui ont bénéficié de la méthode phonique.

Figure 2.9 : Résultats aux tests de compréhension et de décodage en fonction de l'approche pédagogique et du milieu socioculturel des enfants (MSC+ ou MSC- : milieu favorisé et défavorisé, d'après Braibant et Gérard, 1996)

12. Les percentiles, qui permettent de situer le niveau d'un enfant, sont calculés en fonction des résultats obtenus à un test standardisé. Les scores dans les percentiles 10 et 25 sont ceux obtenus respectivement par les 10% et les 25% des enfants les plus faibles de la population de référence, ceux dans le percentile 75 correspondant aux scores des 25% des enfants les plus forts. Quand, dans une étude spécifique, comme cela est ici le cas, 50 % des enfants ont des scores inférieurs au percentile 25 alors que 10% ont des scores supérieurs au percentile 75, cela signale que, par rapport à ce qui est attendu normalement, il y a une sur-représentation des enfants les plus faibles et un sous-représentation des plus forts.

Ainsi, d'après ces travaux, l'enseignement systématique des correspondances grapho-phonémiques est plus efficace que toutes les autres méthodes et l'impact de ce type d'enseignement est plus fort lorsqu'il débute précocement. Les enfants exposés à ce type d'enseignement obtiennent des résultats significativement supérieurs à ceux des enfants qui ont bénéficié d'autres méthodes, non seulement dans les activités de décodage, mais aussi en compréhension de textes écrits. Enfin, ce type d'enseignement est particulièrement bénéfique pour les enfants à risque de difficultés d'apprentissage de la lecture, soit en raison de la faiblesse de leur langage oral, soit du fait de leur milieu socioculturel.

Rôle du décodage dans l'apprentissage de la lecture

D'autres études indiquent que la maîtrise du décodage est le *sine qua non* de l'apprentissage de la lecture. Cela peut s'expliquer par le fait que le décodage permet de lire tous les mots réguliers, qu'ils soient ou non connus. Cette procédure de lecture fonctionne également, au moins partiellement, pour la lecture de mots irréguliers qui contiennent toujours des correspondances grapho-phonémiques régulières. On peut donc les lire en partie correctement en utilisant les correspondances graphème-phonème et, par une confrontation avec le lexique oral, corriger ensuite les erreurs. En effet, si on lit le mot « femme » en utilisant les relations grapho-phonémiques les plus fréquentes, on obtient l'item /fɛm/ qui n'existe pas. Dans la mesure où un mot fréquent de prononciation voisine existe /fam/, on peut inférer que le « e » de « femme » doit être lu /a/, comme dans les adverbes en « emment ». En fonction de la fréquence des correspondances grapho-phonémiques et de celle des mots, des associations fortes entre unités orthographiques et phonologiques peuvent ainsi se créer, tant au niveau sublexical (entre graphèmes et phonèmes), qu'au niveau lexical (entre représentations orthographiques et phonologiques du mot), voire à des niveaux intermédiaires (les rimes, en anglais), permettant ainsi à l'apprenti-lecteur de dépasser le stade du décodage lent et laborieux, et de lire tous les mots, y compris ceux qu'il n'a jamais rencontrés, par l'une ou l'autre des deux procédures de lecture.

Le rôle du décodage dans l'acquisition de la lecture a été mis en relief par des études qui ont montré que les enfants ayant au départ les meilleurs scores en lecture de pseudo-mots progressent le plus, y compris en lecture de mots irréguliers (Byrne et coll., 1992). Dans d'autres études, des corrélations positives entre réponses correctes et production d'erreurs phonologiques ont été relevées. Ainsi, les enfants qui, au début de l'apprentissage, font surtout des erreurs de régularisation sur les mots irréguliers sont aussi ceux qui produisent le plus de réponses correctes, ce qui est surprenant, les erreurs étant généralement négativement corrélées aux réponses correctes (Sprenger-Charolles et coll., 1998b). D'autres évidences viennent d'études qui ont comparé les effets d'entraînements phonologiques et visuels. Les résultats signalent que les entraînements phonologiques sont les plus efficaces. Ainsi,

au tout début de l'apprentissage, des enfants incapables de décoder même des mots très simples apprennent plus facilement les mots associés à des indices phonologiques qu'à des indices visuels (Ehri et Wilce, 1983 ; Laing et Hulme, 1999). Des résultats similaires ont été obtenus avec des enfants plus âgés (2e primaire, Share, 1999). Cette recherche a été effectuée en hébreu qui possède une orthographe transparente au niveau des correspondances grapho-phonémiques, tout au moins quand les voyelles sont explicitement transcrites, ce qui était le cas. Les items tests, des pseudo-mots représentant des noms fictifs de villes, d'animaux, de fleurs… ont été présentés dans des textes courts. Trois jours après la première présentation, on a demandé aux enfants de rappeler l'histoire. Puis, on leur a présenté quatre orthographes différentes des items-tests : l'item-test lui-même, un homophone, un item visuellement similaire (modification d'une lettre), et un item comportant une transposition de deux lettres. Les items-tests sont mieux et plus vite reconnus que les autres. De plus, dans des conditions qui interfèrent avec le traitement phonologique (écoute simultanée de productions non pertinentes), l'effet de l'apprentissage est fortement réduit. Enfin, la contribution d'un apprentissage visuel (des symboles non-alphabétiques remplaçant les lettres de l'hébreu) est très faible. L'auteur en conclut que le décodage est la clé de l'apprentissage de la lecture, non seulement pour les débutants mais plus largement quel que soit le niveau d'habileté du lecteur.

Le décodage a donc un rôle crucial dans la dynamique développementale. En conséquence, tout déficit de cette procédure doit entraîner des difficultés de mise en place du lexique orthographique. Si, comme il est maintenant largement admis, les enfants qui souffrent de difficultés spécifiques et sévères d'apprentissage de la lecture – les dyslexiques – présentent des déficiences dans les traitements impliquant la phonologie (Ramus, 2003), le décodage ne devrait pas se mettre correctement en place chez eux, ni par voie de conséquence, la procédure lexicale. En conséquence, on ne devrait pas rencontrer de profils dissociés de type dyslexie phonologique (caractérisée par un déficit spécifique de la procédure phonologique de lecture) ou dyslexie de surface (caractérisée par un déficit spécifique de la procédure lexicale de lecture) dans la dyslexie du développement.

En conclusion, l'apprentissage de la lecture dépend de la transparence des correspondances grapho-phonémiques, qui est très élevée dans certaines langues (en espagnol) et très faible dans d'autres (en anglais), le français occupant une position intermédiaire. De fait, les scores de lecture les plus bas s'observent chez les anglophones, et les plus hauts chez les hispanophones. Ces résultats s'expliquent bien à la lumière de ceux obtenus en français. En effet, en milieu de CP, les scores en lecture de mots réguliers et de pseudo-mots ne diffèrent pas et sont supérieurs à ceux relevés pour les mots irréguliers (comme « sept »), alors très faibles. En quelques mois (fin CP),

le tableau se modifie fortement. Les mots réguliers sont alors mieux lus que les pseudo-mots, eux-mêmes mieux lus que les mots irréguliers. Cela provient sans doute de ce que les mots réguliers bénéficient à la fois de la régularité et de la fréquence d'exposition. Ni la fréquence d'exposition seule, ni la régularité seule suffisent, comme l'indique la progression plus faible relevée pour les mots irréguliers d'une part, et pour les pseudo-mots d'autre part, comparativement aux mots réguliers. Ces données permettent de comprendre pourquoi les progrès des enfants espagnols sont si rapides alors que l'apprentissage de la lecture est lent et laborieux en anglais. Les facteurs linguistiques induisent également des différences qualitatives. Ainsi, la procédure lexicale est davantage utilisée quand l'orthographe est opaque, probablement pour compenser les difficultés de mise en œuvre du décodage. Les facteurs linguistiques induisent aussi des différences dans les unités de lecture utilisées. Par exemple, l'anglais favorise une plus grande utilisation des rimes des mots parce que, dans cette langue la prononciation des voyelles dépend largement des consonnes qui suivent. En revanche, les rares études dans le domaine de la morphologie indiquent que, quelle que soit la langue, les enfants utilisent des unités morphologiques quand ils lisent. Toutefois, cette capacité est sous la dépendance de facteurs phonologiques jusqu'à une période tardive. Enfin, quelle que soit la langue, c'est la capacité de décodage qui détermine le succès de l'apprentissage de la lecture, les meilleurs décodeurs précoces étant ceux qui progressent le plus.

Ces données permettent de comprendre pourquoi l'enseignement systématique, et précoce, des correspondances grapho-phonémiques est celui qui aide le plus efficacement les élèves. De plus, ce type d'enseignement se révèle particulièrement bénéfique pour les enfants de milieu socioéconomique défavorisé, et pour ceux signalés à risque pour l'apprentissage de lecture. Ces données permettent aussi de comprendre pourquoi les entraînements à l'analyse phonémique ont un effet sur l'apprentissage de la lecture, qui est toutefois plus important si, en plus, les enfants pouvaient manipuler les lettres correspondant aux phonèmes, ce qui suggère que le développement de la conscience phonémique est un facteur important dans l'apprentissage de la lecture, mais pas une condition suffisante. Elles permettent enfin de comprendre pourquoi les prédicteurs les plus fiables de l'apprentissage de la lecture sont les capacités d'analyse phonémique et le niveau de connaissance des lettres, auxquelles s'ajoutent les habiletés de dénomination rapide et de mémoire phonologique à court terme. En comparaison, le poids des habiletés non verbales et des facteurs socioculturels, est moindre. De même, les preuves à l'appui d'une contribution précoce des capacités d'analyse d'unités phonologiques plus larges (syllabe, attaque-rime et morphème) sont faibles. Ces résultats proviennent sans doute de ce que les capacités d'ana-lyse phonémique sont cruciales au début de l'apprentissage de la lecture dans une écriture alphabétique, parce qu'elles permettent à l'enfant d'accéder au principe de ce type d'écriture. En revanche, le niveau d'inter-

vention des capacités de dénomination rapide est moins clair. On peut toutefois supposer que, quand l'enfant utilise le décodage, cette capacité lui permettrait d'accéder de façon rapide et précise au mot oral qui correspond à la chaîne de lettres qu'il a décodée, ce qui faciliterait la création de liens entre code orthographique et code phonologique des mots. Vu le très fort pouvoir prédictif de cette capacité, l'utilisation de ce type de tâche dans les batteries prédictives doit être recommandée.

BIBLIOGRAPHIE

ANS B, CARBONNEL S, VALDOIS S. A connectionist multiple-trace memory model for polysyllabic word reading. *Psychological Review*, 1998, **105** : 678-723

ANTHONY JL, LONIGAN CJ, BURGESS SR, DRISCOLL K, PHILLIPS BM, CANTOR BG. Structure of preschool phonological sensitivity: Overlap sensitivity to rhyme, words, syllables, and phonemes. *Journal of Experimental Child Psychology* 2002, **82** : 65-92

ANTHONY JL, LONIGAN CJ, DRISCOLL K, PHILLIPS BM, BURGESS SR. Phonological sensitivity: A quasi parallel progression of word structure units and cognitive operation. *Reading Research Quarterly* 2003, **38** : 470-487

ANTHONY JL, LONIGAN CJ. The nature of phonological awareness: Converging evidence from four studies of preschool and early grade school children. *Journal of Educational Psychology* 2004, **96** : 43-55

BARBER H, DOMINGUEZ A, DE VEGA M. Human brain potentials indicate morphological decomposition in visual word recognition. *Neuroscience Letters* 2003, **318** :149-152

BOOTH JR, PERFETTI CA, MACWHINNEY B. Quick, automatic and general activation of orthographic and phonological representations in young readers. *Developmental Psychology* 1999, **35** : 3-19

BRADLEY L, BRYANT P. Categorizing sounds in learning to read: A causal connection. *Nature* 1983, **301** : 419-421

BRAIBANT JM, GÉRARD FM. Savoir lire : une question de méthodes ? *Bulletin de psychologie scolaire et d'orientation*, 1996, **1** : 7-45

BRUCK M. Word-recognition skills of adults with childhood diagnoses of dyslexia. *Developmental Psychology* 1990, **26** : 439-454

BRUCK M. Persistence of dyslexics' phonological awareness deficits. *Developmental Psychology* 1992, **28** : 874-886

BRUCK M, GENESEE F, CARAVOLAS M. A cross linguistic study of early literacy acquisition. *In*: Foundations of reading acquisition and dyslexia: Implications for early intervention. BLACHMAN B (ed). Lawrence Erlbaum associates, Mahwah, NJ, 1997 : 145-162

BRYANT PE, MACLEAN M, BRADLEY LL, CROSSLAND J. Rhyme and alliteration, phoneme detection, and learning to read. *Developmental Psychology* 1990, **26** : 429-438

BURANI C, MARCOLINI S, STELLA G. How early does morpholexical reading develop in readers of a shallow orthography? *Brain and Language* 2002, **81** : 568-586

BUS AG, VAN IJZENDOORN MH, PELLEGRINI AD. Joint book reading makes for success in learning to read: A meta-analysis on intergenerational transmission of literacy. *Review of Educational Research* 1995, **65** : 1-21

BUS AG, VAN IJZENDOORN MH. Phonological awareness and early reading: A meta-analysis of experimental training studies. *Journal of Educational Psychology* 1999, **91** : 77-85

BYRNE B, FREEBODY P, ET GATES A. Longitudinal data on the relations of word-reading strategies to comprehension, reading time and phonemic awareness. *Reading Research Quarterly* 1992, **27** : 141-151

CARAVOLAS M, HULME C, SNOWLING M. The foundation of spelling abilities: Evidence from a 3 year longitudinal study. *Journal of Memory and Language* 2001, **45** : 751-774

CARLISLE JF. Awareness of the structure and meaning of morphologically complex words: Impact on reading. *Reading and Writing* 2000, **12** : 169-190

CARLISLE JF, NOMANBHOY DM. Phonological and morphological awareness in first graders. *Applied Psycholinguistics* 1993, **14** : 177-195

CARLISLE JF, STONE CA. The effects of morphological structure on children's reading of derived words in English. *In* : Reading complex words: Cross-language studies. ASSINKN EMH, SANDRA D (eds). Kluwer Academic, New York, 2003 : 27-52

CASALIS S, LOUIS ALEXANDRE MF. Morphological analysis, phonological analysis and learning to read French: a longitudinal study. *Reading and Writing: An Interdisciplinary Journal* 2000, **12** : 303-335

CASTLES A, COLTHEART M. Is there a causal link from phonological awareness to success in learning to read? *Cognition* 2004, **91** : 77-111

COHEN J. Statistical power analysis for behavioural sciences. Academic Press, New York, 1977 (réédité en 1988)

COLÉ P, MAGNAN A, GRAINGER J. Syllable-sized units in visual word recognition: Evidence from skilled and beginning readers. *Applied Psycholinguistics* 1999, **20** : 507-532

COLÉ P, SEGUI J, TAFT M. Words and morphemes as units for lexical access. *Journal of Memory and Language* 1997, **37** : 312-330

COLTHEART M, RASTLE K, PERRY C, LANGDON R, ZIEGLER J. DRC: A dual route cascaded model of visual word recognition and reading aloud. *Psychological Review* 2001, **108** : 204-256

COSSU G, SHANKWEILER D, LIBERMAN IY, KATZ L, TOLA G. Awareness of phonological segments and reading ability in Italian children. *Applied Psycholinguistics*1988, **9** : 1-16

DEACON SH, KIRBY JR. Morphological awareness: Just "more phonological"? The roles of morphological and phonological awareness in reading development. *Applied Psycholinguistics* 2004, **25** : 223-238

DELATTRE P. Comparing the phonetic features of English, French, German and Spanisch. Jumius Gross Verlag, Heidelberg, 1965

DURGUNOGLU AY, ONEY B. A cross-linguistic comparison of phonological awareness and word recognition. *Reading & Writing: An Interdisciplinary Journal* 1999, **11** : 281-299

EHRI L, WILCE LS. Development of word identification speed in skilled and less skilled beginning readers. *Journal of Educational Psychology* 1983, **75** : 3-18

EHRI LC, NUNES SR, WILLOWS DM, SCHUSTER BV, YAGHOUB ZADEH Z, SHANAHAN T. Phonemic awareness instruction helps children learn to read: Evidence from the National Reading Panel's meta-analysis. *Reading Research Quarterly* 2001a, **36** : 250-287

EHRI LC, NUNES SR, STAHL SA, WILLOWS DM. Systematic phonics instruction helps students learn to read: Evidence from the National Reading Panel's meta-analysis. *Review of Educational Research* 2001b, **71** : 393-447

ELBRO C, SCARBOROUGH H. Early identification. *In*: Handbook of children's literacy. NUNES T, BRYANT P (eds). Kluwer Academic Publishers b.v., 2003

EME E, GOLDER C. Word-reading and word-spelling styles of French beginners: Do all children learn to read and spell in the same way? *Reading and Writing: An Interdisciplinary Journal* 2005, **18** : 157-188

FAWCETT AJ, NICOLSON RI. Persistence of phonological awareness deficit in older children with dyslexia. *Reading and Writing: An Interdisciplinary Journal* 1994, **7** : 361-376

FELDMAN LB, RUECKL J, DILIBERTO K, PASTIZZO M, VELLUTINO F. Morphological analysis by child readers as revealed by the fragment completion task. *Psychonomic Bulletin* 2002, **9** : 529-535

FERRAND L, GRAINGER J. Phonology and orthography in visual word recognition: Evidence from masked non word priming. *Quarterly Journal of Experimental Psycholology* 1992, **45** : 353-372

FERRAND L, GRAINGER J. The time course of orthographic and phonological code activation in the early phases of visual word recognition. *Bulletin of the Psychonomic Society* 1993, **31** : 119-122

FORSTER KI. Priming and the effects of sentence and lexical contexts on naming time: Evidence for autonomous lexical processing. *Quaterly Journal of Experimental Psycholgy* 1981, **33** : 465-495

FRITH U. Beneath the surface of developmental dyslexia. *In*: Surface dyslexia: Neuropsychological and cognitive studies of phonological reading. PATTERSON KE, MARSHALL JC, COLTHEART M (eds). Erlbaum, London, 1985 : 301-330

FRITH U, WIMMER H, LANDERL K. Differences in phonological recoding in German- and English-speaking children. *Scientific Studies of Reading* 1998, **2** : 31-54

GERNSBACHER MA, VARNER KR, FAUST ME. Investigating differences in general comprehension skills. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition* 1990, **16** : 430-445

GEUDENS A, SANDRA D. Beyond implicit phonological knowledge: No support for an onset-rime structure in children's explicit phonological awareness. *Journal of Memory and Language* 2003, **49** : 157-182

GOIGOUX R. Apprendre à lire à l'école: les limites d'une approche idéovisuelle. *Psychologie Française* 2000, **45** : 233-243

GOSWAMI U, BRYANT P. Phonological skills and learning to read. Hove, England, Lawrence Erlbaum, 1990

GOSWAMI U, GOMBERT JE, BARRERA LF. Children's orthographic representations and linguistic transparency: nonsense word reading in English, French and Spanish. *Applied Psycholinguistics* 1998, **19** : 19-52

GOSWAMI U, EAST M. Rhyme and analogy in beginning reading: Conceptual and methodological issues. *Applied Psycholinguistics* 2000, **21** : 63-93

GOSWAMI U, ZIEGLER JC, DALTONL, SCHNEIDER W. Pseudohomophone effects and phonological recoding procedures in reading development in English and German. *Journal of Memory and Language* 2001, **45** : 648-664

GOSWAMI U, ZIEGLER JC, DALTON L, SCHNEIDER W. Nonword reading across orthographies: How flexible is the choice of reading units? *Applied Psycholinguistics* 2003, **24** : 235-247

GUTTENTAG RE, HAITH MM. Automatic processing as a function of age and reading ability. *Child Development* 1978, **49** : 707-716

HULME C, HATCHER PJ, NATION K, BROWN A, ADAMS J, STUART G. Phoneme awareness is a better predictor of early reading skill than onset-rime awareness. *Journal of Experimental Child Psychology* 2002, **82** : 2-28

HULME C, MUTER VV, SNOWLING M. Segmentation does predict early progress in learning to read better than rhyme: A reply to bryant. *J Exp Child Psychol* 1998, **71** : 39-44

KIPFFER-PIQUARD A. Étude longitudinale prédictive de la réussite et de l'échec spécifiques à l'apprentissage de la lecture (suivi de 85 enfants de 4 à 8 ans). Thèse de Doctorat, Université Paris 7-Denis Diderot, 2003 (Thèse publiée en 2006 par l'Atelier National de Reproduction des thèses. Lille : ANRT)

KIRBY JR, PARRILA RK, PFEIFFER SL. Naming Speed and Phonological Awareness as Predictors of Reading Development. *Journal of Educational Psychology* 2003, **95** : 453-464

LAING E, HULME C. Phonological and semantic processes influence beginning readers' ability to learn to read words. *Journal of Experimental Child Psychology* 1999, **73** : 183-207

LAXON V, RICKARD M, COLTHEART V. Children read affixed words and non-words. *British Journal of Psychology* 1992, **83** : 407-423

LECOCQ P. Apprentissage de la lecture et dyslexie. Mardaga, Bruxelles, 1991

LECOCQ P. ECOSSE : Une épreuve de compréhension syntaxico-sémantique, 1996

LEFAVRAIS P. Test de l'Alouette: Manuel. Les Éditions du Centre de Psychologie Appliquée, Paris, 1967

LEYBAERT J, CONTENT A. Reading and spelling acquisition in two different teaching methods: A test of the independence hypothesis. *Reading and Writing: An Interdisciplinary Journal* 1995, **7** : 65-88

LIBERMAN IY, SHANKWEILER D, FISHER WF, CARTER B. Explicit syllable and phoneme segmentation in the young child. *Journal of Experimental Child Psychology* 1974, **18** : 201-212

MAHONY D, SINGSON M, MANN V. Reading ability and sensitivity to morphological relations. *Reading and Writing: An Interdisciplinary Journal* 2000, **12** : 191-218

MANN VA, SINGSON M. Linking morphological knowledge to english decoding ability: Large effects of little suffixes. *In*: Reading complex words: Cross-language studies. ASSINK EMH, ET SANDRA D (eds). New York: Kluwer Academic/Plenum publishers, 2003 : 1-24

MANN VA. Phonological awareness: The role of reading experience. *Cognition* 1986, **24** : 65-92

MANN V, WIMMER H. Phoneme awareness and pathways into literacy: A comparison of German and American children. *Reading and Writing: An Interdisciplinary Journal* 2002, **15** : 653-682

MAREC-BRETON N, GOMBERT JE, COLÉ P. Traitements morphologiques lors de la reconnaissance des mots écrits chez des apprentis lecteurs. *L'Année Psychologique* 2005, **105** : 9-45

MASONHEIMER PE, DRUM PA, EHRI LC. Does environmental print identification lead children into word reading? *Journal of Reading Behavior* 1984, **16** : 257-271

MORAIS J, CARY L, ALEGRIA J, BERTELSON P. Does awareness of speech as a sequence of phones arise spontaneously? *Cognition* 1979, **7** : 323-333

MORAIS J, BERTELSON P, CARY L, ALEGRIA J. Literacy training and speech segmentation. *Cognition* 1986, **24** : 45-64

MUTER V, HULME C, SNOWLING M, TAYLOR S. Segmentation, not rhyming, predicts early progress in learning to read. *J Exp Child Psychol* 1998, **71** : 3-27

MUTER V, HULME C, SNOWLING MJ, STEVENSON J. Phonemes, rimes, vocabulary, and grammatical skills as foundations of early reading development: Evidence from a longitudinal study. *Developmental Psychology* 2004, **40** : 665-681

NATION K, HULME C. Phonemic segmentation, not onset-rime segmentation, predicts early reading and spelling skills. *Reading Research Quarterly* 1997, **32** : 154-167

PACTON S, FAYOL M. The impact of phonological cues on children's judgements of nonwords: The case of double letters. *Current Psychology Letters: Behaviour, Brain and Cognition* 2000, **1** : 39-54

PACTON S, PERRUCHET P, FAYOL M, CLEEREMANS A. Implicit learning out of the lab: The case of orthographic regularities. *Journal of Experimental Psychology General* 2001, **130** : 401-426

PATE TK, SNOWLING MJ, DE JONC PF. A cross-linguistic comparison of children learning to read in English and Dutch. *Journal of Educational Psychology* 2004, **96** : 785-779

PARRILA R, KIRBY JR, MCQUARRIE L. Articulation rate, naming speed, verbal short-term memory and phonological awareness: Longitudinal predictors of early reading development? *Scientific Study of Reading* 2004, **8** : 3-26

PAULESU E, DÉMONET JF, FAZIO F, MCCRORY E, CHANOINE V, et coll. Dyslexia, Cultural diversity and Biological unity. *Science* 2001, **291** : 2165-2167

PEEREMAN R, CONTENT A. LEXOP: A lexical database providing orthography-phonology statistics for French monosyllabic words. *Behavioral Research Methods, Instruments and Computers* 1999, **31** : 376-379

PEREA M, GOTOR A. Associative and semantic priming effects occur at very short stimulus-onset asynchronies in lexical decision and naming. *Cognition* 1997, **62** : 223-240

PERFETTI CA, GOLDMAN SR, HOGABOAM TW. Reading skill and the identification of words in discourse context. *Memory and Cognition* 1979, **7** : 273-282

PERFETTI CA, ZHANG S. The universal word identification reflex. *In* : The psychology of learning and motivation. MEDIN DL (ed). Vol 33, Academic Press, San Diego, 1995 : 159-189

PETERSEN DK, ELBRO C. Pre-school prediction and prevention of dyslexia: A longitudinal study with children of dyslexic parents. *In* : Learning to read: An integrated view from research and practice. NUNES T (ed). Kluwer, Dordrecht, 1999 : 133-154

PLAUT DC, MCCLELLAND JL, SEIDENBERG MS, PATTERSON KE. Understanding normal and impaired word reading: Computational principles in quasi-regular domain. *Psychological Review* 1996, **103** : 56-115

PLAUT DC, BOOTH JR. Individual and developmental differences in semantic priming: Empirical and computational support for a single mechanism account of lexical processing. *Psychological Review* 2000, **107** : 786-823

RAMUS F. Developmental dyslexia: Specific phonological deficit or general motor dysfunction? *Current Opinion in Neurobiology* 2003, **13** : 212-218

RAYNER K. Eye movements in reading and information processing: 20 years of research. *Psychological Bulletin* 1998, **124** : 372-422

RAYNER K, FOORMAN BR, PERFETTI CA, PESETSKY D, SEIDENBERG MS. How psychological science informs the teaching of reading. *Psychological Science* 2001, **2** : 31-74

SAVIGNY M. Bat-Elem. Éditions de Psychologie Appliquée, Issy-les-Moulineaux, 1974

SCARBOROUGH HS. Early identification of children at risk for reading disabilities. Phonological awareness and some other promising, predictors. *In*: Specific reading disability: A view of the spectrum. SHAPIRO BK, ACCRADO PJ, CAPUTE AJ (eds). York Press, New York, 1998a : 75-119

SCARBOROUGH HS. Predicting the future achievement of second graders with reading disabilities: Contributions of phonemic awareness, verbal memory, rapid naming, and IQ. *Annals of Dyslexia* 1998b, **48** : 115-136

SCARBOROUGH HS. Connecting early language and literacy to later reading (dis)abilities: Evidence, theory, and practice. *In* : Handbook of early literacy research. NEUMAN SB, DICKINSON DK (eds). New York: Guilford Press, 2001 : 97-110

SCARBOROUGH HS, DOBRICH W. On the efficacy of reading to preschoolers. *Developmental Review*, 1994, **14** : 245-302

SCHATSCHNEIDER C, FLETCHER JM, FRANCIS DJ, CARLSON CD, FOORMAN BR. Kindergarten Prediction of Reading Skills: A Longitudinal Comparative Analysis. *Journal of Educational Psychology* 2004, **96** : 265-282

SEYMOUR PHK. Un modèle du développement orthographique à double fondation. *In* : Apprentissage de la lecture et de l'écriture. JAFFRÉ JP, SPRENGER-CHAROLLES L, FAYOL M (eds). Actes du colloque du Ministère de l'Education et de la Culture. Nathan, Paris, 1994 : 57-79

SEYMOUR PHK, ARO M, ERSKINE JM. Foundation literacy acquisition in European orthographies. *British Journal of Psychology* 2003, **94** : 143-174

SHANKWEILER DP, CRAIN S, KATZ L, FOWLER A, LIBERMAN A, et coll. Cognitive profiles of reading disabled children: Comparison of language skills in phonology, morphology and syntax. *Psychological Science* 1995, **6** : 149-156

SHARE DL. Phonological recoding and orthographic learning: a direct test of the self-teaching hypothesis. *Journal of Experimental Child Psychology* 1999, **72** : 95-129

SPRENGER-CHAROLLES L. Reading acquisition: Cross linguistic data. *In*: Handbook of children's literacy. NUNES T, BRYANT P (eds). Dordrecht, Kluwer, 2003 : 43-66

SPRENGER-CHAROLLES L, CASALIS S. Reading and spelling acquisition in French first graders: Longitudinal evidence. *Reading and Writing: An Interdisciplinary Journal* 1995, **7** : 1-25

SPRENGER-CHAROLLES L, BONNET P. New doubts on the importance of the logographic stage. *Current Psychology of Cognition* 1996, **15** : 173-208

SPRENGER-CHAROLLES L, SIEGEL LS. A longitudinal study of the effects of syllabic structure on the development of reading and spelling skills in French. *Applied psycholinguistics* 1997, **18** : 485-505

SPRENGER-CHAROLLES L, COLÉ P. Lecture et Dyslexie: Approches cognitives. Dunod, Paris, 2003

SPRENGER-CHAROLLES L, SIEGEL LS, BÉCHENNEC D. Phonological mediation and orthographic factors in silent reading. *Scientific Study of Reading* 1998a, **2** : 3-29

SPRENGER-CHAROLLES L, SIEGEL LS, BONNET P. Phonological mediation and orthographic factors in reading and spelling. *Journal of Experimental Child Psychology* 1998b, **68** : 134-155

SPRENGER-CHAROLLES L, COLÉ P, LACERT P, SERNICLAES W. On Subtypes of Developmental Dyslexia: Evidence from Processing Time and Accuracy Scores. *Canadian Journal of Experimental Psychology* 2000, **54** : 88-104

SPRENGER-CHAROLLES L, SIEGEL LS, BÉCHENNEC D, SERNICLAES W. Development of phonological and orthographic Processing in Reading aloud, in Silent reading and in Spelling: A Four Year Longitudinal Study. *Journal of Experimental Child Psychology* 2003, **84** : 194-217

SPRENGER-CHAROLLES L, COLÉ P, SERNICLAES W. Reading Acquisition and developmental dyslexia. Psychology Press, London, 2006

STANOVICH KE, WEST RF. The effects of sentence context ongoing word recognition: Tests of a two process theory. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance* 1981, **7** : 658-672

STUART M, COLTHEART M. Does reading develop in a sequence of stages. *Cognition* 1988, **30** : 139-151

VELLUTINO FR, FLETCHER JM, SNOWLING MJ, SCANLON DM. Specific reading disability (dyslexia): What we have learned in the past four decades? *Journal of Child Psychology and Psychiatry* 2004, **45** : 2-40

WAGNER RK, TORGESEN JK, RASHOTTE CA. Development of reading related phonological processing abilities: New evidence of bi-directional causality from a latent variable longitudinal study. *Developmental Psychology* 1994, **30** : 73-87

WAGNER RK, TORGESEN JK, RASHOTTE CA, HECHT SA, BARKER TA, et coll. Changing relations between phonological processing abilities and word-level reading as children develop from beginning to skilled readers: A five year longitudinal study. *Developmental Psychology* 1997, **33** : 468-479

WEST RF, STANOVICH KE. Automatic contextual facilitation in readers of three ages. *Child Development* 1978, **49** : 717-727

WIMMER H. Characteristics of developmental dyslexia in a regular writing system. *Applied Psycholinguistics* 1993, **14** : 1-33

WIMMER H. The early manifestation of developmental dyslexia: Evidence from German children. *Reading and Writing: An Interdisciplinary Journal* 1996, **8** : 171-188

WIMMER H, GOSWAMI U. The influence of orthographic consistency on reading development: Word recognition in English and German children. *Cognition* 1994, **51** : 91-103

ZIEGLER JC, GOSWAMI U. Reading acquisition, developmental dyslexia and skilled reading accross languages: A psycholinguistic grain size theory. *Psychological Bulletin* 2005, **13** : 3-29

3

Apprentissage de la production écrite et de l'orthographe

L'étude de la production verbale écrite et de son apprentissage nécessite que soient prises en considération plusieurs dimensions. Premièrement, alors que le langage utilise les canaux oral et auditif, l'écriture mobilise la motricité manuelle et la vision. L'apprentissage de la production écrite exige d'abord que le geste graphique soit contrôlé et puisse être dirigé de manière à produire les unités distinctives de l'écriture. Cet apprentissage est à la fois indépendant et relié à la compréhension de la dimension dite symbolique de l'écrit. L'écrit sert à re-représenter des signifiés, lesquels sont déjà représentés par la parole. L'écriture est un recodage de la parole, ce que les enfants doivent découvrir. En français, du fait que le système orthographique est de type alphabétique, il leur faut dans le même temps réaliser que ce recodage s'effectue par des unités abstraites, les phonèmes, correspondant à des lettres ou configurations de lettres (graphèmes). Cette dimension phonographique est fondamentale et constitue une première source de difficultés. Ce n'est pas la seule. Le caractère irrégulier (ou opaque ou non consistant) du français écrit, essentiellement dans le sens de la production verbale écrite (et non ou beaucoup plus faiblement en lecture), a pour conséquence que l'apprentissage et la maîtrise de la production écrite exigent la disponibilité de connaissances lexicales et morphologiques. Ces dernières entrent parfois en compétition avec la dimension phonographique, la morphographie (codage de la dimension morphologique) l'emportant sur la phonologie, en particulier pour conserver aux mots leur relation à des mots de la même famille (c'est ainsi que « il faisait » se transcrit « fai- » par analogie avec « faire » bien qu'il se prononce comme « ferai »). Ce sont ces dimensions, le déroulement de leur apprentissage et les difficultés qu'elles soulèvent qui constituent l'objet du présent chapitre.

Dimension symbolique de l'écrit

Avant de savoir lire et écrire, les enfants ont une certaine familiarité avec l'écrit (Tolchinsky, 2003). Dès 3-4 ans, ils différencient l'écriture du dessin et comprennent même vaguement ce qu'est la lecture. Ils peuvent avoir

appris des associations régulières entre référents et/ou situations, formes graphiques et/ou sonores (la désignation de « Total » ou « Auchan » : formes écrites et configurations stables associées à des prononciations elles-mêmes stables) ainsi que des prénoms. Toutefois, ces acquis ne correspondent pas à ce qui caractérise la lecture ou l'écriture. En effet, les dimensions contextuelles (couleurs, environnement, situation) importent autant voire plus que les caractéristiques alphabétiques des items, c'est-à-dire la nature et l'ordre des lettres. La procédure dite logographique d'appariement direct entre sens et forme graphique est peu développée au moins en français. De plus, la production qui oblige à traiter les lettres une à une pour les transcrire s'accorde mal avec un traitement global des mots.

Les connaissances relatives à l'écrit sont en fait très tôt beaucoup plus précises. Les enfants de 3-4 ans sont en mesure de différencier l'écriture du dessin, même s'ils ne comprennent pas encore la fonction alphabétique de l'écrit (Lavine, 1977 ; Gombert et Fayol, 1992). Ils perçoivent dès 4-5 ans les caractéristiques de l'écrit : sa direction, sa linéarité, la présence d'unités, de blancs entre les mots… (Tolchinsky-Landsmann et Levin, 1985). Longtemps, ils considèrent que le mot correspondant à l'entité la plus volumineuse doit être le plus long : en quelque sorte, le mot « train » devrait être plus long que le mot « bicyclette ». Ils tendraient également à ne représenter que les noms, et pas les verbes ou les adjectifs (Ferreiro et Teberosky, 1982 ; Tolchinsky-Landsmann et Levin, 1987). Ils découvrent progressivement que l'écrit représente la parole et que les mots et les lettres ne correspondent pas aux traits physiques des objets auxquels ils renvoient. Toutefois, ils peinent, encore à 5 ans, à différencier les lettres de symboles qui leur ressemblent mais n'en sont pas. Il faut également attendre l'âge de 6 ans pour voir la dynamique de la production graphique se différencier de celle du dessin (Adi-Japha et Freeman, 2001).

Apprentissage de l'écriture

L'apprentissage de la dimension graphique de l'écriture (PE) s'étale sur plusieurs années et pose des problèmes à tous les enfants à un certain moment et à quelques-uns pendant très longtemps. La vitesse d'écriture, initialement très lente, augmente progressivement de la première primaire à la classe de troisième (Graham et coll., 1998). Les enfants présentant des difficultés d'apprentissage (*Learning Disabled*) écrivent plus lentement que leurs pairs de mêmes âges et peinent plus qu'eux à accélérer leur rythme d'écriture lorsque le besoin s'en fait sentir (Weintraub et Graham, 1998). Malgré la pratique, le tracé de certaines lettres (q, j, z, u, n, k) reste difficile jusqu'en troisième primaire (Graham et coll., 2001).

Les études de corrélations conduites par Graham et coll. (1997) sur 600 enfants, de la première à la sixième année de scolarité, établissent que

les performances graphiques relevées en vitesse et exactitude de tracé des lettres sont significativement associées aux performances rédactionnelles et que leur poids baisse avec l'élévation du niveau scolaire. Ce poids est très important chez les plus jeunes (Cunningham et Stanovich, 1990) et reste non négligeable chez les adultes. Connelly et coll. (2005) rapportent qu'en situation d'examen, mais non en temps libre (Walczyk, 2000), la fluidité de l'écriture explique encore quelques 30 % de la variance de la qualité des rédactions d'étudiants de premier cycle universitaire évaluée par des juges.

Ces données suggèrent que la performance en écriture pourrait être causalement impliquée dans les variations de la quantité et de la qualité des productions verbales écrites de textes. Une série d'études expérimentales est venue confirmer les résultats des approches corrélationnelles. Bourdin et Fayol (1994, 1996, 2000) ont montré que la modalité de production (orale *versus* écrite) influe sur les performances en rappel de mots des enfants jusqu'en troisième primaire : les produits étaient de meilleure qualité à l'oral qu'à l'écrit. Toutefois, dès que des adultes devaient transcrire en utilisant une graphie connue mais peu utilisée (les majuscules), leurs performances rejoignaient celles des enfants de CE2. C'était donc bien la difficulté de l'écriture qui influait sur la performance. Ces résultats ont ensuite été étendus à la production de phrases (Bourdin et Fayol, 1996) puis de textes (Bourdin et Fayol, 2002). Ainsi, même les adultes composent des textes de moins bonne qualité lorsque la gestion de la tâche devient difficile au point sans doute d'approcher les limites de capacité (Connelly et coll., 2005). Fayol et Miret (2005) ont montré que les enfants de troisième année primaire (CE2) présentant des performances relativement faibles en écriture (évaluées par la production en temps limité des lettres de l'alphabet) commettaient plus d'erreurs d'orthographe que leurs pairs dans une épreuve de dictée, une fois contrôlés les niveaux en orthographe lexicale, en connaissance des règles d'accord, en vocabulaire et en niveau de raisonnement non verbal. Toutefois, la relation causale n'était pas directement testée.

Ce sont les études introduisant un entraînement qui ont apporté les arguments les plus décisifs à la thèse de la relation causale entre performance en écriture et performance en composition verbale écrite. Berninger et coll. (1997), Jones et Christensen (1999) puis Graham et coll. (2000) ont montré que le fait de fournir une instruction et un entraînement supplémentaires à des enfants de première primaire qui avaient des difficultés d'apprentissage de l'écriture se traduisait par une amélioration immédiate et différée de l'écriture elle-même mais aussi de la composition des phrases (Graham et coll., 2000) ou des textes (Berninger et coll., 1997 ; Jones et Christensen, 1999). Ces progrès n'induisaient pas pour autant une amélioration de l'attitude envers l'écrit, évaluée à partir d'une échelle. Toutefois, la durée limitée de l'expérience rendait peu probable une telle modification.

En résumé, l'apprentissage de l'écriture est relativement long et pose à tous les enfants des problèmes qui apparaissent dominés vers la troisième année

primaire chez la majorité des enfants. Pendant la phase de mise en place de cet apprentissage pour tous les enfants et encore au-delà de cette période pour ceux qui peinent à automatiser la graphie, les difficultés soulevées par l'écriture rejaillissent sur la quantité et, de manière moins assurée, sur la qualité des productions textuelles.

Accès au principe alphabétique

Dans les écritures alphabétiques, l'étape cruciale de l'apprentissage réside dans la compréhension que les séquences de lettres entretiennent des correspondances régulières – parfois complexes – avec les séquences sonores, ce qu'on appelle le principe alphabétique (ONL, 1998). En production, cela nécessite que l'enfant soit parvenu à une certaine maîtrise de sa langue maternelle et puisse la traiter comme un objet d'observation lui permettant, par exemple :

- de segmenter les énoncés en syllabes /kado/, /ka/ /do/ (Ferreiro et Teberosky, 1982 ; Tolchinsky et Teberosky, 1998), plus tard, en phonèmes /ka/, /k/ /a/ ou en configurations intermédiaires (attaques/rimes) ;
- de conserver en mémoire cette segmentation tout en transcrivant, même de manière non conventionnelle (« cado ») ;
- de contrôler ultérieurement par lecture (/c/ + /a/, /ka/ + /d/ + /o/, /do/ /kado/) l'exactitude (relative) de ce qu'il a fait.

Cette compréhension du principe alphabétique suffit plus ou moins à assurer l'apprentissage, selon les propriétés du système orthographique. Par exemple, les appariements entre phonèmes et graphèmes sont plus réguliers en espagnol, en italien, voire en allemand, qu'en français ou en anglais (Sprenger-Charolles, 2003).

L'enfant s'appuie initialement sur ses connaissances relatives à l'écriture de ses nom et prénom (Treiman et Tincoff, 1997 ; Treiman et coll., 2001). La connaissance du nom (surtout) et du son des lettres joue alors un rôle essentiel (Foulin, 2005). Associée aux capacités de segmentation de la parole et de catégorisation des unités phonologiques, elle permettrait la mise en place des premières correspondances entre configurations phonologiques et configurations de lettres (Treiman, 1994). Ainsi, Treiman (1994) a observé que des enfants de niveau préscolaire devant transcrire des syllabes telles que /gar/, /zef/ et /tib/ commencent par produire une seule lettre (respectivement R, F et T). Dans une certaine mesure, cela signifie qu'ils ont compris l'existence d'une relation avec la forme phonologique des « mots ». Plus tard, l'écriture se transforme par exemple en « cr » (pour « car »), le « r » représentant le son /ar/. Les noms des lettres sont utilisés plus fréquemment pour certaines formes que pour d'autres (par exemple, plus pour « r » que pour « l »). À ce niveau, les enfants ont compris que l'écriture

représente les sons, mais leurs connaissances de la phonologie, de l'alphabet et de leurs relations sont encore rudimentaires. De là les erreurs diverses traduisant la construction progressive du principe alphabétique.

Progressivement, du fait à la fois de la pratique et de l'instruction reçue, l'enfant aboutit à la prise de conscience de l'ensemble des phonèmes et de leurs associations avec les graphèmes du système orthographique. Il met en place une procédure générative de production lettre à lettre (en écriture) reposant sur la médiation phonologique. Cette orthographe phonologique se manifeste par des régularisations (« femme » est transcrit « fam ») (Sprenger-Charolles et coll., 1998). Elle conduit à des formes certes erronées (« cado », « cadot », « kadau ») mais qui respectent la forme phonologique du mot (/kado/). En lecture, cette procédure favorise un auto-apprentissage, en ce sens que les individus qui la maîtrisent, même partiellement, sont en mesure de déchiffrer les mots écrits non encore rencontrés et de chercher à mettre en relation la forme sonore ainsi composée avec une forme sonore déjà disponible dans leur lexique mental oral (Share, 1995).

Dans les systèmes orthographiques dits transparents, ou dans ceux qui s'en rapprochent (italien, finlandais, serbo-croate...), l'accès au principe alphabétique suffit pratiquement à permettre de lire et de transcrire tous les mots nouveaux, quels qu'ils soient. Comme les appariements entre phonèmes et graphèmes sont réguliers en espagnol, en italien, voire en allemand. Les jeunes Espagnols ou Italiens exploitent précocement les régularités du système et lisent et écrivent ainsi de nombreux mots qu'ils n'ont jamais rencontrés auparavant (Thorstad, 1991 ; Cuetos, 1993 ; Manrique et Signorini, 1994 ; Defior et Serrano, 2005). Par contraste, les apprentissages de la lecture et de l'écriture des mots sont plus tardifs (et problématiques) en anglais du fait de l'opacité des relations entre phonèmes et graphèmes en perception comme en français (Seymour et coll., 2003 ; Sprenger-Charolles, 2003) en raison de l'inconsistance de la relation entre phonologie et orthographe en production. Le français occupe une position particulière : les relations graphèmes-phonèmes sont relativement régulières et rapprochent le français des systèmes transparents en lecture. En revanche, les relations phonèmes-graphèmes sont inconsistantes (irrégulières), le français étant proche en production de l'anglais (Seymour et coll., 2003 ; Sprenger-Charolles, 2003).

Construction du lexique orthographique

L'accès à une lecture efficiente nécessite la reconnaissance rapide et exacte des mots déjà rencontrés, et plus particulièrement de ceux qui sont fréquents. Cela s'avère même pour les systèmes orthographiques transparents, dont on aurait pu penser que l'application rapide du décodage dispenserait de la mémorisation de l'orthographe des mots. On peut penser que la

production verbale écrite efficiente a les mêmes exigences. Celles-ci sont d'autant plus indispensables que la transcription du français, comme celle de l'anglais, ne peut s'effectuer en référence aux seules associations phonèmes-graphèmes (Véronis, 1988). Des informations lexicales spécifiques aux mots (l'écriture du mot « thym »), des informations orthographiques générales (l'absence de consonnes doubles en début ou en fin de mots), enfin des informations relatives à la morphologie (les pluriels nominaux se font en ajoutant « s ») doivent être mobilisées selon les circonstances.

Débuts du lexique orthographique

Les premières conceptions, stadistes (Frith, 1980 et 1985), de l'acquisition de la production orthographique considéraient que celle-ci s'effectuait d'abord par la mise en place du principe alphabétique. Celui-ci induisait l'utilisation d'une orthographe phonologique (« chapo », « maman », « lontan »…). L'apparition des aspects conventionnels (stade dit orthographique) était réputée tardive, comme d'ailleurs le recours aux procédures correspondantes (l'analogie : écrire erronément « dépard » par analogie avec « regard »). Une importante série de données a conforté ce schéma. Notamment, de nombreux travaux ont rapporté une relation positive entre les habiletés de décodage phonémique et les performances orthographiques ultérieures (Ehri, 1997 ; Caravolas et coll., 2001 ; Sprenger-Charolles et coll., 1998 et 2003).

Les travaux de Share (1999) suggèrent que l'apprentissage de l'orthographe des mots dépend fortement du recodage phonologique. En effet, il dépend de ce que les enfants disent quand ils les prononcent plutôt que de ce qu'ils en voient. Les erreurs orthographiques (par rapport aux configurations présentées) correspondent souvent aux prononciations erronées des enfants. De plus, dans une épreuve de choix de la graphie correcte parmi quatre proposées, les choix erronés respectent la prononciation plus que la ressemblance visuelle. Enfin, le fait de diminuer le traitement phonologique a un impact négatif sur l'apprentissage de l'orthographe. Share et Shalev (2004) ont repris le même paradigme pour étudier les performances de normolecteurs et d'enfants (de quatrième, cinquième et sixième années scolaires) ayant des difficultés d'apprentissage de la lecture, dyslexiques ou simplement faibles lecteurs. Les résultats confirment l'implication de la phonologie : tous apprennent les (pseudo) mots mais cet apprentissage est dépendant des performances phonologiques. C'est le niveau de décodage qui détermine la performance d'apprentissage des mots. Les travaux de Share confortent donc la thèse de la prééminence de la phonologie et montrent comment elle contribue à la constitution du lexique orthographique. Encore faut-il souligner que les performances en production orthographique, supérieures au hasard dès la première rencontre avec les items, restent modestes (de l'ordre de 65 % d'exactitude), et ne s'améliorent pas significativement au cours des

rencontres suivantes (de 2 à 8 rencontres selon les expériences). On est donc loin d'une acquisition parfaite de la forme orthographique des mots. Share et Shalev (2004) invoquent les recherches de Torgesen et coll. (2000) qui attestent l'efficacité d'un entraînement prolongé sur les performances en lecture, mais aucune donnée n'est disponible relativement à la production orthographique (sauf Ehri et Saltmarsh, 1995).

La constitution du lexique orthographique est très précoce. Sa mise en évidence repose sur la recherche de deux effets caractéristiques de l'existence du lexique : l'effet de fréquence – les mots fréquents sont mieux et plus rapidement écrits que les mots rares – et l'effet d'analogie – l'écriture d'items inconnus ne peut s'effectuer en se référant à des mots que si ceux-ci sont déjà mémorisés. Les effets d'analogie comme ceux de fréquence étaient initialement réputés tardifs (9-10 ans). Les travaux de Goswami (1988) puis de Nation et Hulme (1996) les ont fait apparaître plus précoces (6 ans). Bosse et coll. (2003) ont utilisé une procédure consistant à enseigner à des enfants de première et deuxième années primaires les mots de référence par rapport auxquels des pseudo-mots susceptibles d'être orthographiés de manière analogique étaient élaborés. Elles ont ainsi fait apparaître un effet d'analogie dès la première année de scolarité. En utilisant des pseudo-mots construits en référence aux mots présents dans le manuel de lecture de la classe, Martinet et coll. (2004) ont confirmé l'apparition très précoce des analogies en production orthographique. De plus, chez Bosse et coll. (2003) comme chez Martinet et coll. (2004), les formes orthographiques retenues pour les analogies étaient des formes orthographiques rares (le « oi » correspondant au /o/ de « oignon »). En conséquence, les transcriptions obtenues ne pouvaient l'être par simple application à un nouvel item de connaissances orthographiques générales qui existent aussi.

En résumé, dès les tout-débuts de l'apprentissage de la lecture, les enfants sont en mesure de mémoriser des formes orthographiques, et notamment certaines au moins des spécificités de celles-ci. Cela, sans attendre de maîtriser l'ensemble des correspondances phonèmes-graphèmes. Ce constat est en faveur de l'existence d'un traitement orthographique spécifique (Bonin et coll., 2001). En revanche, on sait peu de choses sur les différences interindividuelles, sur les nombres d'expositions nécessaires pour que ces apprentissages d'instances se réalisent (voir Cousin et coll., 2002) et sur la manière dont l'orthographe se fait de plus en plus conventionnelle.

Acquisition des connaissances orthographiques générales

Les données disponibles montrent que les enfants mémoriseraient les formes orthographiques des mots les plus fréquents, le recodage phonologique jouant un rôle fondamental dans cette acquisition. Toutefois, la phonologie ne suffit pas, particulièrement dans un système orthographique comme celui

du français. L'acquisition de l'orthographe conventionnelle repose sur trois autres dimensions. D'abord, la mémorisation d'instances : mots stockés comme tels, notamment lorsqu'ils ont une composition très particulière (« thym » ; « yacht »…) (Cousin et coll., 2002). Ensuite, l'extraction de régularités sous-lexicales suffisamment fréquentes pour apparaître dans de nombreux mots : les configurations graphotactiques, successions régulières de lettres (Jaffré et Fayol, 1997 ; doubles consonnes ; fréquente transcription de /o/ par « eau » en fin de mots) (Pacton et coll., 2004 et 2005). Enfin, utilisation de la morphologie, dérivationnelle ou flexionnelle (formation du pluriel ou du féminin des mots, formation des diminutifs…).

Les connaissances relatives à l'orthographe propre à tel ou tel mot ne sont pas seules impliquées. Les individus disposent aussi de connaissances générales concernant par exemple les suites de lettres acceptables dans leur système orthographique. Ainsi, en français, les consonnes ne peuvent être doublées qu'en milieu, jamais au début ou en fin de mot. L'intérêt des chercheurs pour ce type de connaissance est récent. Il s'est traduit par une série de travaux utilisant des épreuves soit de dictée soit de jugement de pseudo-mots. Par exemple, Treiman (1993) rapporte que les enfants de première primaire produisant des textes utilisaient très précocement le graphème « ck », mais jamais en début de mot, conformément aux contraintes graphotactiques (portant sur la succession des lettres, Jaffré et Fayol, 1997) de l'anglais.

En français, Pacton et coll. (2002) ont demandé à des élèves du CE1 au CM1 d'écrire sous dictée des pseudo-mots trisyllabiques tels que /obidar/, /ribore/ ou /bylevo/. Ces pseudo-mots étaient construits de telle sorte qu'il était possible d'étudier si les élèves transcrivaient /o/ différemment en fonction de sa position (« eau » est fréquent en position finale, rare en position médiane, et inexistant en position initiale ; Fayol et coll., 1996) et de son contexte consonantique (« eau » est plus fréquent après un « v » qu'après un « f »). Même les enfants de deuxième année primaire utilisaient une variété de graphèmes pour transcrire /o/. De plus, les transcriptions de /o/ variaient en fonction de la position et de l'environnement consonantique : « eau » était davantage utilisé en position finale qu'en positions initiale et médiane et, en position finale, était plus souvent utilisé après « v » (où il est fréquent) qu'après « f » (où il est rare). De façon similaire, en position médiane, « au » était plus fréquemment utilisé entre un « p » et un « v » qu'entre un « p » et un « r », ce qui correspond aux régularités du français. Ces résultats confirment et prolongent ceux de Varnhagen et coll. (1999) portant sur des enfants anglais de la première à la troisième années primaires auxquels il était demandé de transcrire des pseudo-mots contenant une voyelle ambiguë pouvant se transcrire par « o » ou par « a ».

Les épreuves de productions mettent donc en évidence une sensibilité précoce à certaines régularités orthographiques. Toutefois, les difficultés et le

coût du graphisme risquent de masquer l'existence de connaissances plus étendues et plus précises. De là le recours à des tâches de jugement.

Les tâches de jugement portant sur des paires de pseudo-mots permettent de proposer un choix entre (au moins) deux termes d'une alternative qui n'apparaîtraient pas nécessairement dans les écritures des élèves. Par exemple, Cassar et Treiman (1997) ont demandé à des élèves de première primaire de désigner lequel de deux pseudo-mots tels que « affe » et « ahhe » ou « yill » et « yihh » (« f » et « l » peuvent être doublés en anglais mais « h » ne peut pas) ressemblait le plus à un mot. Dès la première année primaire, les pseudo-mots incluant des consonnes fréquemment doublées (« yill ») étaient plus souvent choisis que ceux incluant des consonnes jamais doublées en anglais (« yihh »). Afin de tester si des élèves de l'école élémentaire sont sensibles à la fréquence de doublement des consonnes, Pacton et coll. (2001) ont exploité le fait qu'en français certaines consonnes sont fréquentes en formats simple et double (« m ») alors que d'autres ne sont fréquentes qu'en format simple (« d ») en français. Les sélections de pseudo-mots incluant des consonnes fréquentes en format simple et double (« m ») ont été comparées aux sélections de pseudo-mots incluant des consonnes fréquentes uniquement en format simple (« d »), d'une part pour des paires de pseudo-mots incluant ces consonnes en format simple (« imose », « idose »), d'autre part pour des paires de pseudo-mots incluant ces consonnes en format double (« ummise », « uddise »). Dès le CP, les enfants se révélaient sensibles à la fréquence de doublement des consonnes et pas seulement à la fréquence relative de ces mêmes consonnes. En outre, l'amplitude de cet effet augmentait avec le niveau scolaire.

Les phénomènes précédemment décrits pourraient ne valoir que pour les systèmes orthographiques opaques, lesquels incitent probablement plus que ceux qui sont transparents à prêter attention aux séquences de lettres (graphotactiques) (voir notamment les données rapportées par Share, 2004, en première primaire pour ce qui concerne l'apprentissage de l'hébreu par comparaison avec les faits relevés en hollandais et en anglais). Or, Lehtonen et Bryant (2005) ont décrit chez des enfants finlandais de la première à la troisième primaire les mêmes types de phénomènes que ceux mis en évidence par Pacton et coll. (2001) relativement au doublement des consonnes. Leurs observations vont même au-delà des précédentes : les enfants finlandais sont sensibles aux régularités orthographiques ne présentant pas de contrepartie phonologique (l'absence de doublement des consonnes en début de mot) alors qu'ils ne sont que plus tardivement sensibles à celles qui précisément font apparaître des correspondances entre formes phonologiques et formes orthographiques (voir Pacton et Fayol, 2000).

En résumé, très tôt, dès la première année primaire, les enfants exposés à l'écrit en extraient des régularités orthographiques qui ne se réduisent ni à celles qui correspondent à des régularités phonologiques ni à la simple mémorisation d'instances. Ils sont en mesure de les mobiliser dans des tâches

de production orthographique, manifestant ainsi très précocement l'acquisition de certaines conventions orthographiques, qui ne vont toutefois pas jusqu'à l'extraction de règles, même lorsque ce serait possible. Trop peu de celles-ci ont été étudiées pour qu'on puisse déterminer les conditions de leur prise en compte (Royer et coll., 2005) et les éventuelles différences interindividuelles affectant leur apprentissage.

Acquisition et mise en œuvre de la morphologie

L'acquisition des deux premières dimensions dépend de la fréquence de rencontre et de la stabilité des segments (lexicaux ou sous-lexicaux) : elle est donc très liée à la pratique de la lecture. La troisième dimension est moins connue. D'une part, on relève très précocement des traces d'utilisation de marques relevant de la morphologie. Toutefois, les recherches dissociant les effets des contraintes graphotactiques de celles associées à la morphologie font apparaître que l'utilisation de la morphologie est relativement tardive, au moins si on considère que la morphologie correspond à des règles dont l'application ne doit pas dépendre de la fréquence. En effet, de nombreux exemples attestent que l'emploi des marques morphologiques n'est pas initialement indépendant de la fréquence de rencontre des items auxquels elle s'applique (Mousty et Leybaert, 1999 ; Kemp et Bryant, 2003 ; Pacton et Fayol, 2004 et 2005).

Les premiers travaux et modèles d'apprentissage de l'orthographe postulaient que la prise en compte de la morphologie était tardive. Aussi, une partie des recherches a-t-elle tenté de déterminer les âges ou niveaux à partir desquels elle était utilisée par les enfants. Les résultats sont mitigés. Treiman, Cassar et Zukowski (1994) relèvent une influence de la morphologie dès la première ou la deuxième années primaires. Sénéchal (2000) dicte à des enfants de deuxième et quatrième années des mots soit « opaques » (« jument », « tabac ») soit « morphologiques » (au sens où la lettre finale peut être déterminée à partir de dérivés ; « grand », « camp »). Aux deux niveaux de classe, elle relève que les performances sont meilleures avec les mots morphologiquement transparents (23 % en CE1 et 54 % en CM1) qu'avec les mots opaques (10 % en CE1 et 37 % en CM1). Outre la relative faiblesse de ces scores, les dispositifs de recueil des données ne permettaient pas d'exclure que les enfants aient mémorisé et employé des configurations orthographiques récurrentes (des régularités graphotactiques) dont l'apparition ne traduirait donc pas nécessairement le recours à la morphologie. En d'autres termes, il se pourrait que l'apparition de productions conformes à la morphologie adulte tienne non pas à la maîtrise de celle-ci mais à la mémorisation de régularités statistiques dépendantes du contexte linguistique. Comme la morphologie est corrélée à d'autres types d'informations, phonologiques, orthographiques et sémantiques, il se pourrait ainsi que des effets qui lui sont attribués soient dus

aux autres facteurs (Seidenberg et Gonnerman, 2000). Une série de recherches a précisément eu pour objectif de dissocier l'effet de ces facteurs et d'étudier leurs éventuelles interactions (Pacton et Fayol, 2004 ; Pacton et coll., 2002a, 2002b et 2005).

Morphologie dérivationnelle

La transcription de /o/ permet d'étudier la sensibilité des individus à diverses régularités orthographiques. Premièrement, il existe au moins huit transcriptions différentes de /o/ qui diffèrent en termes de fréquence (« o » est très fréquent ; « aud » ou « os » sont plus rares). Deuxièmement, la transcription de /o/ varie en fonction de sa position dans les mots (« eau » est fréquent en position finale, rare en position médiane et ne survient jamais en début de mots ; Fayol et coll., 1996). Troisièmement, la transcription de /o/ varie en fonction du contexte dans lequel il apparaît. Par exemple, en fin de mots, /o/ est fréquemment transcrit « eau » après « r » ou « t » mais ne l'est jamais après « f ». Quatrièmement, dans certains mots morphologiquement complexes, /o/ correspond à un suffixe diminutif : les mots éléphanteau et renardeau sont constitués d'un radical (« éléphant » et « renard » respectivement), suivi du suffixe diminutif « eau ». À l'exception de « chiot », /o/ est toujours transcrit « eau » quand il correspond à un morphème diminutif. Le fait que la transcription de /o/ soit contrainte à la fois par des régularités graphotactiques (la probabilité de successions des graphèmes, Jaffré et Fayol, 1997) et par des régularités morphologiques a permis d'étudier les interactions entre deux types de contraintes.

Afin d'étudier l'influence de la position et des contraintes graphotactiques sur la transcription de /o/, Pacton et coll. (2004, 2005) ont utilisé à la fois des épreuves de production sous dictée et de jugement de paires de pseudo-mots. Les résultats étant équivalents, seules les données relatives à la tâche de production sont rapportées. Ainsi des élèves de la deuxième à la quatrième années primaires devaient écrire sous dictée des pseudo-mots trisyllabiques incluant le phonème /o/ en positions initiale, médiane ou finale. Nous ne rapportons ici que les données relatives à la position finale du fait qu'elles sont illustratives des résultats dans leur ensemble. Parmi les pseudo-mots incluant /o/ en position finale, /o/ survenait dans un contexte (la consonne précédant /o/) dans lequel /o/» est soit fréquemment transcrit « eau » en français (« bitavo » : « eau » est fréquent après « v ») soit jamais transcrit « eau » en français (« bylefo » : « eau » n'apparaît jamais après « f »).

Dès la deuxième année, la plupart des élèves utilisaient au moins trois transcriptions différentes de /o/ et la variété des transcriptions utilisées augmentait avec le niveau scolaire. L'utilisation d'une graphie plutôt que d'une autre variait en fonction de la position de /o/ dans le non-mot. Cet effet, significatif dès le CE1, augmentait avec le niveau scolaire. La transcription de « o » était influencée par le contexte dans lequel il survenait en position finale. La graphie « eau » était davantage utilisée lorsque /o/ suivait une consonne après laquelle il est fréquemment transcrit « eau » que lorsqu'il

suivait une consonne après laquelle il n'est jamais transcrit « eau », ce qui correspond à la distribution de ces graphies en français. L'amplitude de cet effet, significatif dès la deuxième année, augmentait en fonction du niveau scolaire.

Pacton et coll. (2005) ont ensuite exploré l'impact des régularités graphotactiques (de type probabiliste) et morphologiques (pouvant être décrites par une règle) ainsi que les éventuelles interactions entre ces deux types de régularités sur la transcription des sons /o/ et /et/. L'influence des régularités graphotactiques a été étudiée en dictant à des élèves douze non-mots tels que « vitaro » et « vitafo », précédés de l'article indéfini masculin « un » (condition « base »). Le phonème /o/ était précédé soit d'une consonne après laquelle il est fréquemment transcrit « eau » en français (« vitaro ») soit d'une consonne après laquelle il n'est jamais transcrit « eau » (« vitafo »). Si les écritures des élèves étaient influencées par les régularités graphotactiques, /o/ devrait être plus souvent transcrit « eau » dans « vitaro » que dans « vitafo ». Afin de tester l'influence des contraintes morphologiques, une semaine après avoir effectué la tâche décrite ci-dessus, il était demandé aux élèves d'écrire les mêmes non-mots insérés dans des phrases telles que « un petit vitar est un vitaro », qui fournissent une information quant à la structure morphologique des non-mots.

Les résultats ont mis en évidence un effet des contraintes graphotactiques : « eau » était davantage utilisé lorsqu'il suivait une consonne après laquelle il est fréquemment transcrit « eau » que lorsqu'il suivait une consonne après laquelle il n'est jamais transcrit « eau ». L'amplitude de cet effet ne différait pas en fonction du niveau scolaire. La transcription de /o/ était également influencée par les contraintes morphologiques : /o/ était plus souvent transcrit « eau » dans la condition « diminutif » que dans la condition « base »; l'amplitude de cet effet augmentait avec le niveau scolaire. Un résultat important est que l'effet des contraintes graphotactiques ne différait pas significativement selon que les non-mots étaient dictés dans la condition « base » ou « diminutif » et que cet effet demeurait stable avec le niveau scolaire. La persistance d'effets des contraintes graphotactiques dans la condition « diminutif », en dépit de la possibilité de recourir à une règle orthographique, suggère que, même après au moins cinq ans de pratique de l'écrit, les élèves ne recouraient pas à une règle spécifiant comment transcrire /o/ lorsqu'il correspond à un suffixe diminutif. En effet, le recours à une telle règle prédit que les contraintes morphologiques auraient dû l'emporter sur (ou au moins réduire) l'effet des contraintes graphotactiques dans la condition « diminutif ». Ceci conduit à s'interroger sur ce qui se produit lorsque des règles sont explicitement enseignées, ce qui est systématiquement le cas avec la morphologie flexionnelle.

Morphologie flexionnelle

Plusieurs caractéristiques différencient en français la morphologie flexionnelle de la morphologie dérivationnelle. Premièrement, la première porte

sur un nombre restreint de domaines : le genre et le nombre des noms, adjectifs et verbes (les accords), le système verbal (la conjugaison). Cela s'avère dans toutes les langues et les systèmes orthographiques, encore que certains aient de plus un genre neutre. Deuxièmement, elle est très productive : par exemple, les accords nominaux en « s » s'appliquent à la plupart des noms et adjectifs. D'un système orthographique à l'autre existent des variations. Ainsi, contrairement au français, l'anglais ne marque pas le pluriel des adjectifs. Troisièmement, elle porte sur un nombre restreint de marques : « s », « e », « nt », les flexions verbales plus nombreuses. Toutefois, la question des effets respectifs des dimensions phonologiques, orthographiques et morphologiques se pose là encore. Les travaux conduits sur l'anglais, le portugais et le grec (Nunes et coll., 1997 ; Bryant et coll., 1999 et 2000 ; Kemp et Bryant, 2003 ; voir Bryant et Nunes, 2003, pour une synthèse) convergent avec ceux réalisés sur le français pour faire apparaître que l'emploi de la morphologie flexionnelle en production est relativement tardif et passe par des étapes pouvant à tort laisser penser que les règles morphologiques sont précocement maîtrisées.

Kemp et Bryant (2003) ont montré qu'il est possible aux jeunes Anglais d'acquérir le marquage du pluriel nominal (« s » à la fin des noms comme « buns » mais pas à la fin de ceux tel que « jazz ») sans qu'ils aient besoin de disposer d'une règle morphologique. Il leur suffit d'apprendre implicitement les régularités associant « z » à une voyelle (pratiquement tous les mots comportant un « z » final comportent une voyelle avant celui-ci) et « s » aux consonnes (aucune séquence telle que « mz », « nz », « lz » n'existe). La mémorisation de telles régularités suffit à écrire la plupart des mots pluriels sur une base phonographique, mais pas tous. Précisément, les enfants commettent des erreurs d'inflexion lorsqu'ils doivent transcrire des mots pluriels tels que « *pleas* », « *fees* », « *pies* » ou non pluriels tels que « *please* » ou « *seize* », items dans lesquels le phonème /z/ suit une voyelle longue. Qui plus est, ces mêmes erreurs surviennent, mais plus rarement, chez des adultes. En somme, les régularités statistiques sont acquises et utilisées très tôt par les enfants et encore disponibles chez les adultes. Ces derniers semblent encore s'y référer, comme l'ont montré Pacton et coll. (2005) relativement à la morphologie dérivationnelle. Bryant et ses collaborateurs ont étendu ces conclusions à d'autres marques, notamment celle du prétérit (« *ed* »), pour laquelle l'évolution au fil de la scolarité est similaire à celle relevée en français pour les marques du pluriel nominal, adjectival et verbal (Nunes et coll., 1997).

En français, spécificité apparemment unique au monde, les marques du pluriel n'ont le plus souvent pas de correspondant oral (sauf en cas de liaisons). Les enfants ne peuvent donc ni les acquérir ni les mobiliser à partir des informations phonologiques. L'étude de leur acquisition et de leur utilisation permet ainsi d'envisager comment sont traitées des marques présentant une relative autonomie par rapport à la phonologie.

Cousin et coll. (2002 et 2003) ont demandé à des enfants de première et deuxième années primaires de compléter des syntagmes comportant les déterminants déjà écrits en transcrivant des noms au singulier ou au pluriel (« ceci est un… »). Préalablement, la fréquence d'exposition à ces mots fléchis au singulier ou au pluriel avait été contrôlée, soit en référence au manuel de lecture en cours dans les classes (Cousin et coll., 2002 et 2003) soit en présentant systématiquement aux élèves ces mots au singulier ou au pluriel, fréquemment (10 fois) ou rarement (une fois) sur plusieurs semaines. Les performances montrent que les enfants des premières et deuxièmes années primaires transcrivent d'autant plus facilement les mots qu'ils doivent le faire sous la modalité de rencontre la plus fréquente. Réciproquement, les erreurs surviennent d'autant plus souvent que les noms rencontrés fréquemment au pluriel doivent être transcrits au singulier : beaucoup sont alors terminés par un « s » alors que l'accord devrait se faire au singulier. En somme, les enfants maîtrisant les correspondances phonèmes-graphèmes ont déjà mémorisé des instances alors même qu'ils méconnaissent encore les marques et règles de la morphologie du nombre. Pourtant, en deuxième année primaire, alors que les marques et règles ont été enseignées, les instances mémorisées interfèrent encore avec l'utilisation (des règles et procédures) de la morphologie.

Totereau et coll. (1997) ont étudié l'apprentissage de la morphologie du nombre des noms et des verbes par des enfants de la première à la troisième années primaires. La compréhension et la production de la morphologie nominale (« Ø » *versus* « s ») et verbale (« Ø » *versus* « nt »), ont été testées à l'aide d'épreuves inspirées de Berko (1958). Les résultats ont essentiellement montré que :

- la performance en compréhension était plus précoce et meilleure qu'en production ;
- les réussites avec les noms étaient à la fois plus précoces et plus fréquentes qu'avec les verbes.

Totereau et coll. (1998) ont montré par une analyse détaillée des erreurs de production que les performances en production suivaient une évolution complexe. En début de première primaire, les enfants ne marquent le plus souvent le pluriel ni pour les noms ni pour les verbes : ils écrivent les mots sous leur forme neutre (le singulier pour le nom, la forme de la troisième personne du singulier pour le verbe). Pourtant, ils connaissent pour la plupart la marque du pluriel nominal et savent l'interpréter mais ils ne la mettent pas en œuvre. Il se pourrait qu'une partie des accords réalisés soit effectuée à partir des régularités statistiques mémorisées au cours des lectures, les autres accords n'étant pas effectués. Il se pourrait aussi que les enfants de ce niveau ne disposent pas d'une capacité attentionnelle suffisante pour gérer l'application de l'accord nominal, l'essentiel de leur attention étant capté par, d'une part, la détermination de l'orthographe du mot et, d'autre part, la réalisation graphique. En accord avec cette conception, les enfants de première et deuxième primaires

sont en mesure de détecter les erreurs d'accord (ici nominal) et de les corriger alors même qu'ils les commettent eux-mêmes très souvent (Largy, 2001).

Dans une deuxième phase, notamment en deuxième et troisième primaires, les enfants utilisent le « s » (pluriel nominal) à la fois pour les noms (correctement) et pour les verbes (erronément), surgénéralisant la flexion « s » aux verbes. Tout se passe comme s'ils utilisaient une règle du type si pluriel alors « s », dont la condition (si pluriel) serait sous-spécifiée car ne différenciant pas les catégories syntaxiques. En conséquence, des erreurs de substitution (de « s » à « nt ») apparaissent.

Dans une troisième phase, les enfants utilisent la flexion « nt » pour les verbes mais ils tendent à en surgénéraliser l'emploi à quelques noms (« les ferment » au lieu de « les fermes »), notamment lorsque ces noms ont un homophone verbal. De nouvelles erreurs de substitution se manifestent donc (de « nt » à « s » cette fois). Tout se passe comme si le pluriel notionnel activait des flexions concurrentes (« s » « nt »), induisant des interférences. La compétition entre marques se résoudrait par l'utilisation correcte ou erronée de la flexion en fonction de plusieurs facteurs : l'ambiguïté lexicale, les noms et les verbes ayant des homophones respectivement verbaux ou nominaux (« timbre », « fouille ») sont plus sensibles aux effets d'interférence que les autres ; les fréquences relatives des items, les mots homophones sont plus souvent infléchis avec la marque du plus fréquent d'entre eux, nom ou verbe.

Ces effets d'interférence ne disparaissent pas. On les retrouve chez l'adulte cultivé lorsque celui-ci doit transcrire des phrases incluant des homophones nom/verbe dans des conditions de surcharge (lorsque la transcription s'effectue tout en maintenant en mémoire d'autres informations ; Fayol et coll., 1994 ; Largy et coll., 1996). Ces effets permettent de soulever un problème théorique fondamental : celui des processus qui régissent l'accord. En effet, dans une phrase telle que « L'épicier sort les cagettes et il les asperge », le verbe « asperge » pourrait être mal accordé (« aspergent ») du fait de la pluralité induite par la présence du pronom, le verbe étant alors transcrit au pluriel. Or, les erreurs qui surviennent, nombreuses même chez des adultes cultivés, sont du type « asperges », le verbe étant infléchi comme un nom. Or, de telles erreurs sont très rares dans des phrases incluant les verbes « montre » ou « range ». La raison tient à ce que la fréquence d'occurrence du nom « asperge » est significativement plus élevée que celle de son correspondant verbal (« asperge ») alors que c'est l'inverse pour « montre » (verbe plus fréquent que le nom) et que ce problème ne se pose pas pour « range » (qui n'a pas d'homophone nominal). Comment expliquer que les erreurs de substitutions de « s » à « nt » affectent de manière privilégiée les verbes ayant un homophone nominal plus fréquent ? Il est impossible d'invoquer le recours à une règle. Par définition, l'application d'une règle ne dépend pas de la fréquence des items. Les erreurs d'accord sont probablement dues à la récupération soit des associations entre un mot (« asperge ») et une flexion (« s ») soit d'instances toutes composées (« asperges ») activées globale-

ment, les premières ou les secondes étant récupérées en mémoire dès qu'un contexte pluriel est activé. Une telle récupération de la marque plurielle nominale ne peut survenir que rarement avec « montre » puisque cet item n'est pas associé de manière dominante avec « s ».

L'évolution ci-dessus décrite conduit à proposer que les savoirs enseignés et mémorisés verbalement ont initialement un statut de connaissances déclaratives. La pratique conduirait à la mise en place d'un apprentissage de procédures de type condition–action. La difficulté provient de ce qu'il existe deux marques (« s » et « nt ») dont l'utilisation repose sur des conditions qui sont à la fois partiellement communes (la pluralité) et différentes (nom ou adjectif « s » ; verbe « nt »). La condition de cette règle (si pluriel) serait initialement sous-spécifiée, du fait qu'elle ne distingue pas entre catégories syntaxiques, de là les surgénéralisations erronées qui disparaîtraient au fur et à mesure que les spécifications seraient acquises. Au début, le coût d'application de la procédure serait très élevé, ce qui rendrait son utilisation très sensible à la difficulté des tâches, y compris le coût de la transcription graphique. L'existence initiale d'erreurs d'omission et leur diminution rapide en fonction de la pratique s'interprètent facilement dans le cadre de ce modèle. Les données recueillies au cours d'un apprentissage contrôlé portant sur plus de 300 enfants de la première à la troisième primaires font également apparaître les effets de la pratique et du feedback : en quelques semaines, la plupart des erreurs avaient disparu, que les accords portent sur des noms, des adjectifs ou des verbes (Fayol et coll., 1999a et b ; Thévenin et coll., 1999). Toutefois, il est toujours possible de trouver une situation suffisamment coûteuse pour que la mobilisation de la procédure d'accord se trouve perturbée, y compris chez l'adulte qui, parfois, « oublie » les marques du pluriel, verbal ou nominal (Fayol et coll., 1994). Les données qui concernent les accords en genre s'inscrivent elles-aussi sans difficulté dans ce cadre théorique (Fayol, 2002).

La pratique conduirait également au stockage en mémoire d'instances spécifiques d'associations entre certaines racines et certains morphèmes sous réserve qu'elles soient suffisamment fréquentes. Par exemple, le mot « asperge », plus fréquemment rencontré comme nom serait de ce fait plus facilement associé à « s » qu'à « nt ». Ces associations seraient remémorées comme telles lorsque les conditions de cette récupération sont remplies (Logan, 1988 ; Logan et Klapp, 1991). En somme, la production verbale écrite induirait non seulement l'automatisation des procédures (algorithmes) d'accord mais également la mémorisation d'associations entre morphèmes voire d'instances toutes fléchies.

Les individus, enfants ou adultes, disposeraient ainsi de deux processus différents pour traiter les accords : l'application plus ou moins automatisée et rapide de la procédure et la récupération directe en mémoire des instances. On est ainsi amené à concevoir qu'une compétition pourrait survenir entre l'utilisation d'une procédure et la récupération d'instances en mémoire (Logan, 1988). Le recours à la récupération d'instances en mémoire serait

adaptatif en ce sens qu'il permet d'effectuer la plupart des accords sans faire appel à des procédures attentionnellement coûteuses et fragiles. Toutefois, les procédures restent disponibles et mobilisables dans certaines circonstances, par exemple comme procédure de recours (Fayol et coll., 1999a et b ; Thévenin et coll., 1999). Ce recours nécessite, d'une part, que les capacités attentionnelles soient suffisantes et, d'autre part, que le système cognitif détecte une erreur (Largy et coll., 1996 ; Hupet et coll., 1998).

Relations lecture-écriture et acquisition de l'orthographe

Dans un système alphabétique idéal, les correspondances entre phonèmes et graphèmes devraient être bi-univoques : chaque phonème serait associé à un seul graphème, et réciproquement. Or, si aucun système orthographique ne répond exactement à cet idéal, certains, dits transparents (espagnol, italien…), s'en rapprochent plus que d'autres, dits opaques (anglais). On imagine sans peine que la question des relations entre lecture et écriture ne se pose pas de la même manière dans les systèmes transparents ou opaques. Dans les premiers, les informations perçues et celles qui doivent être mobilisées en écriture sont organisées de manière similaire. Ce qui n'est pas le cas avec les systèmes opaques. Ainsi, en français, les irrégularités sont relativement réduites en lecture (/ch/ se lit différemment dans « échouer » et « échos ») mais nombreuses en écriture (/o/, /f/… se transcrivent de plusieurs manières). Véronis (1988) estime ainsi que l'application des correspondances phonèmes-graphèmes ne permet d'écrire correctement que la moitié des mots du français. C'est ce qu'indiquent les données statistiques disponibles. En effet, les relations entre la prononciation d'un mot et son orthographe (P-O, écriture) sont moins consistantes que celles entre l'orthographe d'un mot et sa prononciation (O-P, lecture), et cela quel que soit le mode de calcul : au niveau d'un découpage des mots en attaque-rime (tableau 3.Ia) ou en graphème-phonème (tableau 3.Ib). De plus, ce sont les fins de mots qui posent surtout problème en français (tableau 3.Ic), ce qui est dû à l'amuisement progressif des marques morphologiques, tant dérivationnelles (« grand »), que flexionnelles (« grands »).

Tableau 3.Ia : Consistance des relations entre l'orthographe d'un mot et sa prononciation (O-P, lecture) et entre la prononciation d'un mot et son orthographe (P-O, écriture). Analyse à partir des unités attaque-rime : anglais, allemand et français (d'après Ziegler et coll., 1996 et Ziegler, 1998)

	Relations O-P (lecture) %	Relations P-O (écriture) %
Anglais	88	72
Français	95	50
Allemand	94	74

Tableau 3.Ib : Consistance des correspondances entre graphème et phonème (CGP, lecture) et entre phonème et graphème (CPG, écriture) pour les voyelles : anglais et français (d'après Peereman et Content, 1998 et 1999)

	Consistance des CGP (lecture) %	Consistance des CPG (écriture) %
Anglais	48	67
Français	94	68

Tableau 3.Ic : Consistance des correspondances entre graphème et phonème (CGP, lecture) et entre phonème et graphème (CPG, écriture) en fonction de la position dans des mots français (d'après Manulex, adapté de Peereman et coll., sous presse)

	Consistance des CGP (lecture) %	Consistance des CPG (écriture) %
Début de mot	96	91
Milieu de mot	80	76
Fin de mot	92	45

En conséquence, il serait nécessaire d'examiner plus en détail la question des relations entre lecture et écriture, notamment en ce qui concerne l'apprentissage et en fonction des différents systèmes orthographiques.

En l'état actuel de nos connaissances, on admet généralement que la production orthographique est plus difficile que la lecture (Bosman et Van Orden, 1997, pour le français, Sprenger-Charolles et coll., 1998 et 2003 ; Eme et Golder, 2005) : la première requiert une connaissance détaillée des lettres et de leur ordre alors que la seconde peut s'accommoder d'une représentation plus sommaire de cette organisation. On sait aussi que les performances en lecture et en écriture sont assez fortement corrélées chez les enfants (voir Ehri, 1997, p. 257 pour une vue d'ensemble en fonction des niveaux scolaires) et le restent, plus modestement, chez les adultes ($r = 0,57$ selon Cunningham et Stanovich, 1997). Toutefois, ces corrélations ne fournissent pas d'indication quant à une éventuelle liaison causale : la lecture nourrit-elle l'orthographe ? Est-ce l'inverse ? Ou toutes deux sont-elles corrélées par l'intermédiaire d'une troisième dimension (le lexique mental) ? Plusieurs observations étayent la thèse d'une relation causale entre la lecture et l'écriture, par exemple que l'exposition, même limitée, de bons orthographieurs à des erreurs orthographiques induit la production d'orthographes erronées (Brown, 1988 ; Jacoby et Hollingshead, 1990).

Les recherches portant sur le développement et l'apprentissage ont mis en évidence que l'écriture influait au moins initialement plus sur l'apprentissage de la lecture que l'inverse. Caravolas et coll. (2001) ont étudié l'impact de la

lecture, de l'écriture pré-conventionnelle (phonologique), de la conscience phonologique et de la connaissance des lettres sur l'acquisition de l'orthographe conventionnelle chez 153 enfants au cours des trois premières années de scolarité. Les productions orthographiques ont été recueillies à 4 reprises à partir d'une tâche de dénomination écrite et analysées selon leur exactitude phonologique puis selon leur exactitude conventionnelle. Les enfants ont également été soumis à une série d'autres tests (vocabulaire, QI, écriture de mots, connaissance des lettres, isolation du dernier phonème de mots, empan verbal de mots, lecture de mots).

Les résultats montrent que, relativement à l'orthographe phonologique, la connaissance des sons des lettres et les performances dans la tâche consistant à isoler le dernier phonème des mots sont d'excellents prédicteurs de l'exactitude en orthographe phonologique. Celle-ci est un meilleur prédicteur de la lecture que l'inverse. Au début, le développement de l'orthographe n'est donc prédit que par deux variables : la capacité à isoler les phonèmes et la connaissance des sons des lettres. L'apprentissage des correspondances lettres-sons aiderait le pré-lecteur à établir des représentations stables et concrètes des phonèmes, améliorant ainsi la conscience phonologique. Relativement à l'orthographe conventionnelle, la lecture est un bon prédicteur de l'orthographe conventionnelle ultérieure. L'orthographe conventionnelle apparaît ainsi comme un amalgame des habiletés phonographiques (évaluées par les performances en orthographe phonologique) et des connaissances orthographiques acquises par l'intermédiaire de la lecture. À cela s'ajoute que les meilleurs prédicteurs de la lecture et de l'orthographe aux temps t sont les performances en lecture et orthographe aux temps t-1, auxquelles s'ajoutent les connaissances des sons des lettres et la conscience phonologique.

Ainsi, dans une certaine mesure, la lecture et la production orthographique précoces reposent sur des habiletés différentes. Comme le proposaient Frith (1985) ainsi que Bryant et Bradley (1980), durant la phase alphabétique, l'orthographe phonologique induit (*drive*) le développement de la lecture. Ultérieurement, la lecture devient un prédicteur de l'orthographe conventionnelle.

Orthographe et production de textes

Les mêmes raisonnements et les mêmes démarches que ceux appliqués à l'impact du niveau de performance graphique sur la qualité et la quantité des productions textuelles ont été suivis en ce qui concerne l'orthographe. Toutefois, les données rapportées par les auteurs anglo-saxons ne portent le plus souvent que sur la dimension lexicale de celles-ci (voir Nunes et coll., 1997). Elles ne se généralisent donc pas facilement au français écrit, dont la

morphologie du nombre et du genre soulève des problèmes spécifiques du fait de son caractère majoritairement silencieux.

Relativement aux études de corrélations, Graham (1999) comme Juel (1988) ont rapporté que les performances en orthographe expliquaient une part significative et importante de la variance (entre 40 et 50 % pour le premier, environ 30 % pour le second) relevée en composition écrite chez les débutants. Concernant les recherches portant sur des entraînements, Berninger et coll. (1998) ont obtenu des améliorations significatives de la quantité d'écrit produit en introduisant en deuxième année primaire une instruction supplémentaire portant sur l'orthographe. Graham et coll. (2002) ont également induit des améliorations en orthographe et en production de phrases en intervenant auprès d'enfants en difficulté d'apprentissage de l'écrit. Toutefois, la stabilité des acquis est apparue faible sous six mois. Enfin, Berninger et coll. (2002) ont montré l'intérêt d'intervenir à la fois sur l'orthographe, en enseignant explicitement divers types de connexions entre formes sonores et formes graphiques, et sur la composition écrite pour obtenir une amélioration en composition, y compris en ce qui concerne l'orthographe des mots.

En résumé, les données relatives à l'orthographe lexicale et au coût de sa mise en œuvre s'accordent avec celles qui ont été rapportées relativement à l'impact de la dimension graphique sur la quantité et la qualité des productions textuelles des enfants. Toutes confirment que le coût élevé de la dimension orthographique (lexicale) se traduit par une performance faible en composition ; diminuer ce coût soit en allégeant la tâche soit en améliorant les performances par instruction induit des progrès presque toujours en quantité de texte produit, moins systématiquement en ce qui concerne la qualité des textes. La stabilité des améliorations est moins régulièrement testée et attestée.

En conclusion, l'étude de l'apprentissage de la production orthographique (et de la reconnaissance des mots) suggère que quatre dimensions interviennent. La première a trait à la phonologie et à l'apprentissage des associations phonèmes-graphèmes. En l'état actuel de nos connaissances, c'est cette dimension qui a le poids le plus important, au moins lors de la phase initiale de l'apprentissage (Majeres, 2005). La deuxième concerne la mémorisation, d'une part, d'instances fréquemment rencontrées (personne ne sait encore déterminer combien de rencontres sont nécessaires pour que soit assurée la mémorisation ; Share, 1999) et, d'autre part, de régularités graphotactiques constituant autant « d'unités » sous-lexicales susceptibles d'être combinées pour transcrire les mots (là encore, nous n'avons aucune indication du degré d'exposition à un corpus donné nécessaire pour que les régularités puissent en être extraites). La troisième est relative à la morphologie, plus ou moins assimilable à des procédures applicables à tous les mots concernés par ce que la grammaire formalise comme une règle (l'accord en nombre des noms,

adjectifs et verbes), ce qui n'implique pas que les individus recourent effectivement à de telles règles. Enfin, la quatrième dimension relève des processus mobilisables par les enfants : très précocement, les capacités d'établir des associations entre configurations phonologiques et graphémiques, de mémoriser des instances, d'extraire des régularités et d'effectuer des analogies semblent disponibles. Ce qui évolue, ce sont les bases de connaissance sur lesquelles opèrent ces processus. Or, nous savons encore peu de choses relativement à l'évolution de ces bases de connaissances et, notamment à leur organisation. De même, nous ignorons à peu près tout des effets de l'enseignement des règles d'accord, et plus généralement de celui des règles susceptibles de prévenir ou de corriger les erreurs, et de la manière dont les individus gèrent l'ensemble de ces règles, c'est-à-dire des rapports entre les apprentissages implicites réalisés sans intention et les apprentissages explicites effectués essentiellement sous l'influence de l'enseignement dispensé.

Malgré ces ignorances, la description des acquis relatifs à l'apprentissage chez le tout-venant permet d'envisager des sources potentielles de difficultés et d'expliquer le choix du matériel utilisé pour construire les épreuves. C'est ainsi que les chercheurs ont élaboré des épreuves portant sur la phonologie seule, sur les relations phonèmes-graphèmes, sur les connaissances lexicales et sous-lexicales, et sur la morphologie. Toutefois, une question récurrente concerne la relation entre la connaissance d'un item ou d'une procédure d'accord et sa mise en œuvre dans une activité complexe (dictée, composition écrite..). Cette question pose le double problème des évaluations et de l'enseignement dispensé. Les évaluations fournissent-elles des indications fiables des savoirs et des savoir-faire orthographiques ? L'instruction dispensée est-elle suffisamment systématique et prolongée pour assurer non seulement la connaissance des formes lexicales et des règles morphologiques mais aussi la possibilité de les mobiliser et de les appliquer dans des situations plus complexes que celles qui correspondent aux exercices ?

BIBLIOGRAPHIE

ADI-JAPHA E, FREEMAN NH. Development of differentiation between writing and drawing systems. *Developmental Psychology* 2001, **37** : 101-114

BERKO J. The child's learning of English morphology. *Word* 1958, **14** : 150-177

BERNINGER VW, VAUGHAN KB, ABBOTT RD, ABBOTT SP, et coll. Treatment of hanwriting problems in beginning writers: Transfer from handwriting to composition. *Journal of Educational Psychology* 1997, **89** : 652-666

BERNINGER VW, VAUGHAN KB, ABBOTT RD, BROOKS A, ABBOTT SP, et coll. Early intervention for spelling problems: Teaching spelling units of varying size within a multiple connection framework. *Journal of Educational Psychology* 1998, **90** : 587-605

BERNINGER VW, VAUGHAN K, ABBOTT RD, BEGAY K, COLEMAN KB, et coll. Teaching spelling and composition alone or together: Implications for the simple view of writing. *Journal of Educational Psychology* 2002, **94** : 291-304

BONIN P, PEEREMAN R, FAYOL M. Do phonological codes constraint the selection of orthographic codes in written picture naming? *Journal of Memory and Language* 2001, **45** : 688-720

BOSMAN AMT, VAN ORDEN GC. Why spelling is more difficult than reading. *In*: Learning to spell. PERFETTI CA, RIEBEN L, FAYOL M (eds). Mahwah, NJ, Lawrence Erlbaum Associates, 1997 : 173-194

BOSSE ML, VALDOIS S, TAINTURIER MJ. Analogy without priming in early spelling development. *Reading and Writing: An Interdisciplinary Journal* 2003, **16** : 693-716

BOURDIN B, FAYOL M. Is written production more difficult than oral production: A working memory approach. *International Journal of Psychology* 1994, **29** : 591-620

BOURDIN B, FAYOL M. Mode effects in a sentence production task. *CPC/Current Psychology of Cognition* 1996, **15** : 245-264

BOURDIN B, FAYOL M. Even in adults, written production is still more costly than oral production. *International Journal of Psychology* 2002, **37** : 219-222

BOURDIN B, FAYOL M. Is graphic activity cognitively costly? A developmental approach. *Reading and Writing* 2000, **13** : 183-196

BROWN AS. Encountering misspellings and spelling performance: Why wrong isn't right. *Journal of Educational Psychology* 1988, **4** : 488-494

BRYANT P, NUNES T, AIDINIS A. Different morphemes, same spelling problems: Cross-linguistic developmental studies. *In*: Learning to read and write: A cross-linguistic perspective. HARRIS M, HATANO G (eds) Cambridge University Press, Cambridge, 1999

BRYANT P, NUNES T, SNAITH R. Children learn an untaught rule of spelling. *Nature* 2000, **403** : 157-158

BRYANT P, BRADLEY L. Why children sometimes write words which they do not read. *In*: Cognitive processes in spelling. FRITH U (ed). London, Academic Press,1980

BRYANT P, NUNES T. Morphology and spelling. *In*: Handbook of children's literacy. NUNES T, BRYANT P (eds). Kluwer, Dordrecht, 2003

CARAVOLAS M, HULME C, SNOWLING MJ. The foundations of spelling ability: Evidence from a 3-year longitudinal study. *Journal of Memory and Language* 2001, **45** : 751-774

CASSAR M, TREIMAN R. The beginnings of orthographic knowledge: Children's knowledge of double letters in words. *Journal of Educational Psychology* 1997, **89** : 631-644

CONNELLY V, DOCKRELL JE, BARNETT J. The slow handwriting of undergraduate students constrains overall performance in exam essays. *Educational Psychology* 2005, **25** : 97-105

COUSIN MP, LARGY P, FAYOL M. Sometimes, early learned instances hinder the implementation of agreement rules. A study in written French. *Current Psychology Letters* 2002, **8** : 51-65

COUSIN MP, LARGY P, FAYOL M. Produire la morphologie flexionnelle du nombre nominal : Etude chez l'enfant d'école primaire. *Rééducation Orthophonique* 2003, **213** : 115-129

CUETOS F. Writing processes in a shallow orthography. *Reading and Writing: An Interdisciplinary Journal* 1993, **5** : 17-28

CUNNINGHAM AE, STANOVICH KE. Early spelling acquisition: Writing beats the computer. *Journal of Educational Psychology* 1990, **82** : 159-162

CUNNINGHAM AE, STANOVICH KE. Early reading acquisition and its relation to reading experience and ability 10 years later. *Developmental Psychology* 1997, **33** : 934-945

DEFIOR S, SERRANO F. The initial development of spelling in spanish: From global to analytical. *Reading and Writing* 2005, **18** : 81-98

EHRI L. Learning to read and learning to spell are one and the same, almost. *In*: Learning to spell: Research, theory, and practice. PERFETTI C, RIEBEN L, FAYOL M. (eds). Mahwah, NJ, Erlbaum, 1997

EHRI LC, SALTMARSH J. Beginning Readers Outperform Older Disabled Readers in Learning to Read Words by Sight. *Reading and Writing: An Interdisciplinary Journal* 1995, **7** : 295-326

EME E, GOLDER C. Word-reading and word-spelling styles of French beginners: do all children learn to read and spell in the same way? *Reading and Writing: An Interdisciplinary Journal* 2005, **18** : 157-188

FAYOL M, LARGY P, LEMAIRE P. Subject- verb agreeement errors in French. *Quarterly Journal of Experimental Psychology* 1994, **47A** : 437-464

FAYOL M, LÉTÉ B, GABRIEL MA. Du développement de la correspondance un phonème-plusieurs graphèmes chez les enfants de 6 à 7 ans. *LIDIL* 1996, **13** : 67-85

FAYOL M, HUPET M, LARGY P. The acquisition of subject-verb agreement in written french. From novices to experts errors. *Reading and Writing: An Interdisciplinary Journal* 1999a, **11** : 153-174

FAYOL M, THÉVENIN MG, JAROUSSE JP, TOTEREAU C. From learning to teaching to learning french written morphology. *In*: Learning to read: an integrated view from research and practice. NUNES T (ed), Kluwer, Dordrecht (The Netherland), 1999b

FAYOL M. L'apprentissage de l'accord en genre et en nombre en Français écrit. Connaissances déclaratives et connaissances procédurales. Faits de Langue, 2002

FAYOL M, MIRET A. Écrire, orthographier et rédiger des textes. *Psychologie Française* 2005, **50** : 391-402

FERREIRO E, TEBEROSKY A. Literacy before schooling. Heinemann, New York, 1982

FOULIN JN. Why is letter-name knowledge such a good predictor of learning to read? *Reading and Writing: An Interdisciplinary Journal* 2005, **18** : 129-155

FRITH U. Unexpected spelling problems. *In*: Cognitive processes in spelling. FRITH U (ed). Academic Press, London, 1980

FRITH U. Beneath the surface of developmental dyslexia. *In*: Surface dyslexia: Neuropsychological and cognitive studies of phonological reading. PATTERSON KE, MARSHALL JC, COLTHEART M (eds). Erlbaum, London, 1985 : 301-330

GOMBERT J, FAYOL M. Writing in preliterate children. *Learning and Instruction* 1992, **2** : 23-41

GOSWAMI U. Children's use of analogy in learning to spell. *British Journal of Developmental Psychology* 1988, **6** : 21-33

GRAHAM S. Handwriting and spelling instruction for students with learning disabilities: a review. *Learning Disabilitiy Quarterly* 1999, **22** : 78-98

GRAHAM S, BERNINGER VW, ABBOTT RD, ABBOTT SP, WHITAKER D. Role of mechanics in composing of elementary school students: A new methodological approach. *Journal of Educational Psychology* 1997, **89** : 170-182

GRAHAM S, BERNINGER VW, WEINTRAUB N. The relationship between handwriting style and speed and legibility. *Journal of Educational Research* 1998, **91** : 290-297

GRAHAM S, HARRIS KR, KINK B. Is handwriting causally related to learning to write? Treatment of handwriting problems in beginning writers. *Journal of Educational Psychology* 2000, **92** : 620-633

GRAHAM S, WEINTRAUB N, BERNINGER V. Which manuscript letters do primary grade children write legibly. *Journal of Educational Psychology* 2001, **93** : 488-497

GRAHAM S, HARRIS KR, CHORZEMPA BF. Contribution of spelling instruction to the spelling, writing, and reading of poor spellers. *Journal of Educational Psychology* 2002, **94** : 669-689

HUPET M, FAYOL M, SCHELSTRAETE MA. Effects of semantic variables on the subject-verb agreement processes in writing. *British Journal of Psychology* 1998, **89** : 59-75

JACOBY LL, HOLLINGSHEAD A. Reading student essays may be hazardous to your spelling: Effects of reading incorrectly and correctly spelled words. *Canadian Journal of Psychology* 1990, **44** : 345-358

JAFFRÉ JP, FAYOL M. Orthographes. Des systèmes aux usages. Flammarion, Paris, 1997

JONES D, CHRISTENSEN CA. Relationship between automaticity in handwriting and students'ability to generate written text. *Journal of Educational Psychology* 1999, **91** : 44-49

JUEL C. Learning to read and write: A longitudinal study of 54 children from first to fourth grades. *Journal of Educational Psychology* 1988, **80** : 437-447

KEMP N, BRYANT P. Do beez buzz? Rule-based and frequency-based knowledge in learning to spell plural –s. *Child Development* 2003, **74** : 63-74

LARGY P. La révision des accords nominal et verbal chez l'enfant. *L'Année Psychologique* 2001, **101** : 221-245

LARGY P, FAYOL M, LEMAIRE P. The homophone effect in written French: The case of verb-noun inflection errors. *Language and Cognitive Processes* 1996, **11** : 217-255

LAVINE L. Differenciation of letter-like forms in pre-reading children. *Developmental Psychology* 1977, **23** : 89-94

LEHTONEN A, BRYANT P. Doublet challenge: Form comes before function in children's understading of their orthography. *Developmental Science* 2005, **8** : 211-217

LOGAN GD. Toward an instance theory of automatization. *Psychological Review* 1988, **95** : 492-527

LOGAN GD, KLAPP ST. Automatizing alphabet arithmetic: I. Is extended practice necessary to produce automaticity? *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition* 1991, **17** : 179-195

MAJERES RL. Phonological and orthographic coding skills in adult readers. *The Journal of Genetic Psychology* 2005, **132** : 267-280

MANRIQUE AMB, DE SIGNORINI A. Phonological awareness, spelling and reading abilities in Spanish-speaking children. *British Journal of Educational Psychology* 1994, **64** : 429-439

MARTINET C, VALDOIS S, FAYOL M. Lexical orthographic knowledge develops from the beginning of literacy acquisition. *Cognition* 2004, **91** : B11-22

MOUSTY P, LEYBAERT J. Évaluation des habiletés de lecture et d'orthographe au moyen de BELEC : données longitudinales auprès d'enfants francophones testés en 2ème et 4ème années. *Revue Européenne de Psychologie Appliquée* 1999, **49** : 325-347

NATION K, HULME C. The automatic activation of sound-letter knowledge: An alternative interpretation of analogy and priming effects in early spelling development. *Journal of Experimental Child Psychology* 1996, **63** : 416-435

NUNES T, BRYANT P, BINDMAN M. Morphological spelling strategies: Developmental stages and processes. *Developmental Psychology* 1997, **33** : 637-649

ONL. Apprendre à lire. CNDP et O. Jacob, 1998

PACTON S, FAYOL M. The impact of phonological cues on children's judgements of nonwords plausibility: The case of double letters. *Current Psychology letters: Brain Behavior and Cognition* 2000, **1** : 39-54

PACTON S, PERRUCHET P, FAYOL M, CLEEREMANS A. Implicit learning out of the lab: The case of orthographic regularities. *Journal of Experimental Psychology General* 2001, **130** : 401-426

PACTON S, FAYOL M, PERRUCHET P. The acquisition of untaught orthographic regularities in French. *In*: Precursors of Functional Literacy. VERHOEVEN L, ERLBRO C, REITSMA DP (eds). Kluwer, Dordrecht, 2002 : 121-136

PACTON S, FAYOL M, PERRUCHET P. Acquérir l'orthographe du Français: Apprentissages implicites et explicites. *In* : La maîtrise du langage. FLORIN A, MORAIS J (eds). Presses Universitaires de Rennes, Rennes, 2002 : 95-118

PACTON S, FOULIN JN, FAYOL M. L'apprentissage de l'orthographe lexicale. *Rééducation Orthophonique* 2005, **222** : 47-68

PACTON S, FAYOL M. Learning to spell in a deep orthography: The case of French. *In*: Trends in language acquisition research. BERMAN R, GILLIS T (eds). Kluwer, Dordrecht, 2004 : 164-176

PACTON S, FAYOL M, PERRUCHET P. Children's implicit learning of Graphotactic and Morphological regularities. *Child Development* 2005, **76** : 324-339

PEEREMAN R, CONTENT A. Quantitative analyses of orthography to phonology mapping in English and French. 1998, http://homepages.ulb.ac.be/~acontent/OPMapping.html

PEEREMAN R, CONTENT A. LexOP. A Lexical database with Orthography-Phonology statistics for French monosyllabic words. *Behavior Research Methods, Instruments and Computers* 1999, **31** : 376-379

PEEREMAN R, LÉTÉ B, SPRENGER-CHAROLLES L. Manulex-infra: distributional characteristics of infra-lexical and lexical units in child-directed written material. *Behavior Research Methods, Instruments and Computers*, sous presse

ROYER C, SPINELLI E, FERRAND L. On the status of mute letters in French: Simple graphemes or part of complex graphemes. *Current Psychology Letters* 2005, **16**

SEIDENBERG MS, GONNERMAN LM. Explaining derivational morphology as the convergence of codes. *Trends in Cognitive Sciences* 2000, **4** : 353-361

SÉNÉCHAL M. Morphological effects in children's spelling of french words. *Canadian Journal of Experimental Psychology* 2000, **54** : 76-85

SEYMOUR PH, ARO M, ERSKINE JM. Foundation literacy acquisition in European orthographies. *British Journal of Psychology* 2003, **94** : 143-174

SHARE DL. Phonological recoding and self-teaching: Sine qua non of reading acquisition. *Cognition* 1995, **55** : 151-218

SHARE DL. Phonological recoding and orthographic learning: a direct test of the self-teaching hypothesis. *Journal of Experimental Child Psychology* 1999, **72** : 95-129

SHARE DL. Orthographic learning at a glance: On the time course and developmental onset of self-teaching. *Journal of Experimental Child Psychology* 2004, **87** : 267-298

SHARE DL, SHALEV C. Self-teaching in normal and disabled readers. *Reading and Writing : An Interdisciplinary Journal* 2004, **17** : 769-800

SPRENGER-CHAROLLES L. Linguistic processes in reading and spelling: The case of alphabetic writing systems: English, French, German and Spanish. *In*: Handbook of children's literacy. NUNES T, BRYANT P (eds). Kluwer, Dordrecht, 2003

SPRENGER-CHAROLLES L, SIEGEL LS, BONNET P. Reading and spelling acquisition in French: The role of phonological mediation and orthographic factors. *Journal of Experimental Child Psychology* 1998, **68** : 134-165

SPRENGER-CHAROLLES L, SIEGEL LS, BECHENNEC D, SERNICLAES W. Development of phonological and orthographic processing in reading aloud, in silent reading, and in spelling: A four-year longitudinal study. *Journal of Experimental Child Psychology* 2003, **84** : 167-263

THÉVENIN MG, TOTEREAU C, FAYOL M, JAROUSSE JP. L'apprentissage/enseignement de la morphologie écrite du nombre en français. *Revue Française de Pédagogie* 1999, **126** : 39-52

THORSTAD G. The effect of orthography on the acquisition of literacy skills. *British Journal of Psychology* 1991, **82** : 527-537

TOLCHINSKY L. Childhood conceptions of literacy. *In*: Handbook of children's literacy. NUNES T, BRYANT P (eds). Kluwer, Dordrecht, 2003

TOLCHINSKY L, TEBEROSKY A. The development of word segmentation and writing in two scripts. *Cognitive Development* 1998, **13** : 1-24

TOLCHINSKY-LANDSMANN L, LEVIN I. Writing in preschoolers: An age-related analysis. *Applied Psycholinguistics* 1985, **6** : 319-339

TOLCHINSKY-LANDSMANN L, LEVIN I. Writing in four- to six-year-olds: Representation of semantic and phonetic similarities and differences. *Journal of Child Language* 1987, **14** : 127-144

TORGESEN JK. Individual differences in response to early interventions in reading: The lingering problem of treatment resisters. *Learning Disabilities Research and Practice* 2000, **15** : 55-64

TOTEREAU C, THEVENIN MG, FAYOL M. The development of the understanding of number morphology in written French. *In*: Learning to spell. PERFETTI C, FAYOL M, RIEBEN L (eds). LEA, Hillsdale, NJ, 1997 : 97-114

TOTEREAU C, BARROUILLET P, FAYOL M. Overgeneralizations of number inflections in the learning of written French: The case of nouns and verbs. *British Journal of Developmental Psychology* 1998, **16** : 447-464

TREIMAN R. Use of consonant letter names in beginning spelling. *Developmental Psychology* 1994, **30** : 567-580

TREIMAN R, CASSAR M, ZUKOWSKI A. What types of linguistic information do children use in spelling? The case of flaps. *Child Development* 1994, **65** : 1310-1329

TREIMAN R. Beginning to spell: A study of first-grade children. Oxford University Press, New York, 1993

TREIMAN R, TINCOFF R. The fragility of the alphabetic principle: Children's knowledge letter names can cause them to spell syllabically rather than alphabetically. *Journal of Experimental Child Psychology* 1997, **64** : 425-451

TREIMAN R, KESSLER B, BOURASSA D. Children's own names influence their spellings. *Applied Psycholinguistics* 2001, **22** : 555-570

VARNHAGEN CK, BOECHLER PM, STEFFLER DJ. Phonological and orthographic influences on children's vowel spelling. *Scientific Studies in Reading* 1999, **3** : 363-379

VÉRONIS J. From sound to spelling in French: Simulation on a computer. *Cahiers de Psychologie Cognitive* 1988, **8** : 315-334

WALCZYK JJ. The interplay between automatic and control processes in reading. *Reading Research Quarterly* 2000, **35** : 554-566

WEINTRAUB N, GRAHAM S. Writing legibly and quickly: a study of children's ability to adjust their handwriting to meet common classroom demands. *Learning Disabilities Research and Practice* 1998, **13** : 146-152

ZIEGLER JC. La perception des mots, une voie à double sens ? *Annales de la fondation Fyssen* 1998, **13** : 81-88

ZIEGLER JC, JACOBS AM, STONE GO. Statistical analyses of the bidirectional inconsistency of spelling and sound in French. *Behavior Research Methods, Instruments and Computers* 1996, **28** : 504-515

4

Apprentissage de l'arithmétique

Il est impossible d'évoquer la genèse du nombre et des habiletés numériques chez l'enfant sans évoquer Piaget et de ses collaboratrices (Piaget et Szeminska, 1941 ; Piaget et Inhelder, 1959). L'objectif de Piaget était de montrer que la construction de la notion de nombre ne dépend pas du langage, mais de l'action intériorisée devenue réversible, c'est-à-dire de ses aspects opératifs. Pour Piaget, le nombre est solidaire d'une structure d'ensemble sans laquelle il n'y a pas de conservation des totalités numériques. Il n'est intelligible que dans la mesure où il demeure identique à lui-même quelle que soit la disposition des unités dont il est composé. C'est la raison pour laquelle Piaget a essentiellement étudié le nombre au travers de tâches dites de conservation. La conservation du nombre résulterait d'une coordination des diverses dimensions en jeu (l'espace occupé par une collection et la densité) et relèverait d'une pensée opératoire et logique.

Bien qu'ayant eu une énorme importance tant en psychologie qu'en pédagogie, l'approche « logiciste » de Piaget ne peut expliquer les premières acquisitions de l'enfant. D'une part, la tâche de conservation du nombre a reçu d'innombrables critiques (pour une revue, Fayol, 1990). Les données empiriques suggèrent que la réussite à cette tâche ne relève pas de la logique opératoire que Piaget y décelait et qu'elle n'a pas le caractère essentiel qu'il lui prêtait. D'autre part, bien avant l'accès au stade opératoire concret, les enfants d'école maternelle manifestent préalablement à tout apprentissage académique, un large éventail d'habiletés numériques comme le comptage, le dénombrement, et même la résolution de problèmes additifs simples (Siegler, 1996). Ces constats affaiblissent l'importance d'une supposée rupture développementale aux alentours de 7 ans marquée par l'accès à une première forme de logique concrète et dont l'indice le plus fiable serait la conservation du nombre.

Cependant, l'approche piagetienne a fortement contribué à renouveler notre conception des rapports entre l'enfant et le nombre. D'une part, la découverte par Piaget d'une intelligence préverbale chez le bébé a ouvert la voie aux études portant sur les compétences numériques précoces chez le nourrisson. D'autre part, l'attention portée à une compréhension du nombre allant au-delà de la simple maîtrise d'habiletés d'énumération, de dénombrement ou de calcul conserve toute sa valeur.

Prémices du nombre

Les capacités des animaux, des bébés et des peuplades dites « primitives » à discriminer des quantités ont été étudiées afin de repérer des capacités numériques élémentaires.

Capacités numériques chez l'animal

Les performances des animaux (singes, rats, pigeons) à des tâches de comparaison ou de discrimination de quantités d'objets ou d'événements montrent que les animaux réussissent mais de manière imparfaite (pour une synthèse, Brannon, 2005). Leurs choix, d'une part, ne sont pas aléatoires et, d'autre part, présentent une variabilité d'un essai à l'autre et d'une quantité à l'autre autour d'une moyenne. Cette variabilité augmente avec l'accroissement de la taille (ou magnitude) des entités à comparer. Les données collectées auprès de différentes espèces ont mis en évidence que le rapport de la dispersion des évaluations sur la taille de la quantité à estimer était une constante, ce qui correspond à une donnée classique de la psychophysique (la loi de Weber). Les animaux disposeraient d'une représentation mentale des magnitudes qui serait formellement analogue à des points sur une ligne de nombres. Cette représentation serait « floue » en ce sens que, même après un long entraînement, les animaux ne parviennent pas à déterminer exactement la numérosité d'une collection ou d'une série discrète de 4, 6 ou 8 éléments (Hauser et coll., 2000).

Capacités numériques chez le bébé

La sensibilité des jeunes enfants (de moins de 12 mois) à la quantité est réputée très précoce. Par exemple, ils discriminent les groupes d'objets ou de jetons sous réserve que les quantités soient petites (1, 2 et 3 items) (Starkey et Cooper, 1980 ; Strauss et Curtis, 1981 ; Antell et Keating, 1983). Il se pourrait même qu'ils disposent d'une représentation amodale des quantités puisqu'ils sont en mesure de discriminer et apparier les nombres d'événements (Canfield et Smith, 1996 ; Wynn, 1996 ; Sharon et Wynn, 1998) et les ensembles de sons (Bijeljac-Babic et coll., 1993) sur la base de la quantité. Toutefois, ces résultats déjà anciens ont donné lieu à des analyses critiques qui interdisent de les tenir pour acquis.

Une question importante et mal résolue a trait au caractère numérique ou non des représentations ainsi mises en évidence. S'agit-il de représentations d'emblée spécifiquement numériques, et donc discrètes, ce qui étayerait l'hypothèse de l'existence d'un système inné dédié au traitement du nombre (Wynn, 1998) ? S'agit-il plutôt d'un système traitant des quantités continues, le caractère numérique discret n'étant pas inhérent à ce mode de traitement et n'apparaissant que plus tard ? S'agit-il d'un système général, non spécifiquement dédié au nombre ni à la quantité, traitant des objets dis-

crets, et dont certaines propriétés pourraient laisser penser qu'on a affaire à des traitements numériques (Simon, 1997) ?

Plusieurs séries de recherches prétendent établir que les enfants n'ayant pas encore acquis le langage ont une représentation précise des petites quantités. Toutefois, dans la plupart des expériences, le matériel confond le nombre d'éléments et diverses dimensions continues étroitement corrélées à la numérosité (la surface, le volume) (Starkey et Cooper, 1980). Ce constat a conduit Feigenson et coll. (2002) à réaliser une série d'expériences dans lesquelles ils utilisent de petits ensembles d'objets tridimensionnels conduisant à manipuler conjointement les dimensions numérique et continue. De manière générale, les données rapportées par Feigenson et coll. montrent que les jeunes enfants sont en mesure de discriminer les petites quantités (1/2 ; 2/3), et que ces discriminations sont très précocement associées à la relation plus/moins. En revanche, elles remettent en question la spécificité d'un système dédié au seul traitement numérique.

Lorsque les collections comportent plus de 4 ou 5 objets, les très jeunes enfants se référeraient à une représentation analogique fournissant une quantification approximative. Le traitement pourrait dépendre d'un autre type de processus associé à une ligne analogique numérique (Mix et coll., 2002). Deux expériences ont produit des données sans équivoque à l'appui de cette thèse. Il a été montré en contrôlant la surface, la densité, la brillance et l'enveloppe des collections que les enfants de 6 mois manifestent une déshabituation quand on passe de 8 à 16 jetons (puis de 16 à 32) mais non de 8 à 12 (Xu, 2000 ; Xu et Spelke, 2000). Ces données suggèrent que les enfants ont besoin d'un rapport de 1/2 pour discriminer les quantités, au moins lorsqu'elles dépassent une certaine taille et/ou qu'elles sont traitées comme des dimensions continues.

Des données complémentaires mettent en évidence que les nouveau-nés de 9 mois sont en mesure d'évaluer le caractère réaliste ou non des quantités (>5) résultant de l'ajout ou du retrait d'une quantité donnée à une collection initiale (McCrink et Wynn, 2004).

En résumé, les nouveau-nés semblent, comme les animaux, en mesure de mobiliser deux systèmes différents pour le traitement des quantités. L'un, précis mais ne s'appliquant qu'aux petits ensembles discrets (1, 2 et 3) ; l'autre, extensible aux très grandes quantités, opérant sur les dimensions continues ou traitant comme tels les ensembles d'éléments discrets, fournissant une évaluation approximative suivant la loi de Weber (Fayol et Seron, 2005). La question du caractère spécifiquement numérique de ces modes de traitement reste posée, tout comme celle des caractéristiques des représentations sur lesquelles ils pourraient s'effectuer.

Capacités numériques chez les peuplades dites « primitives »

Les études anthropologiques ont également mis en évidence chez des peuplades dites « primitives » des capacités numériques élémentaires similaires à

celles des bébés. L'opposition entre peuples civilisés et peuples dits « primitifs » qui s'articule, entre autres, sur une opposition entre mentalité logique et mentalité pré-logique doit beaucoup aux considérations des ethnographes de la fin du 19e siècle et du début du 20e (Lévy-Bruhl, 1912). Le « primitivisme » sous-jacent à cette conception qui considère que les systèmes les plus primitifs sont les plus simples et que le comptage dans les sociétés sans écriture serait immergé dans le concret, confinant ainsi bien des peuplades à la fameuse suite « un, deux, trois, beaucoup », perdure encore dans les travaux de synthèse les plus répandus (Ifrah, 1994). Or, de nombreux travaux d'africanistes montrent l'omniprésence de systèmes numériques dans des groupes qui font peu de cas de leurs procédés de calcul et de leur système de numération (Fainzang, 1985). Des nombres élevés peuvent être atteints en poursuivant un comput qui fonctionne par « application » de l'ensemble des doigts et des orteils sur chacun d'entre eux. Ces études anthropologiques attestent de l'existence de systèmes numériques plus ou moins élaborés, y compris dans les sociétés présentées comme les plus « primitives ». Par ailleurs, si la connaissance et l'utilisation de systèmes verbaux permettant une évaluation précise des quantités ne sont pas attestées dans certaines peuplades, les individus qui en sont membres sont néanmoins capables de réaliser des évaluations globales approximatives du même type que celles qui ont été mises en évidence chez les nouveau-nés (Pica et coll., 2004).

Il reste de nombreuses interrogations sur les capacités numériques élémentaires et aucun modèle ne permet actuellement de rendre parfaitement compte de toutes les observations. Nous savons que les bébés, les peuplades dites « primitives » et les animaux sont à la fois capables de détecter certains types de propriétés auxquelles les enfants plus âgés et les adultes de nos sociétés peuvent attacher des représentations numériques et d'évaluer de manière approximative les quantités, vraisemblablement en s'appuyant sur les propriétés continues (longueur, surface, intensité…). Certains résultats peuvent être interprétés comme attestant l'existence de capacités numériques innées, produit de l'évolution des espèces. Même si tel est le cas, ces capacités ne constituent qu'un point de départ. Les connaissances mathématiques plus complexes que l'être humain a développées au cours de son histoire vont bien au-delà et font appel à des systèmes numériques symboliques.

Premiers apprentissages

Les premiers apprentissages numériques font appel au système verbal et obéissent à une chronologie dont les processus ont fait l'objet de plusieurs modèles explicatifs.

Acquisition de la chaîne verbale

Dans nos sociétés, les activités ayant trait à la numération orale mobilisent un système verbal faisant intervenir un lexique et des règles de combinaison.

Les systèmes verbaux sont des systèmes conventionnels reposant sur deux grands principes :
• la lexicalisation qui est un processus élémentaire associant à une cardinalité une dénomination et une seule (cinq ; seize) ;
• une syntaxe constituée de règles combinatoires permettant d'élaborer une infinité de formulations complexes correspondant à n'importe quelle cardinalité (exemple : six cent soixante-quinze millions trois cent dix mille deux).

Dans le cas du nombre, les règles syntaxiques opposent des combinaisons de types additif (cent trois) ou multiplicatif (trois cents) (Power et Longuet-Higgins, 1978). Le système numérique oral français repose sur la lexicalisation des cardinalités allant jusqu'à 16, des dizaines de vingt à soixante, de cent, mille, million et milliard, sur une syntaxe codant uniquement des relations additives jusqu'à 79 (exemple : vingt-cinq = vingt + cinq) et sur une syntaxe combinant les relations additives et multiplicatives (exemple : quatre cent six = quatre x cent + six) (Fayol, 2002).

La chaîne verbale orale s'acquiert entre deux et six ans. Fuson et coll. (1982) ont établi que les suites numériques produites par les enfants en cours d'apprentissage s'organisent initialement suivant trois parties :
• stable et conventionnelle, qui s'accroît avec l'âge, surtout à partir de 4 ans et demi ;
• stable et non conventionnelle, qui concerne surtout les nombres entre 10 et 19 ;
• ni stable ni conventionnelle, qui change d'un essai à l'autre.

Cette construction progressive de la suite numérique reflète un apprentissage par cœur de type sériel. Elle est lente et difficile et les différences interindividuelles sont faibles. À partir de 4 ans et demi, le nombre de formes verbales disponibles augmente rapidement et certains enfants commencent à utiliser les règles de la combinatoire. Les différences interindividuelles se creusent alors entre les enfants utilisant déjà la combinatoire et ceux qui en sont encore à l'apprentissage par cœur. Ces différences sont particulièrement marquées entre les performances des enfants occidentaux, confrontés à des systèmes verbaux irréguliers, et les enfants du sud-est asiatique qui acquièrent très vite des systèmes à la base dix saillante (Miller et Paredes, 1996) (pour une synthèse, voir Fayol, 2002).

Processus de quantification

Trois processus de quantification sont distingués : le dénombrement, le *subitizing* et l'estimation (Fayol, 1990 ; Geary, 1994 ; Dehaene, 1997 ; Camos, 1999). En ce qui concerne l'émergence du dénombrement dans l'enfance, deux points de vue théoriques s'opposent : la théorie dite des « principes en premier » et celle dite des « principes après ». La théorie des principes en premier affirme que les principes guidant le dénombrement seraient innés.

Ces principes, définis par Gelman et Gallistel (1978), sont au nombre de cinq : le principe de correspondance un à un (chaque élément de la collection à dénombrer est associé à une seule étiquette) ; le principe d'ordre stable (la suite des étiquettes constitue une liste ordonnée) ; le principe de cardinalité (la dernière étiquette utilisée représente le cardinal de la collection) ; le principe d'abstraction (l'hétérogénéité des éléments n'a pas d'impact sur leur dénombrement) ; le principe de non-pertinence de l'ordre (l'ordre dans lequel les éléments sont dénombrés n'a pas d'incidence sur le cardinal de la collection). Selon ce modèle, ces principes de dénombrement contraindraient l'action et permettraient de reconnaître les procédures légitimes.

Par opposition à la théorie des « principes en premier », la théorie des « principes après » postule que les principes sont progressivement abstraits d'une pratique répétée des procédures de dénombrement acquises par imitation (Fuson, 1988). Le dénombrement serait d'abord une activité sans but, une routine, et l'enfant ne découvrirait que progressivement le lien avec la cardinalité. L'émergence de ce lien trouverait son origine dans le *subitizing*.

Le *subitizing* est un processus perceptif rapide et sûr d'appréhension immédiate de la quantité pour les petites numérosités, c'est-à-dire inférieures à 3 ou 4 objets (Mandler et Shebo, 1982). Divers modèles ont été proposés afin d'expliquer cette différence de traitement entre les collections inférieures à 4 et celles qui sont supérieures à 4 objets. Mandler et Shebo (1982) proposent que le *subitizing* repose sur la reconnaissance de configurations canoniques, ou patrons perceptifs. Pour leur part, Gallistel et Gelman (1992) défendent un point de vue radical selon lequel le *subitizing* ne serait rien d'autre qu'un dénombrement très rapide utilisant des étiquettes non verbales. Enfin, d'autres auteurs pensent qu'il relèverait de l'application d'un processus général d'estimation. En une ou deux secondes, les adultes peuvent estimer la numérosité d'une collection pouvant aller jusqu'à plusieurs centaines de points, sous réserve d'entraînement (Krueger, 1982). La variabilité dans l'estimation s'accroît avec la numérosité. L'empan du *subitizing* serait alors simplement l'intervalle dans lequel l'estimation est suffisamment précise pour produire un seul candidat. Bien que ces auteurs fassent l'amalgame entre *subitizing* et estimation, ils n'expliquent toutefois pas le processus permettant l'estimation. Si quelques modèles mathématiques ont été proposés pour expliquer ce processus (van Oeffelen et Vos, 1982), l'estimation tout comme le *subitizing* restent des processus encore mal connus.

Émergence des outils arithmétiques

Les travaux portant sur le bébé et le jeune enfant ont montré que, très tôt, les humains disposent d'une compréhension intuitive des transformations affectant les quantités : ajouts et retraits, parfois hâtivement assimilés à des

additions et soustractions simples (Wynn, 1992). Cette conception n'est toutefois pas acceptée par tous. En revanche, il est clair que dès 5 ans, et avant tout enseignement formel, beaucoup d'enfants de diverses cultures résolvent des problèmes arithmétiques simples (ajouts et retraits de quantités correspondant à des nombres à 1 chiffre) à l'aide du comptage (Siegler et Jenkins, 1989). Les stratégies utilisées par les jeunes enfants dérivent de leur habileté préexistante à dénombrer des collections. Bien qu'il existe des différences liées à la culture (Saxe, 1982), et même au sexe dans les stratégies utilisées, il existe d'importantes ressemblances dans le développement de l'arithmétique chez l'enfant (Geary, 1994).

Opérations simples

Pour résoudre les additions simples comme 4+3, les enfants disposent de cinq classes générales de stratégies : l'utilisation d'objets, le comptage sur les doigts, le comptage verbal, les décompositions et enfin la récupération directe en mémoire du résultat (Carpenter et Moser, 1983 ; Siegler, 1987). Les mêmes classes de stratégies sont observées pour les soustractions, auxquelles s'en ajoute une autre faisant appel à l'addition indirecte correspondante (exemple : 3+?=7 pour résoudre 7-3 ; Baroody, 1984).

En ce qui concerne les additions simples, Fuson (1982) a montré que les enfants, dès l'âge de 3 ans, peuvent utiliser des objets pour répondre à des questions telles que « combien font 3 gâteaux et 2 gâteaux ? » en matérialisant chaque nombre à additionner par une collection d'objets et en dénombrant la collection résultante à l'aide du pointage manuel. Cependant, les enfants de 4 et 5 ans utilisent plus fréquemment le comptage sur les doigts ou le comptage verbal pour résoudre les additions simples (Siegler et Shrager, 1984).

La transition du comptage sur les doigts au comptage verbal est progressive et dépend principalement de la capacité de l'enfant à contrôler mentalement le déroulement du calcul et à conserver une trace de ce qui a déjà été et de ce qui reste à compter. En ce qui concerne les stratégies verbales, les enfants d'école maternelle semblent utiliser le plus fréquemment les stratégies « tout compter » et « surcompter ». La première consiste à compter les deux nombres en partant de 1 : 3 + 4 est résolu en comptant 1, 2, 3, puis en poursuivant par un nombre de pas équivalent au second opérande : 4, 5, 6, 7. La seconde consiste à débuter directement le comptage à partir du premier opérande : 3, 4, 5, 6, 7. La stratégie de comptage verbal la plus sophistiquée et privilégiée dès la première année de primaire aboutit à compter non plus à partir du premier mais à partir du plus grand des deux nombres (stratégie dite du Min pour minimum, Groen et Parkman, 1972). Cette stratégie semble être « inventée » par les enfants et ne pas leur être enseignée.

Des procédures équivalentes sont relevées avec les soustractions. Dès 4 ou 5 ans, beaucoup d'enfants sont capables de résoudre des soustractions

simples à l'aide de matériel manipulable. Trois stratégies principales ont été décrites (Carpenter et Moser, 1984) : « séparer de », consiste, pour calculer 5-3, à ôter 3 objets d'un ensemble de 5 et à dénombrer le résidu ; « ajouter à partir de », consiste à placer 3 objets, puis à ajouter des objets jusqu'à obtention d'un ensemble de 5. Le nombre d'objets ajoutés constitue le résultat ; « apparier », consiste à placer deux ensembles de 5 et 3 objets en correspondance terme à terme et à dénombrer les objets restant isolés.

Même chez de jeunes enfants, la sélection de la procédure de résolution dépend du problème posé. Par exemple, la question « Jean a 5 billes, il en donne 3 à Luc, combien lui en reste-t-il ? » sera préférentiellement résolue par une stratégie « séparer de », alors que le problème « Jean a 5 billes, Luc a 3 billes, combien Jean a-t-il de billes de plus que Luc » le sera par mise en correspondance des deux ensembles (apparier) (Carpenter et Moser, 1983 ; Riley et coll., 1983 ; De Corte et Verschaffel, 1987 ; Fayol, 1991 pour une synthèse). Cette flexibilité suggère que l'arithmétique intuitive des enfants de l'école maternelle repose en partie sur une représentation analogique des situations problèmes qu'ils ont à résoudre. Le comptage sur les doigts ou le comptage verbal simulent au moins initialement ces stratégies élémentaires.

Ces stratégies ne sont pas enseignées aux enfants mais découvertes par eux (Siegler et Jenkins, 1989). À son entrée à l'école primaire, l'enfant a déjà une longue expérience de la pratique de l'addition et a développé diverses stratégies. De toutes celles-ci, la plus rapide et la plus sûre est la récupération directe du résultat en mémoire. Rarement enseignée avec l'addition ou la soustraction, l'utilisation récursive des procédures de comptage pour résoudre un même problème conduirait à une association en mémoire à long terme du problème avec le résultat. Lorsque cette association est suffisamment forte, le résultat serait directement activé par la présentation des opérandes et récupéré en mémoire (Ashcraft, 1992). Cependant, la récupération de ces faits numériques semble plus fréquente pour l'addition que pour la soustraction qui demeurerait principalement résolue par des procédures de comptage.

À l'inverse de ce qui a été observé pour les additions et soustractions, il ne semble pas exister de développement spontané de procédures de comptage pour les multiplications et divisions chez les enfants d'âge préscolaire. Ceci est probablement lié au fait qu'il n'existe pas pour la multiplication (et a fortiori pour la division) d'algorithme élémentaire de calcul suffisamment fiable et rapide (Roussel et coll., 2002). Les multiplications simples semblent principalement acquises par apprentissage par cœur des tables (Geary, 1994), et les résultats récupérés directement en mémoire, ce qui pose un double problème. Le premier a trait à la mémorisation des associations entre opérandes et résultats (Lemaire et coll., 1994) ; le second concerne la récupération du seul résultat associé à une paire donnée d'opérandes alors même que cette paire est parfois reliée à plusieurs résultats (Campbell, 1987 ; Lemaire et coll., 1996 ; Barrouillet et coll., 1997). La division a été la

moins étudiée des quatre opérations. Les enfants semblent utiliser deux stratégies principales de résolution. La première consiste en une récupération des faits multiplicatifs associés (Campbell, 1997). La seconde s'appuie sur l'addition récursive du diviseur jusqu'à atteinte du dividende.

Opérations complexes

Les opérations complexes sont celles qui portent sur des nombres à plusieurs chiffres et dont la résolution passe habituellement par des algorithmes de calcul reposant sur la notation positionnelle. Les recherches dans ce domaine sont rares (Charness et Campbell, 1988). La plupart des études se sont limitées à la description des erreurs les plus fréquemment commises par les enfants dans l'utilisation de la retenue, erreurs souvent appelées *bugs* (VanLehn, 1990). Des recherches supplémentaires sont nécessaires pour identifier avec précision les difficultés que rencontrent les enfants, les déterminants de ces difficultés et les moyens d'y remédier.

Modèles développementaux

Les premiers modèles concevaient le développement de l'arithmétique comme une succession de stades caractérisés chacun par un type de stratégie. Par exemple, le *Min model* de Groen et Parkman (1972) postulait que les jeunes enfants utilisent la stratégie « tout compter », que les enfants de 6 et 7 ans utilisent la stratégie Min et que les enfants plus âgés et les adultes utilisent la stratégie de récupération directe du résultat en mémoire. Cette conception est aujourd'hui abandonnée au profit de la conception de Siegler. Selon Siegler (1996), les enfants disposent à tous les âges d'un éventail de stratégies, même pour résoudre les problèmes en apparence les plus simples. Le problème se pose alors de savoir comment est sélectionnée une stratégie particulière pour un problème donné. Selon Siegler (1996), le choix des stratégies s'accompagne de cinq phénomènes fondamentaux : la variabilité, la flexibilité adaptative, le changement, les différences individuelles, et enfin la généralisation. La variabilité renvoie au fait que les individus utilisent une variété de stratégies, même pour résoudre un même problème. Ce choix de stratégie est adaptatif : les individus tendent à utiliser la stratégie la plus efficace et la moins coûteuse pour un problème donné (Siegler et Shrager, 1984). Le changement se traduit par le fait qu'au cours du développement, de nouvelles stratégies sont acquises, la fréquence d'utilisation des stratégies antérieures se modifie, celles qui se maintiennent deviennent toujours plus précises et rapides et enfin, la pertinence des choix de stratégies disponibles s'améliore (Siegler et Jenkins, 1989). Les différences interindividuelles sont par ailleurs considérables (Siegler, 1988). Enfin, le choix d'une stratégie nécessite que les leçons tirées des expériences passées soient généralisées aux problèmes et situations nouvelles (Siegler et Shipley, 1995). Ce choix n'est

pas systématiquement déterminé par l'utilisation consciente et délibérée de connaissances dites métacognitives. Il dépendrait de la force d'association entre le problème à résoudre et les diverses réponses préalablement produites par le système, ainsi que d'informations stockées et automatiquement traitées sur la précision, la vitesse et le coût de mise en œuvre de chaque stratégie pour un problème donné. Ces informations seraient acquises à l'aide de processus associatifs élémentaires mis en œuvre lors des expériences passées (Siegler et Shrager, 1984 ; Siegler et Shipley, 1995).

Performance experte

Les modèles disponibles considèrent plus ou moins explicitement que le développement conduit à l'utilisation d'une stratégie unique de récupération des résultats en mémoire, pour l'addition comme pour la multiplication. Or de nombreuses données conduisent à nuancer ce point de vue. Par exemple, Lefevre et coll. (1996) rapportent que les adultes résolvent 30 % des additions simples par des procédures algorithmiques de calcul. En outre, les stratégies utilisées par les enfants dépendent fortement de l'environnement pédagogique et culturel et le recours systématique à la récupération en mémoire d'un apprentissage systématique des tables. Ainsi, Geary (1996) rapporte que les enfants chinois de CE2 sont extrêmement plus rapides que leurs homologues américains pour résoudre les additions. Cette différence de vitesse et d'exactitude entre enfants asiatiques et nord-américains tient autant aux pratiques scolaires qu'aux différences culturelles dans l'importance que les parents accordent aux acquisitions arithmétiques et à l'attention qu'ils portent aux progrès de leurs enfants (Campbell et Xue, 2001).

Enfin, les stratégies utilisées par les enfants dépendent à la fois de l'environnement pédagogique et de la compréhension qu'ils ont des concepts qui sous-tendent les procédures. La découverte par les jeunes enfants des procédures algorithmiques pour les additions simples ainsi que la maîtrise des algorithmes de résolution des opérations complexes par les élèves de l'école primaire sont largement déterminées par leurs connaissances conceptuelles sur les nombres, la notation positionnelle ou encore le sens et la nature des opérations (Fuson, 1990). Nous avons déjà mentionné la supériorité des enfants asiatiques sur les enfants nord-américains, mais aussi européens dans le domaine de l'arithmétique. Fuson et Kwon (1992) observaient que pratiquement tous les enfants coréens de cours élémentaire, dont les performances en résolution d'opérations sont excellentes, maîtrisaient aussi correctement la notation positionnelle, comprenaient l'organisation en base 10 des nombres, et étaient capables d'expliquer les procédures efficaces. Ces connaissances conceptuelles ont été observées dans d'autres pays asiatiques (Stevenson et Stigler, 1992). Parallèlement, les faibles performances des enfants nord-américains en résolution d'opérations s'accompagnent en réalité d'une fréquente incompréhension de la notation positionnelle

(Fuson, 1990). Les connaissances procédurales et conceptuelles semblent ainsi étroitement liées. Dans une étude longitudinale du CP au CM1, Hiebert et Wearne (1996) ont montré que les enfants qui avaient la compréhension la mieux développée au mois de décembre de l'année de CP étaient ceux qui présentaient les habiletés procédurales les plus solides au CM1.

L'évolution des stratégies de résolution des opérations met en évidence le rôle primordial que joue le langage dans la cognition numérique de l'être humain. Au départ verbales et gestuelles, ces stratégies évoluent vers de simples systèmes d'exploitation de la chaîne numérique verbale culminant dans la récupération d'informations en mémoire. Ainsi, les habiletés arithmétiques entretiennent des rapports étroits avec le langage, rapports dont l'analyse constitue le contenu de la partie suivante.

Langage et mathématiques

Dans la vie courante, la pratique des activités numériques est tellement associée à l'utilisation du langage que l'une et l'autre paraissent indissociables. Or, les données issues de la psychologie comparative, de la pathologie et de la psychologie du développement montrent que la relation entre langage et activités numériques est moins étroite qu'on ne le pense intuitivement. Ce constat oblige à reconsidérer le rôle du langage : intervient-il ? Si oui, quand ? Comment ? À propos de quelles activités (par exemple le comptage, le dénombrement, la résolution des opérations) ?

Relations complexes entre nombre et langage

Les nouveau-nés, les enfants d'âge scolaire et les adultes semblent disposer d'une capacité primitive et précoce d'évaluation approximative des quantités. Cette capacité étant préverbale, le problème se pose des relations qu'elle entretient avec les systèmes verbaux. Les descriptions de doubles dissociations (Butterworth, 1999) suggèrent que les capacités numériques peuvent être spécifiquement affectées par un trouble sans que les capacités langagières le soient, et inversement. Ce constat est un argument fort en faveur de l'indépendance de ces deux capacités (Dehaene et Cohen, 2000).

Le langage n'apparaît plus comme le médium supportant nécessairement les traitements numériques et autorisant seul les traitements arithmétiques. Il faut donc s'interroger sur l'éventuel impact du langage sur la réalisation des activités arithmétiques. Certaines thèses postulent l'existence d'une représentation amodale (McCloskey, 1992) alors que d'autres considèrent que le langage est le mode privilégié de représentation des nombres (Brysbaert et coll., 1998). Il existe indéniablement des relations entre activités arithmétiques et activités langagières. La difficulté tient à la délimitation

et à la détermination de ces relations (Campbell, 1994a et b ; Brysbaert et coll., 1998 ; Spelke et Tsivkin, 2001).

Évolution des relations entre nombre et langage

L'existence de capacités précoces d'évaluation des quantités a laissé penser que l'acquisition des premiers nombres devrait être rapide et facile. Il s'agirait d'établir des associations simples entre des étiquettes verbales et des quantités petites et peu nombreuses (par exemple, un, deux et trois) qui sont très tôt discriminées. En fait, l'acquisition de la signification cardinale des noms de nombres soulève deux problèmes, qui ont été largement sous-estimés (Fayol, 2002). Le premier concerne le caractère abstrait du codage de l'accroissement des quantités par les dénominations (English et Halford, 1995) : l'ordre des noms de nombre code de manière conventionnelle l'accroissement des quantités. Le second a trait au caractère catégoriel de l'emploi des termes du lexique des nombres (Mix, 1999) : les enfants doivent acquérir la capacité à évoquer mentalement les quantités à partir des dénominations et cela indépendamment des caractéristiques concrètes des entités qui sont concernées. Ces deux dimensions soulèvent chacune des problèmes spécifiques, qui existent dans toutes les langues, comme l'atteste la lenteur équivalente de l'acquisition des premiers nombres (de un à dix) dans les cultures orientales et occidentales (Miller et Paredes, 1996).

Les comparaisons inter-langues attestent que les enfants asiatiques (Chine, Corée, Japon…) obtiennent des performances supérieures aux enfants occidentaux dans des épreuves d'arithmétique, même avant que l'école n'intervienne sur l'apprentissage (Wang et Lin, 2005). Cette supériorité paraît tenir au moins en partie au fait que le Chinois comme le Coréen et les autres langues de cette partie du monde présentent un système régulier (et décimal) de dénomination verbale des nombres entre dix et cent. Ceux-ci (exemple : trente-sept) sont élaborés en énonçant successivement le nombre de dizaines (exemple : trois dix) et le nombre d'unités (exemple : sept), soit « trois dix sept ». Cette organisation facilite l'acquisition et l'uti-lisation de la suite verbale des noms de nombres. La structure de la suite verbale dans les langues occidentales contraint les enfants en général, et les Français en particulier, à un apprentissage par cœur qui entraîne un retard croissant par rapport aux jeunes asiatiques. De plus, pour ce qui concerne plus spécifiquement les jeunes Français, les irrégularités de construction de soixante-dix, quatre-vingts et quatre-vingt dix ajoutent de nouvelles difficultés qui se traduisent par des erreurs et des retards supplémentaires dans l'apprentissage (Fayol et coll., 2000). Toutefois, ce retard pourrait n'être que verbal et n'avoir aucune incidence sur la représentation et le traitement des quantités.

Une question fondamentale consiste à chercher à déterminer si les variations langagières influent sur les performances lors des activités arithmé-

tiques. Il semble que ce soit le cas relativement à la résolution d'opérations arithmétiques simples (exemple : l'addition ou la multiplication). Ces opérations se résolvent soit en recourant à une procédure (exemple : pour m+n ajouter n fois un à m) soit en retrouvant en mémoire une association entre un couple d'opérandes et un résultat (3 x 2 = 6). Une question importante a trait à l'éventuel impact de la forme des éléments de la suite numérique sur la compréhension de la structure décimale des nombres et sur l'impact de celle-ci relativement à la résolution des opérations. Certaines caractéristiques du langage facilitent (Ho et Fuson, 1998) ou, au contraire, rendent plus difficile (Levine et coll., 1992) la résolution d'opérations simples. Par exemple, la structure des dénominations aide à décomposer ou recomposer des sommes ou des différences : la vérification de l'opération « VI = 5 + 1 » est plus rapide que celle de « VI = 3 + 3 » (Noël et Seron, 1997). La difficulté est de déterminer s'il s'agit de dimensions centrales, ayant trait à la qualité des représentations, ou de dimensions périphériques liées aux traitements des formats d'entrée et de sortie (Miller et Zhu, 1990).

Les faits arithmétiques, quant à eux, renvoient aux problèmes (additions, soustractions, multiplications) dont la solution ne requiert pas le recours à des processus de calcul. Le débat relatif au format, amodal ou modal, de stockage et de récupération des faits arithmétiques reste ouvert. Certaines thèses suggèrent un stockage indépendant de la modalité (McCloskey, 1992), d'autres défendent l'idée d'un format verbal unique de stockage des tables de multiplication et de quelques additions sous forme d'associations verbales (Dehaene et Cohen, 2000). Les dissociations décrites, les corrélations entre troubles du langage et troubles des faits arithmétiques mais aussi la mise en évidence d'effets d'amorçage constituent autant d'arguments en faveur d'un codage verbal des faits arithmétiques chez les adultes. À ces données s'en ajoutent d'autres ayant trait aux performances des enfants. La forme des mots-nombres influe sur leur vitesse de prononciation, laquelle détermine l'empan de la mémoire de travail (Ellis, 1992). Le langage peut ainsi avoir un effet indirect sur la cognition arithmétique. Les langues dans lesquelles la vitesse d'articulation des noms de nombres est très élevée permettent de disposer de capacités plus importantes de mémoire de travail et, donc, à la fois, d'utiliser des procédures de résolution plus coûteuses (Ellis, 1992) et de mémoriser plus facilement les associations entre opérandes et résultats. À terme, la représentation des faits arithmétiques et les processus de traitement s'en trouvent affectés et diffèrent d'une communauté linguistique à l'autre (Campbell, 1994a et b).

Différences linguistiques et transcodage

Les problèmes liés au transcodage et à la compréhension de la notation positionnelle chez les enfants de nos écoles paraissent liés aux problèmes

linguistiques générés par certaines spécificités du français. La faible transparence de la base dix dans les langues occidentales influe négativement sur l'apprentissage de la numération écrite. Cette dernière ne comporte qu'un nombre limité de chiffres (10 : de 0 à 9) et recourt à la notation positionnelle pour coder les puissances de 10. En conséquence, plus la correspondance oral/écrit est régulière comme en Chinois (*shi yi*=dix un=11 ; *er shi san*=deux dix trois=23), Coréen ou Japonais, plus l'acquisition de la numération écrite est facile et rapide (Miura et coll., 1994). La mise en évidence de difficultés d'apprentissage du code indo-arabe en relation avec la structure des dénominations verbales dans la langue maternelle pose le problème de leur influence à plus long terme (Fayol et coll., 1996).

L'absence de transparence des systèmes verbaux occidentaux rend plus tardive et plus complexe la maîtrise du système par comparaison avec les performances des enfants d'Asie de sud-est. Cependant, une fois automatisées, les associations entre cardinalités et dénominations ou combinaisons, les problèmes disparaissent ou deviennent négligeables, sauf peut-être en France où l'utilisation de dizaines complexes pour 70, 80 et 90 rend problématique l'acquisition et continue à produire des effets négatifs encore en troisième primaire (Seron et Fayol, 1994), et même chez les adolescents en difficulté scolaire (Barrouillet et coll., 2004).

Les recherches conduites auprès d'enfants présentant des troubles du langage mettent en évidence que leurs performances sont relativement bonnes lorsqu'elles portent sur des données numériques en chiffres arabes (Donlan et Gourlay, 1999). Ces enfants manifestent le classique effet de distance symbolique lorsqu'ils doivent comparer des quantités exprimées soit sous forme analogique (dessins d'objets ou collections de jetons) soit en chiffres arabes. Ces données suggèrent que les tâches de jugement symbolique font appel à des représentations non verbales et sont traitées sans recodage verbal (Fazio, 1996). En revanche, les recherches conduites auprès des enfants sourds ont révélé que ces derniers présentent des difficultés en mathématiques dont les causes semblent, paradoxalement, difficiles à identifier.

Mathématiques chez l'enfant sourd

Une des causes possibles des faibles performances des enfants sourds serait leurs difficultés en lecture. En effet, lorsque les tests requièrent beaucoup de lecture, les performances en mathématiques sont corrélées avec la compréhension en lecture (Pau, 1995). De plus, de nombreux termes spatiaux sont utilisés en mathématiques. Ces termes représentent une difficulté particulière pour les enfants sourds (Durkin et Shire, 1991). Il en va de même de ceux qui induisent des confusions entre les mots-nombres (par exemple en anglais, entre « *eighteen* » et « *eighty* ») principalement dues à la similarité phonologique (Secada, 1984). Enfin, les enfants sourds, comme tous les enfants ayant des troubles du langage, ont des difficultés particulières avec

les connecteurs logiques comme « si », « parce que » et même avec des quantificateurs comme « quelques » ou « la plupart ».

Si les difficultés en lecture des enfants sourds peuvent donc être une cause de leurs moindres performances en mathématiques, elles ne permettent néanmoins pas d'expliquer leurs faibles performances dans des tâches ne demandant pas de lecture comme les tâches de conservation (Watts, 1982) ou la Tour de Hanoï (Luckner et McNeill, 1994). De plus, le degré de perte auditive n'a que très peu d'impact sur les scores aux tests mathématiques (Wood et coll., 1983). D'autres facteurs que les capacités langagières ont donc été avancés pour expliquer leurs moindres performances. Kohen-Raz et Masalha (1988) montrent, par exemple, que des facteurs non-verbaux tels que certaines habiletés motrices peuvent être impliqués dans les difficultés des enfants sourds. Ces facteurs sont éventuellement liés aux dysfonctionnements neurologiques que l'on trouve dans la population sourde (Kaga et coll., 1981). Une autre hypothèse suggère que ce n'est pas la surdité en elle-même qui cause les difficultés en mathématiques mais que c'est le manque d'information et la moindre opportunité d'apprentissages « accidentels » (par exemple grâce aux chansons ou émissions enfantines) dont elle est la cause qui entraînent un moins bon apprentissage (Rapin, 1986).

En résumé, les rapports entre langage et nombre ne sont pas aussi étroits et directs que l'évolution des habiletés numériques chez l'enfant pourrait le laisser penser. Cette relative indépendance renforce l'hypothèse que les systèmes verbaux viennent se greffer sur les systèmes analogiques, antérieurs sur les plans phylo- et ontogénétique, décrits chez l'animal et le bébé. Ces systèmes verbaux, dont le principe initial consiste à affecter une étiquette verbale unique à chaque numérosité, limitent l'usage spontané du nombre aux entiers naturels, comme le montre bien l'étude des tribus d'Amazonie. C'est sans doute la raison pour laquelle l'introduction des fractions et des décimaux pose de tels problèmes aux enfants de l'école primaire.

Décimaux et fractions

Bolon (1993) rapporte une étude menée auprès de 135 élèves de 6e qui révèle que 65 % des enfants ne savent pas placer 9/4 sur une droite graduée de 0 à 9 (voir aussi Perrin-Glorian, 1986). Plus de la moitié des enfants ont des difficultés avec les produits, l'écriture fractionnaire d'un décimal, l'écriture décimale d'une fraction, les approximations. Ces difficultés sont loin d'être résolues au lycée. Les erreurs observées ne sont pas aléatoires. Elles sont reproductibles et persistantes, probablement dues à des représentations et conceptions erronées qui font ensuite obstacle à la suite de l'apprentissage des décimaux et des fractions.

Décimaux

Brousseau (1983) distingue trois origines différentes pour les obstacles didactiques : ceux d'origine ontogénique qui surviennent du fait des limitations de l'enfant à un moment de son développement ; ceux d'origine didactique qui semblent ne dépendre que d'un choix ou d'un projet du système éducatif ; ceux d'origine épistémologique qui sont constitutifs de la connaissance visée. On retrouve parfois ces derniers dans l'histoire des concepts eux-mêmes, et il est illusoire de vouloir y échapper.

Associer les décimaux à des mesures et les séparer du monde des fractions a créé un certain nombre d'obstacles didactiques qui provoquent des erreurs caractéristiques telles que penser que 8,35 est plus petit que 8,257 puisque 35 est plus petit que 257 (Comiti et Neyret, 1979), ou qui permettent des écritures ambiguës comme 1,850 kg=1 850 g, ce qui n'est vrai que si le nombre reste étroitement associé à l'unité de mesure. De là différentes tentatives et propositions visant à rapprocher décimaux et fractions (Comiti et Neyret, 1979 ; Brousseau, 1983).

Fractions

Les enfants paraissent disposer d'une représentation naïve très précoce des fractions (Mix et coll., 1999 ; Gallistel et Gelman, 1992) et ont de nombreuses occasions de les manipuler dans leur vie quotidienne (situation de partage). Malgré cela, l'apprentissage des fractions se révèle très difficile pour la plupart d'entre eux (Clements et Del Campo, 1990). Diverses raisons ont été émises afin d'expliquer ces difficultés. Tout d'abord, les toutes premières connaissances acquises par les enfants au sujet des fractions reposent quasi-exclusivement sur les situations de partage (Watson et coll., 1999). Cette conception des fractions comme « la partie d'un tout » empêche de les considérer comme des nombres. Une deuxième source possible de difficultés serait l'association faite par les enfants entre les fractions et des objets concrets, comme pour l'apprentissage des nombres entiers. Le fait que les fractions évoquent une représentation concrète rend l'idée même d'opérations sur les fractions difficilement concevable. Toutefois, certains auteurs préconisent de conserver le lien existant entre les fractions et leurs diverses représentations concrètes. Ce serait en multipliant les représentations concrètes associées à chaque fraction que les enfants pourraient abstraire le concept de fraction (Streefland, 1997).

En résumé, les difficultés rencontrées par les enfants dans l'apprentissage des fractions peuvent être attribuées à la prédominance d'un modèle inapproprié, à l'utilisation de représentations concrètes, à la difficulté de concevoir les fractions comme des nombres, à l'application sans réelle compréhension de procédures calculatoires, sans qu'on puisse déterminer les poids respectifs de chacun de ces facteurs.

Résolution de problèmes

La résolution de problème demeure l'activité dans laquelle les élèves rencontrent le plus de difficultés, comme l'indiquent toutes les études internationales (Fayol et coll., 1997). Ainsi, les processus cognitifs sous-tendant la résolution de problèmes font-ils l'objet de nombreuses études en psychologie. De même, la formulation et le contexte de présentation des problèmes, l'impact qu'ils ont sur les performances et les progrès des élèves sont au cœur des préoccupations des spécialistes de la didactique et de l'éducation.

Problèmes verbaux : le point de vue cognitif

Tous les chercheurs s'accordent pour admettre qu'il existe différents types de problèmes additifs et pour considérer que ces grandes catégories ne sont pas réductibles à l'opération mise en jeu (Fayol, 1991). Pour résoudre un problème arithmétique à énoncé verbal, les sujets doivent posséder des connaissances conceptuelles relatives aux accroissements, diminutions, combinaisons et comparaisons. C'est sur cette base que les taxonomies ont été construites. La classification la plus connue (Riley et coll., 1983) distingue trois grands ensembles de problèmes. En premier lieu, les problèmes de changement impliquent tous au moins une transformation temporelle appliquée à un état initial et aboutissant à un état final. La seconde catégorie correspond aux problèmes de type combinaison qui concernent des situations statiques (par exemple, Marc a 5 billes, Luc a 3 billes, combien ont-ils de billes ensemble ?). Une troisième catégorie regroupe les problèmes de comparaison dans lesquels il s'agit également de comparer des situations statiques à l'aide de formulations du type « plus de / moins de ». La validité écologique de cette classification a été attestée car d'une part, des problèmes du même type donnent lieu à des réussites décalées dans le temps (par exemple, les problèmes de comparaison et les problèmes à états initiaux inconnus sont les plus tardivement réussis). D'autre part, des types de problèmes différents donnent lieu à des taux de réussite différents chez des sujets de même âge ou de même niveau scolaire. La classification précédente repose sur les concepts d'accroissement, de diminution, combinaison et comparaison. La seule classification purement conceptuelle provient de Vergnaud (1982), qui a isolé 6 catégories de relations en fonction de trois types de concepts principaux : la mesure, les transformations temporelles et les relations statiques.

Plus que l'opération à effectuer, la sémantique et la structure du problème déterminent pour une large part les performances et les stratégies des sujets. En effet, ces facteurs déterminent la forme, la nature et la difficulté de construction de la représentation. Pour comprendre un problème, il faut s'en construire une représentation soit par particularisation d'un schéma soit par construction d'une représentation de situation (Richard, 1990).

Un schéma est un ensemble de connaissances abstraites qui peuvent être définies comme les traces laissées en mémoire par les situations rencontrées précédemment et organisées en objet structuré ayant un certain nombre de propriétés caractéristiques (Schank et Abelson, 1977 ; Kintsch et Greeno, 1985). Ainsi, le sujet extrairait les caractéristiques invariantes de chaque catégorie de problème et constituerait ainsi des cadres correspondant à leur structure. Ces cadres, disponibles en mémoire à long terme, comporteraient un certain nombre de places vides (ou variables) qui seraient remplies (instanciées) par des informations spécifiques (des objets) fournies par l'énoncé. Ainsi, le sujet sélectionnerait le schéma correspondant à l'organisation relationnelle des données et mettrait en œuvre les procédures pertinentes. Le problème est alors résolu. Cette conception rend compte du fait que certains problèmes sont plus difficiles à résoudre que d'autres du fait qu'ils correspondent directement ou non à des schémas utilisables (Kintsch et Greeno, 1985). Elle permet également d'expliquer l'effet facilitateur du placement de la question en tête d'un énoncé arithmétique (Devidal et coll., 1997).

En l'absence de schéma disponible en mémoire à long terme, les sujets sont obligés de construire en mémoire de travail une représentation *ad hoc* de la situation problème dite modèle de situation (Kintsch, 1979) ou modèle mental (Johnson-Laird, 1983). Cette représentation conserve les relations entretenues entre les divers éléments qu'elle intériorise (Van Dijk et Kintsch, 1983). Ainsi, les aides à la construction d'une représentation adéquate, soit en fournissant du matériel concret (Jaspers et Van Lieshout, 1994a et b), soit en enseignant à représenter sur des diagrammes les relations entre les différentes quantités du problème (Willis et Fuson, 1988), améliorent les performances.

La théorie des schémas et celle des modèles de situation ou modèles mentaux fournissent donc une interprétation des changements de performances en fonction des caractéristiques sémantiques des énoncés de problèmes (Thévenot et coll., 2004). Cependant, ces performances ne dépendent pas exclusivement des caractéristiques des énoncés mais peuvent être dépendantes de caractéristiques inhérentes aux individus confrontés aux problèmes. En effet, une grande partie de la variance observée en résolution de problèmes verbaux est attribuable aux capacités de compréhension du texte (De Corte et Verschaffel, 1985 ; Cummins et coll., 1988). De même, comme cela a été montré pour la résolution d'opérations simples, les difficultés en résolution de problèmes semblent liées à des déficits en mémoire de travail (Swanson, 1994 ; Passolunghi et Siegel, 2001).

Il est également impossible de négliger la situation dans laquelle est plongé l'élève : dans une classe, avec un instituteur, à l'école. Certains auteurs (De Corte et Verschaffel, 1985) ont montré que la connaissance d'un schéma général, représentation de ce qu'est un texte de problème à l'école, était indispensable pour mener à bien la résolution. D'autres auteurs

(Carpenter et coll., 1983), en examinant les caractéristiques des énoncés et les objectifs des enseignants, ont expliqué comment ce schéma pouvait se construire, puis parfois devenir une caricature de lui-même. C'est cette caricature qui explique l'apparition de comportements détachés du monde réel et de tout bon sens.

De Corte et Verschaffel (1985) ont suggéré qu'une partie des erreurs observées était imputable à l'absence d'un *Word Problem Schema*, ou WPS. Ce schéma, formel et général, pilote la lecture de l'énoncé. Il est surordonné par rapport aux schémas sémantiques et relationnels évoqués plus haut et met en œuvre des processus d'interprétation pragmatiques qui s'ajoutent aux processus d'interprétation sémantique. Il engage des connaissances concernant la structure, le rôle, et les objectifs « du » problème arithmétique en général, tel qu'il est habituellement proposé à l'école. De Corte et Verschaffel (1985), mais aussi Brissiaud (1988), ou encore Coquin-Viennot (1996 et 2000) ont montré que le WPS, absent au début de la première année d'école, semble acquis par une majorité d'élèves vers 8 ans. Il est mobilisé sur la base du contexte (classe de mathématique) et du type de texte. Les connaissances pragmatiques sont rendues nécessaires par la nature stéréotypée des problèmes scolaires qui s'opposent aux problèmes quantitatifs de la vie réelle (Nesher, 1980). La raison de cet écart tiendrait à ce que les problèmes de l'école servent à enseigner l'arithmétique appliquée et non à résoudre des questions de la vie réelle. Les deux sont associés à des registres différents, sans correspondance (Gerofsky, 1996).

Il est facile de faire apparaître des erreurs qui manifestent les conceptions des élèves, (Brousseau, 1983 et 1990 ; Carpenter et coll., 1983). Les réponses absurdes seraient attribuables au caractère stéréotypé de la plupart des problèmes à énoncés verbaux, celui-ci résultant du *classroom climate*, autrement dit au contrat didactique résultant de l'objectif poursuivi par le maître (Gravemeijer, 1997). Verschaffel et coll. (1997) ont montré que l'attitude de déconnexion de la réalité s'observe chez des étudiants d'instituts de formation des maîtres dans les Flandres au même titre que chez les élèves. Il n'est, dans ces conditions, pas surprenant que le phénomène perdure en classe.

En conclusion, quatre remarques principales semblent pouvoir être dégagées, lesquelles indiquent en retour quatre directions possibles d'investigation à court et moyen terme.

Premièrement, il ne fait plus de doute que les êtres humains disposent dès la naissance, ou très précocement, d'habiletés proto-numériques qui orientent le comportement des jeunes enfants dans les situations dont les aspects quantitatifs sont pertinents. Apparemment héritées de l'évolution et présentes chez d'autres espèces, ces capacités iraient au-delà d'un sens naturel et fondamental du nombre et de la quantité et incluraient une compréhension intuitive de l'arithmétique simple, notamment la perception et

la manipulation approximative des quantités. Ces représentations intuitives constitueraient une base sur laquelle fonder les premiers apprentissages (Fayol et Seron, 2005).

Deuxièmement, nous disposons de connaissances relativement précises de l'évolution des performances des enfants entre 3 et 7-8 ans. Même si certains aspects mériteraient d'être éclaircis, par exemple les processus qui permettent l'émergence de nouvelles stratégies, tout ou presque semble avoir été dit sur l'acquisition de la chaîne numérique verbale, son réinvestissement dans les procédures de quantification, et l'impact qu'ont ces dernières sur la création spontanée de stratégies permettant de résoudre les situations simples d'addition et de soustraction. Ces habiletés sur lesquelles nous avons le plus de connaissances sont aussi celles qui posent le moins de problèmes, comme l'apprentissage des algorithmes élémentaires de calcul des additions ou des soustractions simples (à un chiffre) (Fayol et coll., 1997). Les données disponibles permettent d'établir des trajectoires de développement et, donc, d'évaluer la relative conformité des performances d'un enfant en référence à celles de ses pairs. Ce qui a conduit à l'élaboration récente de plusieurs tests (Tedi-Math, Numerical).

Troisièmement, les rapports entre langage et arithmétique sont relativement bien étudiés et connus. Les recherches ont permis de dresser un panorama des différences interculturelles dues aux spécificités des diverses langues et de collecter des données relatives aux troubles qui résultent des difficultés de langage. Sans constituer un obstacle insurmontable, l'opacité des langues européennes, et plus particulièrement du français qui y ajoute la difficulté des dizaines complexes, contribue aux différences internationales qui sont systématiquement en faveur des pays asiatiques. Même si ces différences ne sont pas seulement imputables à la langue, les langues qui rendent transparent le système décimal sont probablement les plus appropriées à l'enseignement de l'arithmétique, notamment lors du passage au format indo-arabe et à la résolution des opérations complexes (par exemple soustractions avec retenues ou divisions). Il reste un domaine à explorer, celui qui a trait aux possibles substitutions de systèmes non verbaux (abaques, système indo-arabe) lors de l'apprentissage, pour des populations présentant des troubles spécifiques du langage.

Quatrièmement, il semble que les difficultés commencent lorsque les habiletés élémentaires, implicitement acquises et mises en œuvre au sein d'une culture donnée, doivent être intégrées et réinvesties dans des habiletés plus complexes comme l'utilisation des décimaux, les opérations sur de grands nombres, la compréhension de l'écriture positionnelle et ses rapports avec la base 10, ou encore la résolution de problèmes, qui demeure le principal écueil auquel se heurtent les enfants de l'école élémentaire. C'est bien dans le passage du nombre intuitif aux mathématiques que se situe la difficulté (Dehaene, 1997). C'est aussi là que nos connaissances sont les plus lacunaires.

Quelques domaines devraient donner lieu à des explorations précises. Le premier concerne les liens entre, d'une part, le système proto-numérique et les intuitions dont nous avons hérité grâce à l'évolution et, d'autre part le système numérique verbal. Les tentatives sont en effet rares qui prennent pour objet d'étude la cognition numérique dans la petite enfance, entre 2 et 4 ans. Il s'agit pourtant d'un moment clef du développement où il devrait être possible de déterminer si l'apprentissage du système numérique verbal s'appuie sur le système proto-numérique préexistant, ou bien s'il s'agit de deux constructions indépendantes qui ne sont qu'ensuite, et difficilement, mises en relation. Il devrait ainsi être possible de déterminer si les approches initiales du nombre doivent ou non s'appuyer sur les intuitions préverbales précoces.

Le deuxième domaine a trait à la résolution des opérations à plusieurs chiffres. Si les opérations à un chiffre et leur résolution ont été très largement étudiées, en revanche on sait peu de chose sur les obstacles auxquels se heurtent les enfants dans l'acquisition des algorithmes complexes qui constituent toujours une part importante des apprentissages scolaires. Rien ou presque n'est connu des processus en jeu dans l'acquisition et la mise en œuvre des algorithmes complexes de la multiplication ou de la division, du rôle qu'y jouent les connaissances conceptuelles ayant trait à la notation positionnelle, ou encore de l'effet en retour que peut avoir l'apprentissage de ces algorithmes sur les connaissances conceptuelles concernant les nombres et leur écriture.

La troisième perspective concerne les difficultés que rencontrent les enfants avec les fractions et les nombres décimaux. Très peu d'informations sont disponibles sur les processus cognitifs qui sous-tendent la compréhension et le traitement de ces nombres. Doivent-ils réellement, comme le suggèrent de nombreux didacticiens, être abordés comme de nouveaux nombres, ou doit-on s'appuyer sur la compréhension intuitive dont semblent disposer les êtres humains pour les nombres entiers ? Est-il réellement possible de les aborder comme des nombres totalement nouveaux lorsque le langage, dont nous avons vu l'importance dans les acquisitions numériques, les traite comme de simples nombres entiers accolés ?

Enfin, la résolution de problème demeure la difficulté majeure à laquelle sont confrontés les enfants. Il est donc nécessaire de développer une meilleure compréhension à la fois des processus cognitifs en jeu dans cette activité et des modalités d'intervention didactiques. Cependant, l'analyse des processus cognitifs est rendue ardue par la complexité de la tâche. En effet, un modèle général de la résolution de problèmes nécessite l'intégration d'un modèle de la compréhension de texte, d'un modèle descriptif et dynamique de la structure des représentations quantifiées qui résultent de cette compréhension, et enfin d'un modèle rendant compte de la mobilisation et de la mise en œuvre des connaissances numériques nécessaires à l'atteinte des buts fournis par ces représentations. L'émergence d'un tel

modèle est rendue d'autant plus difficile que ces trois points sont traités par des domaines de recherche distincts (la compréhension de texte, le raisonnement, l'arithmétique cognitive).

BIBLIOGRAPHIE

ANTELL S, KEATING DP. Perception of numerical invariance in neonates. *Child Development* 1983, **54** : 695-701

ASHCRAFT MH. Cognitive arithmetic: A review of data and theory. *Cognition* 1992, **44** : 75-106

BAROODY AJ. Children's difficulties in subtraction : some causes and questions. *Journal of Research in Mathematics Education* 1984, **15** : 203-213

BARROUILLET P, FAYOL M, LATHULIÈRE E. Selecting between competitors in multiplication tasks: An explanation of the errors produced by adolescents with learning difficulties. *International Journal of Behavioral Development* 1997, **21** : 253-275

BARROUILLET P, CAMOS V, PERRUCHET P, SERON X. ADAPT: A Developmental, Asemantic, and Procedural model for Transcoding from verbal to Arabic numerals. *Psychological Review* 2004, **111** : 368-394

BOLON J. L'enseignement des décimaux à l'école élémentaire. *Grand* 1993, **52** : 49-79

BRANNON EM. What animals know about numbers. *In*: Handbook of mathematical cognition. CAMPBELL JID (ed). Psychology Press, New Yok, 2005

BRISSIAUD R. De l'âge du capitaine à l'âge du berger : quel contrôle de la validité d'un énoncé de problème au CE2 ? *Revue Française de Pédagogie* 1988, **82** : 23-31

BROUSSEAU G. Les obstacles épistémologiques et les problèmes en mathématiques. *Recherches en didactique des mathématiques* 1983, **4** : 165-198

BROUSSEAU G. Le contrat didactique : le milieu. *Recherches en Didactique des Mathématiques* 1990, **9** : 309-336

BRYSBAERT M, FIAS W, NOËL MP. The whorfian hypothesis and numerical cognition: Is twenty four processed in the same way as four and twenty. *Cognition* 1998, **66** : 51-77

BUTTERWORTH B. What counts: How every brain is hardwired for math. The Free Press, New York, NY, 1999

CAMOS V. Le dénombrement : activité complexe à deux composantes. *Rééducation Orthophonique* 1999, **199** : 21-31

CAMPBELL JID. Network interference and mental multiplication. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, & Cognition* 1987, **15** : 349-364

CAMPBELL JID. The role of associative interferencein learniing and retrieving arithmetic facts. *In*: Cognitive processes in mathematics. SLOBODA JA, ROGERS D (eds). Oxford, UK, Clarendon Press, 1994a

CAMPBELL JID. Architecture for numerical cognition. *Cognition* 1994b, **53** : 1-44

CAMPBELL JID. On the relation between skilled performance of simple division and multiplication. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition* 1997, **23** : 1140-1159

CAMPBELL JID, XUE Q. Cognitive arithmetic across cultures. *Journal of Experimental Psychology : General* 2001, **130** : 299-315

CANFIELD RL, SMITH EG. Number-based expectations and sequential enumeration by 5-month-old infants. *Developmental Psychology* 1996, **32** : 269-279

CARPENTER TP, MOSER JM. The acquisition of addition and subtraction concepts. *In* : Acquisition of mathematical concepts and processes. LESCH R, LANDAU M (eds). New York, Academic Press, 1983

CARPENTER TP, MOSER JM. The acquisition of addition and subtraction concepts in grades one through three. *Journal of Research in Mathematics Education* 1984, **15** : 179-202

CARPENTER TP, LINDQUIST M, MATTHEWS W, SILVER EA. Results of the third NAEP mathematics assesment: Secondary School. *MathematicsTeacher* 1983, **76** : 652-659

CHARNESS N, CAMPBELL JID. Acquiring skill at mental calculation in adulthood: A task decomposition. *Journal of Experimental Psychology: General* 1988, **117** : 115-129

CLEMENTS MA, DEL CAMPO G. How natural is fraction knowledge? *In* : Transforming children's mathematics education: International perspectives. STEFFE LP, WOODS T (eds). Hillsdale, NJ, LEA, 1990

COMITI C, NEYRET R. À propos des problèmes rencontrés lors de l'enseignement des décimaux en classe de cours moyen. *Grand N* 1979, **18** : 5-20

COQUIN-VIENNOT D. Lire une image pour produire un énoncé de problème arithmétique. *In* : UCIS'96 (Using Complex Information Systems): Cognitive, ergonomic, educational aspects. ROUET JF, LEVONEN JJ (eds). Poitiers, LACO, CNRS, Université de Poitiers, 1996 : 215-219

COQUIN-VIENNOT D. Lecture d'énoncés de problèmes arithmétiques : effet d'une introduction thématique sur la construction de la représentation. *Archives de Psychologie* 2000, **68** : 41-58

CUMMINS D, KINTSCH W, REUSSER K, WEIMER R. The role of understanding in solving word problems. *Cognitive Psychology* 1988, **20** : 405-438

DE CORTE E, VERSCHAFFEL L. Beginning first graders' initial representation of arithmetic word problems. *Journal of Mathematical Behavior* 1985, **4** : 3-21

DE CORTE E, VERSCHAFFEL L. The effect of semantic structure on first graders' strategies for solving addtion and subtraction word problems. *Journal for Research in Mathematics Education* 1987, **18** : 363-381

DEHAENE S. La bosse des maths. Editions Odile Jacob, Paris, 1997

DEHAENE S, COHEN L. Un modèle anatomique et fonctionnel de l'arithmétique mentale. *In* : Neuropsychologie des troubles du calcul et du traitement des nombres. PESENTI M, SERON X (eds). Solal, Marseille, 2000

DEVIDAL M, FAYOL M, BARROUILLET P. Stratégies de lecture et résolution de problèmes arithmétiques. *L'Année Psychologique* 1997, **97** : 9-31

DONLAN C, GOURLAY S. The importance of non-verbal skills in the acquisition of place-value knowledge: Evidence from normally-developping and language-impaired children. *British Journal of Developmental Psychology* 1999, **17** : 1-19

DURKIN K, SHIRE B. Lexical ambiguity in mathematical contexts. *In*: Language in mathematical education: Research and practice. DURKIN K, SHIRE B (eds). Milton Keynes: Open University Press, 1991

ELLIS N. Linguistic relativity revisited: The bilingual word-length effect in working memory during counting, remembering numbers, and mental calculation. *In*: Cognitive processes in bilingual. HARRIS RJ (ed). Elsevier Publishers, Amsterdam, 1992

ENGLISH LD, HALFORD GS. Mathematics education. L.E.A., Mahwah, NJ, 1995

EVANS JSTBT, OVER DE. Rationality and reasoning. Psychology Press, Hove, UK, 1996

FAINZANG S. Les Sexes et leurs nombres. Sens et fonction du 3 et du 4 dans une société burkinabé. *L'Homme* 1985, **XXV-4** : 97-109

FAYOL M. L'enfant et le nombre. Delachaux & Niestlé, Paris, 1990

FAYOL M. Du nombre à son utilisation: la résolution de problème additifs. *In* : Les chemins du nombre. BIDEAUD J, MELJAC C, FISHER JP (eds). Lille PU 1991. Traduction: Pathways to number. Erlbaum, Hillsdale, NJ, 1992

FAYOL M. Langage et développement de l'apprentissage de l'arithmétique cognitive. *In* : Le développement des activités numériques. BIDEAUD J, LEHALLE H (eds). Hermès, Paris, 2002

FAYOL M, SERON X. On numerical representations. Insights from experimental, neuropsychological, and developmental research. *In* : Handbook of mathematical cognition. CAMPBELL (ed). Academic Press, New York : 2005

FAYOL M, BARROUILLET P, RENAUD A. Pourquoi l'écriture des grands nombres est-elle aussi difficile? *Revue de Psychologie de l'Education* 1996, **1** : 109-132

FAYOL M, BAROUILLET P, CAMOS V. Early mathematics learning: What can reseach tell us ? Direction XXII de la Communauté Européenne, Bruxelles, 1997

FAYOL M, CAMOS V, ROUSSEL JL. Acquisition et mise en oeuvre de la numération par des enfants de 2 à 9 ans. *In* : La neuropsychologie du calcul. PESENTI M, SERON X (ed). SOLAL, Marseille, 2000

FAZIO BB. Mathematical abilities of children with specific language impairment: A follow-up study. *Journal of Speech and Hearing Research* 1996, **39** : 839-849

FEIGENSON L, CAREY S, SPELKE E. Infants' discrimination of number vs. continuous extent. *Cognitive Psychology* 2002, **44** : 33-66

FUSON KC. An analysis of the counting on solution procedure in addition. *In*: Addition and subtraction: A cognitive perspective. CARPENTER TP, MOSER JM, ROMBERG TA (eds). Erlbaum, Hillsdale, NJ, 1982 : 67-81

FUSON KC. Children's counting and concepts of number. Springer-Verlag, New York, 1988

FUSON KC. Conceptual structures for multiunit numbers: Implications for learning and teaching multi-digit addition, subtraction, and place value. *Cognition and Instruction* 1990, **7** : 343-403

FUSON KC, RICHARDS J, BRIARS DJ. The acquisition and elaboration of the number word sequence. *In* : Children's logical and mathematical cogntion: Progress in cognitive developmental research. BRAINERD CJ (ed). Springer-Verlag, New-York, 1982 : 33-92

FUSON KC, KWON Y. Korean children's single-digit addition and subtraction: Numbers structured by ten. *Journal of Research in Mathematics Education* 1992, **23** : 148-165

GALLISTEL CR, GELMAN R. Preverbal and verbal counting and computation. *Cognition* 1992, **44** : 43-74

GEARY DC. Children's mathematical development: Research and practical applications. APA, Washington, DC, 1994

GEARY DC. The problem size effect in mental addition: Developmental and cross-national trends. *Mathematical Cognition* 1996, **2** : 63-93

GELMAN R, GALLISTEL CR. The child's understanding of number. Harvard University Press, Cambridge, MA, 1978

GEROFSKY S. A Linguistic and Narrative View of Word Problems in Mathematics Education. *For the Learning of Mathematics* 1996, **16** : 36-45

GRAVEMEIJER K. Solving Word Problems: a Case of Modelling? *Learning and Instruction* 1997, **7** : 389-397

GROEN GJ, PARKMAN JM. A chronometric analysis of simple addition. *Psychological Review* 1972, **79** : 329-343

HAUSER MD, CAREY S, HAUSER LB. Spontaneous number representation in semi-free-ranging rhesus monkays. *Proceedings of the Royal Society of London Series B-Biological Sciences* 2000, **267** : 829-833

HIEBERT J, WEARNE D. Instruction, understanding and skill in multidigit addition and subtraction. *Cognition and Instruction* 1996, **14** : 251-283

HO CS, FUSON K. Children's knowledge of teen quantities as tens and ones: Comparisons of Chinese, British, and American kindergartners. *Journal of Educational Psychology* 1998, **90** : 536-544

IFRAH G. Histoire universelle des chiffres. Robert Laffont, Paris, 1994

JASPERS MWM, VAN LIESHOUT ECDM. A CAI program for instructing text analysis and modelling of word problems to educable mentally retarded children. *Instructional Science* 1994a, **22** : 115-136

JASPERS MWM, VAN LIESHOUT ECDM. The evaluation of two computerised instruction programs for arithmetic word-problem solving by educable mentally retarded children. *Learning and Instruction* 1994b, **4** : 193-215

JOHNSON-LAIRD PN. Mental Models: Toward a cognitive science of language, inference, and consciousness. Harvard University Press, Cambridge, MA, 1983

KAGA K, MARCH RR, TANAKA Y. Influence of labyrinthine hypoactivity on gross motor development of infants. *In* : Vestibular and oculomotor physiology. COHEN B (ed). New York Academy of Science, New York, 1981

KINTSCH W. On modeling comprehension. *Educational Psychologist* 1979, **14** : 3-14

KINTSCH W, GREENO JG. Understanding and solving word arithmetic problems. *Psychological Review* 1985, **92** : 109-129

KOHEN-RAZ R, MASALHA M. Relations of basic arithmetic and motor skills in deaf elementary school children. *Perceptual and Motor Skills* 1988, **66** : 275-282

KRUEGER LE. Single judgments of numerosity. *Perception & Psychophysics* 1982, **31** : 175-182

LEFEVRE J, SADESKY GS, BISANZ J. Selection of procedures in mental addition: Reassessing the problem size effect in adults. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition* 1996, **22** : 216-230

LEMAIRE P, ABDI H, FAYOL M. The role of working memory resources in simple cognitive arithmetic. *European Journal of Cognitive Psychology* 1996, **8** : 73-103

LEMAIRE P, BARRETT S, FAYOL M, ABDI H. Automatic activation of addition and multiplication facts in elementary school children. *Journal of Experimental Child Psychology* 1994, **57** : 224-258

LEVINE SC, JORDAN NC, HUTTENLOCHER J. Development of calculation abilities in young children. *Journal of Experimental Child Psychology* 1992, **53** : 72-103

LEVY-BRUHL L. Les fonctions mentales dans les sociétés inférieures. Vrin, Paris, 1912

LUCKNER JL, MCNEILL JH. Performance of a group of deaf and hard-of-hearing students and a comparison group of hearing students on a series of problem-solving tasks. *American Annals of the Deaf* 1994, **139** : 371-376

MANDLER G, SHEBO BJ. Subitizing: An analysis of its component processes. *Journal of Experimental Psychology: General* 1982, **11** : 1-22

MCCLOSKEY M. Cognitive mechanisms in numerical processing: Evidence from acquired dyscalculia. *Cognition* 1992, **44** : 107-157

MCCRINK K, WYNN K. Large-number addition and subtraction by 9-month-old infants. *Psychol Sci* 2004, **15** : 776-781

MILLER KF, ZHU J. The trouble with teens: Accessing the structure of number names. *Journal of Memory and Language* 1990, **30** : 48-68

MILLER KF, PAREDES DR. On the shoulders of giants: Cultural tools and mathematical development. *In* : The nature of mathematical thinking. STERNBERG R, BEN ZEEV T (eds). Erlbaum, Hillsdale, NJ, 1996 : 83-117

MIURA IT, OKAMOTO Y, KIM CC, CHANG CM, STEERE M, FAYOL M. Comparisons of children's cognitive representation of number: China, France, Japan, Korean, Sweden and the United States. *International Journal of Behavioral Development* 1994, **17** : 401-411

MIX KS. Similarity and numerical equivalence: Appearances count. *Cognitive Development* 1999, **14** : 269-297

MIX KS, LEVINE SC, HUTTENLOCHER J. Early fraction calculation ability. *Developmental Psychology* 1999, **35** : 164-174

MIX KS, HUTTENLOCHER J, LEVINE SC. Multiple cues for quantification in infancy: Is number one of them? *Psychological Bulletin* 2002, **128** : 278-294

NESHER P. The Stereotyped Nature of School Word problems. *For the Learning of Mathematics* 1980, **1** : 41-48

NOËL MP, SERON X. On the existence of intermediate semantic representations. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition* 1997, **23** : 687-720

PASSOLUNGHI MC, SIEGEL LS. Short-term memory, working memory, and inhibitory control in children with difficulties in arithmetic problem solving. *Journal of Experimental Child Psychology* 2001, **80** : 44-57

PAU CS. The deaf child and solving rpoblems of arithmetic: The importance of comprehensive reading. *American Annals of the Deaf* 1995, **140** : 279-286

PERRIN-GLORIAN MJ. Représentations des fractions et des nombres décimaux chez des élèves de CM2 et de college. *Petit x* 1986, **10** : 5-29

PIAGET J, SZEMINSKA A. La genèse du nombre chez l'enfant. Delachaux & Niestlé, Neuchâtel, 1941

PIAGET J, INHELDER B. La genèse des structures logiques élémentaires. Delachaux & Niestlé, Neuchâtel, 1959

PICA P, LEMER C, IZARD V, DEHAENE S. Exact and approximate arithmetic in an amazonian indigene groupe. *Science* 2004, **306** : 499-503

POWER RJD, LONGUET-HIGGINS JC. Learning to count: A computational model of language acquisition. *Proceedings of the Royal Society of London* 1978, **B200** : 391-417

RAPIN I. Helping deaf children acquire language: Lessons from the past. *International Journal of Paediatric Otorhinolaryngology* 1986, **11** : 213-223

RICHARD JF. Les activités mentales: Comprendre, raisonner, trouver des solutions. Armand Colin, Paris, 1990

RILEY MS, GREENO JG, HELLER JI. Development of children's problem solving ability in arithmetic. *In*: The development of mathematical thinking. GINSBURG HP (ed). Academic Press, New York, 1983

ROUSSEL JL, FAYOL M, BARROUILLET P. Procedural vs. direct retrieval strategies in arithmetic: A comparison between aaditive and multiplicative problem solving. *European Journal of Cognitive Psychology* 2002, **14** : 61-104

SAXE GB. Developing forms of arithmetical thought among the Oksapmin of Papua New Guinea. *Devlopmental Psychology* 1982, **18** : 583-594

SCHANK RC, ABELSON RP. Scripts, plans, goals, and understanding. Laurence Erlbaum, Hillsdale, NJ, 1977

SECADA WG. Counting in sign: The number string, accuracy and use. Unpublished Doctoral Dissertation, Department of Education, Northwestern University, 1984

SERON X, FAYOL M. Number transcoding in children: A functional analysis. *British Journal of Developmental Psychology* 1994, **12** : 281-300

SHARON T, WYNN K. Infants' individuation of actions from continuous motion. *Psychological Science* 1998, **9** : 357-362

SIEGLER RS. Individual differences in strategy choice: Good students, not-so-good students, and perfectionnists. *Child Development* 1988, **59** : 833-851

SIEGLER RS. The perils of averaging data over strategies: An example from children's addition. *Journal of Experimental Psychology: General* 1987, **116** : 250-264

SIEGLER RS. Emerging minds: The process of change in children's thinking. Oxford University Press, New York, 1996

SIEGLER RS, SHRAGER J. Strategy choices in addition and subtraction: How do children know what to do? *In*: Origins of cognitive skills. SOPHIAN C (ed). Erlbaum, Hillsdale, NJ, 1984

SIEGLER RS, JENKINS E. How children discover new strategies. Erlbaum, Hillsdale, NJ, 1989

SIEGLER RS, SHIPLEY C. Variation, selection, and cognitive change. *In*: Developing cognitive competence: New approaches to process modeling. SIMON TJ, HALFORD GS (eds). Erlbaum, Hillsdale, NJ, 1995

SIMON TJ. Reconceptualizing the origins of number knowledge: A non-numerical account. *Cognitive Development* 1997, **12** : 349-372

SPELKE ES, TSIVKIN S. Language and number: a bilingual training study. *Cognition* 2001, **78** : 45-88

STARKEY P, COOPER RG. Perception of numbers by human infants. *Science* 1980, **210** : 1033-1035

STEVENSON HW, STIGLER JW. The learning gap: Why our schools are failing and what we can learn from Japanese and Chinese education. Summit Books, New York, 1992

STRAUSS MS, CURTIS LE. Infant perception of numerosity. *Child Development* 1981, **52** : 1146-1152

STREEFLAND L. Charming fractions or fractions being charmed? *In*: Learning and teaching mathematics: An international perspective. NUNES T, BRYANT P (eds). Psychology Press, Hove, 1997

SWANSON HL. Short-term memory and working memory: Do both contribute to our understanding of academic achievement in children and adults with learning disabilities? *Journal of Learning Disabilities* 1994, **27** : 34-50

THEVENOT C, BARROUILLET P, FAYOL M. Représentation mentale et procédures de résolution de problèmes arithmétiques : l'effet du placement de la question. *L'Année Psychologique* 2004, **104** : 683-699

VAN DIJK T, KINTSCH W. Strategies of discourse comprehension. Academic Press, New York, 1983

VAN OEFFELEN MP, VOS PG. A probabilistic model for the discrimination of visual number. *Perception & Psychophysics* 1982, **32** : 163-170

VANLEHN K. Mind bugs: The origin of procedural misconceptions. MIT Press, Cambridge, MA, 1990

VERGNAUD G. A classification of cognitive tasks and operations of thought involved in addition and subtration problems. *In* : Addition and subtraction: A cognitive perspective. CARPENTER TP, MOSER JM, ROMBERG TA (eds). Erlbaum, Hillsdale, 1982

VERSCHAFFEL L, DE CORTE E, BORGHART I. Pre-Service Teachers' Conceptions and Beliefs About the Role of Real-World Knowledge in Mathematical Modelling of School Word Problems. *Learning and Instruction* 1997, **7** : 339-360

WANG J, LIN E. Comparative studies on US and chinese mathematics learning and the implications for standards-based mathematics teaching reform. *Educational Researcher* 2005, **34** : 3-13

WATSON JM, CAMPBELL KJ, COLLIS KJ. Structural development of the concept of fraction by young children. *Journal of Structural Learning and Intelligent Systems* 1999, **13** : 171-193

WATTS WJ. The performance of deaf, partially hearing and normally hearing children on conservation tasks of weight and area. *Teacher of the Deaf* 1982, **6** : 5-9

WILLIS GB, FUSON KC. Teaching children to use schematic drawings to solve addition and subtraction word problems. *Journal of Educational Psychology* 1988, **80** : 192-201

WOOD D, WOOD H, HOWARTH P. Mathematical abilities of deaf school-leavers. *British Journal of Developmental Psychology* 1983, **1** : 67-73

WYNN K. Addition and subtraction in human infants. *Nature* 1992, **358** : 748-750

WYNN K. Infants' individuation and enumeration of actions. *Psychological Science* 1996, **7** : 164-169

WYNN K. Psychological foundations of number: Numerical competence in human infants. *Trends in Cognitive Sciences* 1998, **2** : 296-303 (N9)

XU F. Numerical competence in infancy : Two systems of representation. Paper presented at the 12th Biennal International Conference on Infant Studies, 2000

XU F, SPELKE ES. Large number discrimination in 6-month-old infants. *Cognition* 2000, **74** : B1-B11

5

Apprentissage du langage écrit chez les sourds

Le rôle clé des habiletés phonologiques pour l'apprentissage de l'écrit conduit à s'interroger sur la façon dont les sourds apprennent à lire et à écrire, notamment dans une langue alphabétique. D'une part les sourds éprouvent de très grosses difficultés dans cet apprentissage (pour une revue, voir Transler, 2005), d'autre part chez eux, comme chez les entendants, l'apprentissage du langage écrit est tributaire de la possibilité de former des représentations phonologiques.

Connaissances phonologiques du sourd

Contrairement à l'intuition du sens commun, les observations sont nombreuses qui établissent que les sourds ne sont pas démunis de connaissances phonologiques, ou du moins de capacités de les acquérir. Ainsi, Dodd (1976) observe les productions orales de dix enfants âgés de 9 à 12 ans, sourds profonds prélinguistiques ayant eu une éducation orthophonique importante. Huit de ces dix enfants disposent d'un répertoire de phonèmes complet à quelques unités près.

Ces informations phonologiques semblent être parfois utilisées par la mémoire de travail. Campbell et Wright (1990) montrent en effet sur des sujets sourds que le rappel sériel d'images est d'autant moins bon que les images représentent des objets dont le nom est plus long, ce qui suggère que le maintien en mémoire passe par l'autorépétition des noms des objets. Plusieurs autres études montrent, chez les sourds, de moins bons rappels ou de moins bonnes reconnaissances de listes lorsqu'elles sont composées de mots phonologiquement proches (Hanson, 1982 ; Waters et Doehring, 1990).

C'est essentiellement dans le traitement de l'écrit que ces connaissances phonologiques se manifestent. Merrils et coll. (1994) comparent dans une tâche de décision lexicale les temps de réponse d'adultes sourds et de sujets entendants de différents niveaux de lecture. Dans tous les groupes, les sujets mettent moins de temps à désigner comme n'étant pas un mot une suite non

prononçable (ex : « thrd ») qu'un pseudo-mot prononçable (ex : « hogh »). Ceci suggère que tous les sujets, y compris les sujets sourds, utilisent une conversion graphie-phonie pour décider de la lexicalité des items. Des résultats existent d'ailleurs qui montrent chez des sourds, une tendance à régulariser la prononciation des mots dont l'écriture est irrégulière (Dodd et Hermelin, 1977).

Différentes unités phonologiques semblent ainsi utilisées par les sourds dans ces tâches de traitements de l'orthographe. Transler et coll. (1999) soumettent des lecteurs débutants sourds et entendants à une tâche de copie de mots et pseudo-mots trisyllabiques dont la longueur oblige les sujets à se référer plusieurs fois au modèle pour réaliser la copie. L'analyse porte sur les caractéristiques du premier segment copié avant une seconde prise d'informations sur le modèle. Dans 53 % des cas chez les entendants et dans 52 % des cas chez les sourds, ce premier segment est constitué d'une ou de deux syllabes complètes sans adjonction d'autres lettres. Compte tenu des caractéristiques des items à copier, ce type de segmentation ne pouvait être opéré par hasard qu'à un taux de 27,4 %. La syllabe semble donc une unité utilisée par les sujets sourds, comme par les sujets entendants, pour maintenir une information orthographique en mémoire à court terme.

D'autres données suggèrent que des unités plus fines sont utilisées, même par les sourds, dans les toutes premières étapes du traitement des mots écrits. Paire-Ficout (1998) utilise le paradigme « d'amorçage sémantique médiatisé par la phonologie ». Le principe de l'amorçage sémantique est simple. Il s'agit, dans une tâche de décision lexicale, de faire précéder l'item sur lequel doit porter la décision, d'un autre item qui lui est ou non sémantiquement relié. Il a ainsi été montré que « océan » est plus rapidement reconnu comme étant un mot s'il est précédé (amorcé) par le mot « mer » que s'il est précédé par un mot qui ne lui est pas sémantiquement relié. Dans l'amorçage sémantique médiatisé par la phonologie, on amorce le mot « océan », par exemple par le mot « maire », qui est un homophone du voisin sémantique « mer ». Chez l'entendant, il est établi qu'un tel amorçage accélère également la décision lexicale, ce qui étaye l'hypothèse d'une intervention des traitements phonologiques dans l'identification des mots. Paire-Ficout met en évidence ce même effet chez les sujets sourds. La seule différence entre sourds et entendants dans cette tâche est la durée nécessaire entre le début de la présentation de l'amorce et la présentation de l'item cible. Pour que la facilitation se produise, les sourds ont besoin de 150 ms là où les entendants n'ont besoin que de 100 ms. Ces résultats demandent bien sûr à être confirmés par d'autres études, il n'en reste pas moins qu'ils constituent un élément important en faveur de l'hypothèse de l'utilisation de la phonologie par le lecteur sourd.

Contrairement aux études qui viennent d'être évoquées, d'autres études, généralement plus anciennes, distinguent sujets entendants et sujets sourds, précisément sur le fait que les seconds, contrairement aux premiers, ne

s'appuieraient pas sur la phonologie dans les traitements orthographiques. Ainsi, Conrad (1970) demande à des enfants sourds et à des enfants entendants d'apprendre des listes de lettres soit proches visuellement (KNVXYZ), soit proches phonologiquement (BCDPTV soit phonologiquement /bi/ /si/ /di/ /pi/ /ti/ /vi/). Dans le rappel, alors que les entendants font plus d'erreurs pour la seconde liste, les sourds font plus d'erreurs dans la première. De même, dans une tâche de barrage de lettres dans des listes de mots, les sujets entendants ont tendance à oublier les lettres qui ne se prononcent pas, ce qui n'est pas le cas chez les sourds (Locke, 1978). Pour ce qui concerne des unités plus larges, Campbell et Wright (1988) ont montré que les sourds ont des performances inférieures à celles des entendants dans des tâches de jugement de rime et que leurs réponses semblent s'appuyer plus sur l'orthographe que sur la prononciation.

De plus, au sein même des études, les résultats conduisent parfois à des conclusions divergentes. Leybaert et Alegria (1995) montrent que, comme les entendants, les enfants sourds ont plus de facilité à écrire des mots dont l'orthographe retranscrit fidèlement la phonologie (ex : ours), que des mots comportant une lettre muette (ex : petit) ou des mots irréguliers (ex : clown). Ce résultat plaide en faveur de l'utilisation de la phonologie. En revanche, les mots mal orthographiés sont homophones des mots bien orthographiés dans 90 % des cas chez l'entendant et seulement dans 30 % des cas chez le sourd. Des résultats de même type sont également rapportés par Burden et Campbell (1994).

En fait, la plupart des études tentant d'établir l'existence de connaissances phonologiques chez les sourds distinguent, à cet égard, une population présentant des performances qualitativement voisines de celles observées chez les entendants et une population qui s'en différencie clairement. En utilisant le même type d'expérience que Conrad (listes de lettres), Locke et Locke (1971) distinguent les performances des sourds dont la parole est intelligible de ceux dont la parole est peu intelligible. Alors que les seconds ont des résultats comparables à ceux rapportés par Conrad (confusions visuelles et pas de confusions phonologiques), les premiers ont des résultats intermédiaires entre ceux des seconds et ceux des entendants. En d'autres termes, tout en étant plus sensibles que les entendants à la proximité visuelle, ils présentent comme eux des confusions phonologiques.

De même, Leybaert et coll. (1983) mettent en évidence que les sourds intelligibles sont plus sensibles que les autres à « l'effet Stroop ». Il s'agit de dénommer la couleur de l'encre utilisée pour écrire des noms de couleur. Les auteurs retrouvent chez l'entendant le résultat classique : il est plus rapide de donner la bonne réponse lorsque par exemple, c'est le mot « rouge » qui est écrit en rouge, que lorsque c'est le mot « bleu » qui est écrit en rouge. Ce phénomène révèle le caractère automatique et irrépressible de l'identification des mots écrits. Chez les sourds, cet effet d'interférence se manifeste surtout chez les sujets intelligibles. Dans une expérience voisine,

Leybaert et Alegria (1993) montrent que, chez les entendants et les sourds intelligibles, mais pas chez les sourds peu intelligibles, cet effet se révèle en utilisant des pseudo-mots homophones des noms de couleurs. Ainsi chez ces sujets, « vair » mais pas « vour » gêne la dénomination de la couleur (par exemple rouge) de l'encre avec laquelle ces mots sont écrits.

Transler et coll. (2001) demandent à des enfants sourds et entendants lecteurs débutants de choisir entre deux pseudo-mots présentés à l'écrit, celui qui ressemble le plus à un pseudo-mot donné comme modèle. Il s'agit par exemple de savoir entre « denc » et « dane » lequel ressemble plus à « danc ». Les deux items test sont voisins orthographiques de l'item cible, mais seul l'un des deux est homophone de cet item. Alors que les sourds peu ou moyennement intelligibles semblent répondre au hasard (en moyenne 4,5 choix de l'homophone sur 10 essais), les sourds très intelligibles, comme les entendants choisissent majoritairement l'homophone (respectivement 6,75/10 et 6,92/10).

Cette différence entre sourds en fonction du niveau d'intelligibilité de la parole se retrouve entre les sourds de niveaux de lecture différents. En effet, de nombreux auteurs, notamment Hanson (1982), ont montré que le niveau de lecture des sourds est fortement corrélé à l'utilisation d'un code de parole. Les différences en fonction de l'intelligibilité de la parole se retrouvent donc lors de la comparaison de sourds de différents niveaux de lecture. Conrad (1979) utilise une tâche de rappel de listes de mots rimant (*few, do, blue*...) ou de mots visuellement proches (*have, lane*...). Les deux types de listes sont présentés à l'écrit. Contrairement aux sourds mauvais lecteurs, les sourds bons lecteurs et les entendants font plus d'erreurs de rappel dans les listes rimant que dans les autres. L'auteur met ainsi en évidence un lien entre l'utilisation de codes phonologiques dans la tâche de rappel et le niveau de lecture. De plus, tout étant égal par ailleurs, Conrad trouve que les sourds non intelligibles ont, en lecture, en moyenne deux ans de retard sur les sourds intelligibles.

Ce lien entre intelligibilité de la parole, lecture et habiletés phonologiques suggère que l'apprentissage de la lecture pourrait jouer un rôle chez les sourds dans la formation des connaissances phonologiques. Deux arguments militent dans ce sens : d'abord, bien entendu, la modalité auditive étant très défaillante chez le sourd, un système visuel phonologiquement motivé comme l'est le système alphabétique constitue une voie d'accès évidente à la phonologie. Ensuite, les recherches chez l'entendant ont maintenant très clairement établi que l'apprentissage de la lecture d'un système alphabétique provoque chez l'apprenti-lecteur la prise de conscience de l'identité des phonèmes (pour des revues, voir Gombert, 1990 ; Goswami et Bryant, 1990).

Pour ce qui concerne les sourds, plusieurs des résultats présentés ci-dessus suggèrent que les représentations orthographiques et leurs traductions pho-
 nologiques jouent un rôle important dans la constitution du lexique des

sujets sourds. Ainsi, Alegria (1992) montre, dans des tâches de dénomination de dessins, une tendance des sourds à régulariser la prononciation des mots dont l'écriture est irrégulière.

Plus généralement, se pose le problème de la constitution des connaissances phonologiques chez des sujets dépourvus d'une audition efficace.

Certes, la plupart des sourds disposent de restes auditifs, éventuellement améliorés par un appareillage. Toutefois, la détérioration sensorielle est trop importante pour permettre les discriminations fines nécessaires à la reconnaissance auditive et à la catégorisation des contrastes phonémiques entre syllabes. Il faut donc chercher ailleurs les voies de la constitution des connaissances phonologiques attestées chez de nombreux sourds.

Utilisation des modalités kinesthésiques et visuelles

Une de ces voies pourrait s'appuyer sur les données kinesthésiques fournies par l'articulation. On rejoint là la conception ancienne de Liberman à propos de l'entendant (Liberman et Mattingly, 1985). Les orthophonistes connaissent depuis longtemps l'importance de ce facteur qu'ils utilisent souvent dans les rééducations. Quand on conseille à quelqu'un de placer sa langue contre les dents ou contre le palais pour prononcer /ta/ ou /la/, on lui fait distinguer deux phonèmes à partir de données kinesthésiques. La très forte discriminabilité de ces données, jointe à la très grande fréquence de leur perception dans la production de la parole et à la propension de notre système cognitif à extraire les régularités perceptives, suggère un rôle essentiel de cette voie dans la construction des connaissances phonologiques. Toutefois, l'existence de cette voie suppose une oralisation et ne concerne donc pas l'ensemble de la population sourde.

La modalité sensorielle la plus naturellement utilisée par les sourds est la modalité visuelle. Il a d'ailleurs été montré que la surdité congénitale s'accompagne parfois d'une supériorité dans les traitements visuels (Bellugi et coll., 1990). Pour ce qui concerne la perception visuelle des contrastes phonologiques, le moyen le plus étudié est la lecture labiale.

En effet, comme le souligne Campbell (1987), l'information lue sur les lèvres a la même organisation temporelle que l'information entendue, les deux étant deux traces de la même activité : l'articulation. Cela justifie l'hypothèse de la construction des connaissances phonologiques sur base de lecture labiale. D'ailleurs, Dodd (1976) rapporte que chez les enfants sourds les contrastes phonologiques visibles sont les plus précoces à être produits correctement. Cette hypothèse est étayée par les performances dans des tâches de rappel de listes. Campbell et Wright (1989) montrent ainsi que des enfants sourds de niveau de lecture de 3e année d'apprentissage, à qui on

a présenté des listes de syllabes écrites, ont de meilleures performances de rappel pour les syllabes dont la consonne initiale est très visible en lecture labiale (F, TH, B) que pour celle dont la consonne initiale est peu visible (D, SH, Z). Cette facilitation se manifeste également dans l'orthographe. En effet, comme le rapportent Leybaert et Alegria (1993), les fautes d'orthographe commises par les sourds peuvent souvent s'expliquer par des confusions entre des phonèmes dont les configurations labiales sont identiques (« pychama » ou « pisama » pour « pyjama » ; « bouge » ou « bousse » pour « bouche »).

L'utilisation d'un langage signé comme le « Langage Parlé Complété » (LPC, adaptation française du *Cued Speech* créé par Cornett, 1967), qui permet de distinguer les synonymes labiaux[13] constitue pour les sourds une aide notable dans la constitution de connaissances phonologiques suffisamment différenciées pour motiver l'ensemble des contrastes alphabétiques (Leybaert, 1993 ; Hage, 1994 ; Alegria et Leybaert, 2005). Il semble notamment que les enfants sourds ayant appris précocement le LPC aient beaucoup moins de difficultés que les autres enfants sourds dans l'acquisition de la langue écrite (Alegria et coll., 1999).

L'utilisation d'un système signé qui symbolise les lettres, la « dactylologie », semble également avoir le même effet (Padden et Clark, 2005). Cependant, la logique même de ces systèmes conduit à faire l'hypothèse que le LPC facilite la maîtrise de l'orthographe en assistant la construction des connaissances phonologiques, alors que la dactylologie constitue un apprentissage de l'orthographe qui fournit un guide pour la prise de conscience des contrastes phonémiques. La directionnalité de la liaison causale serait ainsi inverse.

En tout état de cause, ces études et cette réflexion sur les connaissances phonologiques du sourd invitent à affirmer qu'en l'espèce, c'est le caractère de seconde articulation qui est ici important et non la modalité d'appréhension de cette seconde articulation, comme le suggère le terme même de phonologie. De fait, les unités de seconde articulation sont de nature visuo-kinesthéso-phonologique.

Pour être plus clairement plurimodales, les connaissances phonologiques dont il vient d'être traité n'en sont pas moins communes aux sourds et aux entendants, même si certains des moyens de leur élaboration sont en général ignorés des entendants. D'autres connaissances sont, elles, spécifiques à la population sourde.

13. Syllabes donnant lieu à des mouvements labiaux identiques.

Connaissances « kinologiques »

Une langue très utilisée par les sourds est la Langue des signes (LSF, pour Langue des signes française). Chaque signe y a une valeur sémantique, sa configuration peut toutefois être décrite selon cinq paramètres : la configuration de la main, sa position, son orientation, le mouvement et l'expression du visage qui lui est associée. Même si certaines de ses caractéristiques ont une valeur sémiotique, d'une part les locuteurs ne la saisissent pas nécessairement, d'autre part, leur système cognitif semble traiter les ressemblances perceptives indépendamment de tout voisinage sémantique.

D'abord, la motivation analogique du geste n'est pas nécessairement perçue. Ainsi, Meier (1982) signale que le très jeune enfant comprend le signe désignant le « lait » qui mime la traite d'un animal, sans avoir aucune connaissance de l'origine du lait.

Par ailleurs, le bébé sourd élevé dans un environnement langagier signé produit des gestes ressemblant à des mots signés bien avant d'être capables de les comprendre. Ainsi, Petitto et Marentette (1991) observent chez des enfants sourds de un an environ, cinq fois plus de gestes correspondant à des unités élémentaires de la langue des signes que chez leur *alter ego* entendants. Même si d'autres auteurs ne retrouvent pas les mêmes résultats (Meier et Willerman, 1995), il semble bien qu'il soit possible, à l'instar de ce qui se passe pour les langues orales, de parler de babillage gestuel, au moins chez les 10 % d'enfants sourds de parents sourds qui utilisent la langue des signes dans la communication quotidienne.

L'observation du développement du langage signé chez l'enfant sourd confirme l'existence d'une deuxième articulation. Newport et Meier (1985) affirment que les erreurs observables chez les enfants sourds en cours d'acquisition de la langue des signes révèlent qu'ils comparent les formes complexes à des formes plus simples et donc qu'ils tentent de trouver des composants communs aux différents items lexicaux (Mayberry, 1995). De même, plus tard, quand on leur demandera de se rappeler de listes de signes, d'une part ils feront plus de confusions par proximité gestuelle que de confusions sémantiques, d'autre part le rappel sera d'autant moins bon que les listes à mémoriser contiendront plus de signes qui se ressemblent (Hanson, 1982). Concernant les connaissances que les sourds possèdent sur la structure des mots, il convient donc de signaler l'existence d'unités gestuelles de deuxième articulation qui n'entretiennent pas de lien direct avec les phonèmes. Ces unités gestuelles sont désignées sous le vocable de « kinème ». Par analogie, il est donc possible d'affirmer l'existence d'unités « kinologiques » impliquées dans les patrons d'activation lexicale chez le sourd signeur.

La supériorité des sourds sur les entendants dans les traitements visuels a déjà été signalée. Il convient de souligner qu'elle semble surtout établie chez les signeurs (Bellugi et coll., 1990). Si cette plus grande efficacité des

traitements visuels peut conduire à l'hypothèse d'un avantage des sourds signeurs dans les traitements orthographiques, les constats empiriques montrent qu'il n'en est rien. De fait, il est désormais établi que ce qui fait obstacle à l'apprentissage de la lecture n'est pas la discrimination et la catégorisation des lettres, mais l'identification des phonèmes qui sont les unités de base de la traduction alphabétique. Or, comme le signale Paire-Ficout (1998), la langue des signes et l'écriture alphabétique sont tellement différentes qu'aucune médiation directe de type phonologique ou visuel ne permet le passage immédiat de l'une à l'autre.

Il existe toutefois quelques ponts entre langue des signes et orthographe. En effet, la langue des signes intègre quelques signes dactylologiques (par exemple, dans le signe correspondant au mot « vacance », les majeurs et index forment le « v » de l'initial). De même, les noms propres comme les mots inconnus sont généralement épelés en dactylologie. Toutefois, ces ponts ne constituent pas un moyen d'établir des correspondances entre les kinèmes et les lettres, notamment dans la LSF qui inclut beaucoup moins de signes dactylologiques que l'ASL (*American Sign Language*). La situation est comparable à celle que connaît le lecteur du mandarin. En effet, la langue chinoise peut être analysée en phonèmes mais, malgré les éléments phonologiques qui complètent le radical idéographique de la plupart des mots écrits en mandarin, il n'est pas possible de fonder la lecture et l'écriture sur l'exploitation systématique des unités de deuxième articulation. Dans le cas de la langue des signes, à la fois la langue des signes et le système alphabétique ont des unités de deuxième articulation mais, hormis le cas marginal de la présence de signes dactylologiques dans la langue des signes, ces unités appartiennent à deux systèmes qui ne peuvent être mis en correspondance. Ainsi Krakon et Hanson (1985) montrent que les lecteurs sourds signeurs ne font pas les mêmes erreurs dans le rappel de signes et dans le rappel de mots écrits.

Avant l'adoption relativement récente d'un système alphabétique, l'apprentissage de la lecture et de l'écriture des logogrammes chinois commençait dès 3 ans et durait une dizaine d'années avant l'atteinte d'un niveau d'expertise permettant la lecture autonome. Certains apprentis-lecteurs sourds sont dans cette situation d'apprentissage qui réclame du temps, mais à la différence des enfants chinois ils se trouvent dans un contexte de scolarisation qui n'est pas adapté à ce type d'apprentissage mais à celui, beaucoup plus simple et rapide, d'un système alphabétique. En l'absence d'une pédagogie privilégiant l'élaboration d'habiletés phonologiques, cela se traduit par un taux très élevé d'illettrisme chez les adultes sourds ; le rapport Gillot (1998) estime que 80 % des sourds profonds sont illettrés en France.

En conclusion, les recherches sur l'apprentissage du langage écrit par les enfants sourds ont un double intérêt. D'abord elles confirment le rôle central des capacités de traitement phonologique dans la maîtrise d'un écrit alphabé-

tique et invitent à vérifier systématiquement ces capacités chez les enfants entendants présentant un trouble de l'apprentissage. Ensuite, elles imposent, en collaboration avec les associations concernées, que les méthodes d'apprentissage utilisées pour les enfants sourds soient évaluées afin que soient prises des orientations claires visant à la disparition d'un illettrisme qui est un facteur supplémentaire d'exclusion pour cette population.

BIBLIOGRAPHIE

ALEGRIA J. Lecture, phonologie et surdité. *In* : Les entretiens Nathan : lecture et écriture. BENTOLILA A (ed). Actes II, Nathan, Paris, 1992 : 75-100

ALEGRIA J, CHARLIER B, MATTYS S. Phonological processing of lipread and Cued-Speech information in the deaf. *European Journal of Cognitive Psychology* 1999, **11** : 451-472

ALEGRIA J, LEYBAERT J. Le langage par les yeux chez l'enfant sourd : lecture labiale et Langage Parlé Complété. *In* : L'acquisition du langage par l'enfant sourd : les signes, l'oral et l'écrit. TRANSLER C, LEYBAERT J, GOMBERT JE (eds). Solal, Marseille, 2005 : 213-252

BELLUGI U, O'GRADY L, LILLO-MARTIN D, O'GRADY M, VAN HOEK K, CORINA D. Enhancement of spatial recognition in deaf children. *In*: From gesture to language in hearing and deaf children. VOLTERRA V, ERTING C (eds). Springer-Verlag, New York, 1990 : 278-298

BURDEN V, CAMPBELL R. The development of word-coding skills in the born deaf: an experimental study of deaf school-leavers. *British Journal of Developmental Psychology* 1994, **12** : 331-349

CAMPBELL R. The cerebral lateralization of lip-reading. *In*: Hearing by eye: the psychology of lip-reading. DODD B, CAMPBELL R (eds). Lawrence Erlbaum, Hillsdale, NJ, 1987 : 243-255

CAMPBELL R, WRIGHT H. Deafness, spelling and rhyme: how spelling supports written word and picture rhyming skills in deaf subjects. *Quarterly Journal of Experimental Psychology* 1988, **40A** : 771-788

CAMPBELL R, WRIGHT H. Immediate memory in the orally trained deaf: effects of "lipreadability" in the recall of written syllables. *British Journal of Psychology* 1989, **80** : 299-312

CAMPBELL R, WRIGHT H. Deafness and immediate memory for pictures: Dissociations between "Inner Speech" and the "Inner Ear". *Journal of Experimental Child Psychology* 1990, **50** : 259-286

CONRAD R. Short-term memory processes in deaf. *British Journal of Psychology* 1970, **31** : 179-195

CONRAD R. The deaf school child. Harper & Row, London, 1979

CORNETT O. Cued speech. *American Annals of the Deaf* 1967, **112** : 3-13

DODD B. The phonological system of deaf children. *Journal of Speech and Hearing Disorders* 1976, **41** : 185-198

DODD B, HERMELIN B. Phonological coding by the prelinguistically deaf. *Perception and Psychophysics* 1977, **21** : 413-417

GILLOT D. Rapport de Madame Dominique Gillot, Députée du Val-d'Oise au Premier ministre. France, 1998. http://www.ladocumentationfrancaise.fr/BRP/984001595/0000.pdf

GOMBERT JE. Le développement métalinguistique. Presses Universitaires de France, Paris, 1990

GOSWAMI UC, BRYANT PE. Phonological skills and learning to read. Lawrence Erlbaum, Hillsdale, NJ, 1990

HAGE C. Développement de certains aspects de la morpho-syntaxe chez l'enfant à surdité profonde : rôle du Langage Parlé Complété. Thèse de Doctorat en Sciences Psychologiques non publiée, Université Libre de Bruxelles, 1994

HANSON VL. Short term recall by deaf signers of American Sign Language: Implications of encoding strategy for order recall. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition* 1982, **8** : 572-583

KRAKOV RA, HANSON VL. Deaf signers and serial recall in the visual modality: memory for signs, fingerspelling and print. *Memory and Cognition* 1985, **13** : 265-272

LEYBAERT J. Reading in the deaf: the role of phonological codes. *In*: Phonological perspectives of deafness. MARSCHARK M, CLARK D (eds). Lawrence Erlbaum, Hillsdale, NJ, 1993 : 269-309

LEYBAERT J, ALEGRIA J, FONCK E. Automaticity in word recognition and in word naming by the deaf. *Cahiers de Psychologie Cognitive* 1983, **3** : 255-272

LEYBAERT J, ALEGRIA J. Is word processing involuntary in deaf children? *British Journal of Developmental Psychology* 1993, **11** : 1-29

LEYBAERT J, ALEGRIA J. Spelling development in deaf and hearing children: evidence for use of morpho-phonological regularities in French. *Reading and Writing: An Interdisciplinary Journal* 1995, **7** : 89-109

LIBERMAN A, MATTINGLY IG. The motor theory of speech perception revised. *Cognition* 1985, **21** : 1-36

LOCKE JL, LOCKE VL. Deaf children's phonetic, visual and dactylic coding in a grapheme recall task. *Journal of Experimental Psychology* 1971, **89** : 142-146

LOCKE JL. Phonemic effects in the silent reading of hearing and deaf children. *Cognition* 1978, **6** : 175-187

MAYBERRY RI. Mental phonology and language comprehension, or what does that sign mistake mean? *In*: Language, gesture and space. EMMOREY K, REILLY JS (eds). Lawrence Erlbaum, Hillsdale, NJ, 1995 : 355-370

MEIER RP. Icons, analogues, and morphemes: the acquisition of verb agreement in ASL. Unpublished doctoral dissertation, University of California in San Diego, 1982

MEIER RP, WILLERMAN L. Prelinguistic gesture in deaf and hearing infant. *In*: Language, gesture and space. EMMOREY K, REILLY JS (eds). Lawrence Erlbaum, Hillsdale, NJ, 1995 : 391-409

MERRILS JD, UNDERWOOD G, WOOD DJ. The word recognition skills of profoundly, prelingually deaf children. *British Journal of Developmental Psychology* 1994, **12** : 365-384

NEWPORT EL, MEIER RP. The acquisition of American Sign Language. *In*: The crosslinguistic study of language acquisition, Vol 1, The data. SLOBIN DI (ed). Lawrence Erlbaum, Hillsdale, NJ, 1985 : 881-938

PADDEN CA, CLARK D. Comment l'alphabet devient représenté en langue des signes. *In* : L'acquisition du langage par l'enfant sourd : les signes, l'oral et l'écrit. TRANSLER C, LEYBAERT J, GOMBERT JE (eds). Solal, Marseille, 2005 : 71-88

PAIRE-FICOUT L. Étude des mécanismes d'accès à la signification de mots écrits chez des lecteurs sourds sévères et profonds prélinguistiques : rôle des représentations dérivées de la lecture labiale. Thèse non publiée de Doctorat de Psychologie de l'Université Lumière Lyon 2, 1998

PETITTO LA, MARENTETTE PF. Babbling in the manual mode: evidence for the ontogeny of language. *Science* 1991, **251** : 1397-1536

TRANSLER C, GOMBERT JE, LEYBAERT J. Decoding processes in deaf children, a similarity judgment between pseudowords. *Applied Psycholinguistics* 2001, **22** : 61-82

TRANSLER C. Comment l'enfant sourd développe puis utilise le principe du B-A/ba/. *In* : L'acquisition du langage par l'enfant sourd : les signes, l'oral et l'écrit. TRANSLER C, LEYBAERT J, GOMBERT JE (eds). Solal, Marseille, 2005 : 317-326

TRANSLER C, LEYBAERT J, GOMBERT JE. Do deaf children use spoken syllables as reading units? *Journal of Deaf Study and Deaf Education* 1999, **4** : 124-143

WATERS GS, DOEHRING DG. Reading acquisition in congenitally deaf children who communicate orally: insights from an analysis of component reading, language and memory skills. *In*: Reading and its development: component skill approaches. CARR T, LEVY BA (eds). Academic Press, San Diego, 1990 : 323-373

II

Troubles spécifiques des apprentissages

Introduction : Des difficultés d'apprentissage aux troubles spécifiques

Les enfants en difficultés d'apprentissage de la lecture en début de scolarité sont nombreux, entre 5 % et 15 % selon les recensements[14]. De plus, un faible niveau en lecture a forcément une incidence négative sur les autres apprentissages, à court, comme à long terme. En effet, comme l'indique un rapport de l'OCDE (2000) : « se multiplient les indices sérieux montrant que la formation continue après l'école tend à accentuer, plutôt qu'à atténuer, les différences de compétence découlant d'une réussite inégale à l'enseignement initial » (p. 70-71).

Ces mauvais lecteurs n'ont cependant pas tous des difficultés spécifiques d'apprentissage. En introduction de cette partie II de l'expertise, il nous a donc paru essentiel d'examiner certaines études qui ont porté sur les difficultés d'apprentissage, en général. Les travaux passés en revue émanent pour la plupart d'organismes officiels (OCDE, Insee, Ministère de la culture ou de l'éducation…).

Enquêtes sur les pratiques et sur les compétences de lecture

De nombreux travaux francophones ont évalué l'influence des caractéristiques socioculturelles des populations sur leur rapport au livre et sur leurs pratiques de lecture[15]. Dans ces travaux, et en particulier dans l'enquête sur les pratiques culturelles des Français qui a été effectuée tous les 8 ans depuis 1973 (Donnat, 1998 ; Hersent, 2000), on qualifie les lecteurs de « faibles », « moyens » et « forts » en fonction du nombre de « livres » que les personnes interrogées déclarent avoir lu dans l'année, respectivement de 1 à 9 livres pour les premiers, plus de 24 pour les derniers. Ces enquêtes ont toutefois suscité quelques critiques. En particulier, Hersent (2000) souligne que ces travaux se sont focalisés uniquement sur le « livre », aux dépens d'autres supports et qu'ils n'ont pris en compte que les réponses des enquêtés. Il s'est

14. Voir le chapitre 7 de l'expertise

15. Voir en particulier, les travaux de C Baudelot, R Chartier, AM Chartier, J Dumazedier, R Escarpit, J Hébrard, JC Passeron, N Robine, B Seibel, F de Singly…

donc demandé, d'une part, si les habiletés de lecture peuvent se mesurer par la quantité de livres lus. En d'autres termes, est-on « faible » lecteur parce qu'on lit moins ou parce qu'on lit mal, les deux pouvant bien entendu être reliés ? D'autre part, quel crédit est-il possible d'accorder aux déclarations des enquêtés ? Ne tendent-ils pas, selon leurs groupes sociaux d'appartenance, à surévaluer ou à dévaluer leurs pratiques de lecture ?

D'autres travaux, également effectués à partir d'enquêtes, ont examiné les compétences de lecture. Ainsi, une étude de l'Insee (1989) indique qu'il y aurait en France 9 % d'adultes « illettrés » : en l'occurrence ceux qui disaient avoir des difficultés à lire un journal, à remplir un chèque, tout comme ceux qui, selon l'enquêteur, ne comprenaient pas bien les questions posées. Cependant, ce pourcentage doit être relativisé dans la mesure où il inclut des sujets qui avaient des difficultés avec la langue écrite ou avec la langue orale. Or, la faiblesse de la maîtrise de la langue orale ne peut être mise au compte de l'illettrisme.

Évaluations des compétences en lecture et en mathématiques

D'autres études ont évalué les compétences en lecture et en mathématiques à partir des réponses à des tests. Les résultats examinés dans cette introduction sont issus de deux études internationales qui ont porté sur des élèves de 15 ans (OCDE, 2000 et 2004), d'une étude française du Ministère de l'éducation qui a pris en compte des enfants scolarisés en début de CE2 (MEN, 2001) et de deux études de l'Insee qui ont porté sur des adultes (2004 et 2005).

Niveau en lecture et en mathématiques d'après les études internationales

Dans les deux études internationales portant sur des élèves de 15 ans, les résultats relevés dans chaque pays en lecture (OCDE, 2000 et 2004) et mathématiques (OCDE, 2000, uniquement) ont été comparés à la moyenne internationale.

Le niveau de lecture a été évalué par la compréhension de différents types de documents : récits, articles de journaux, textes accompagnés de graphiques ou de schémas. Les scores des enfants français se situent au niveau de la moyenne internationale, sans évolution significative dans le temps (OCDE, 2000 et 2004). De plus, d'après l'étude de 2000, 4 % des enfants français ont des difficultés sévères de lecture (moyenne internationale, 6 %) et, en France, comme au niveau international, il y a plus de garçons que de filles dans cette catégorie (6 % *versus* 2 % ; moyenne internationale : 8 % et 4 %).

En mathématiques (OCDE, 2000), les résultats des élèves français sont au-dessus de la moyenne internationale, tout comme les scores des 5 % les plus faibles. À la différence de la lecture, il n'y a pas plus de garçons que de filles parmi ceux qui ont les scores les plus faibles (respectivement 10 % et 11 % en France, 15 % et 16 % au niveau international).

Deux facteurs cruciaux : l'origine sociale et l'environnement linguistique

Dans l'évaluation du niveau de lecture et de mathématiques des élèves en début de CE2 menée par le Ministère de l'éducation nationale (MEN, 2001), il a été relevé que les filles ont de meilleurs résultats que les garçons en lecture, mais pas en mathématiques ; ces résultats sont semblables à ceux des deux études internationales de l'OCDE. Toutefois, une des variables le plus fortement reliée aux résultats est l'origine sociale des élèves. Toutes choses égales par ailleurs (en particulier, âge et sexe), un écart significatif sépare les scores des enfants d'ouvriers de ceux des enfants de cadres, et cela aussi bien en lecture qu'en mathématiques. De plus, certains enfants qui sont dans des situations que l'on peut qualifier de « fragiles » (ceux dont les parents sont dits « inactifs », 7,6 % de la population) ont des scores inférieurs à ceux des enfants d'ouvriers pour la lecture et les mathématiques. Les mêmes tendances avaient été relevées dans les études antérieures du Ministère de l'éducation.

De même, d'après l'étude de 2000 de l'OCDE, le fait d'être issu d'un milieu social peu favorisé multiplie par deux la probabilité d'avoir des difficultés en lecture, comme en mathématiques. Cette étude signale toutefois qu'une partie de cet effet pourrait être due à des variables non contrôlées : entre autres, l'environnement linguistique. L'incidence de ce facteur sur les performances est en effet aussi forte que celle du milieu socioculturel (OCDE, 2000).

L'impact de l'environnement linguistique sur la réussite en lecture et en mathématiques ressort également de la récente étude de l'Insee (2004 et 2005). Dans cette étude, les performances en lecture d'adultes ont été évaluées par des exercices en rapport avec la vie quotidienne (lire le titre et le nom des invités d'une émission, noter une liste de courses, comprendre le résumé d'un film). Les personnes qui ont des scores inférieurs à 60 % de réponses correctes dans ces trois domaines sont considérées comme en difficultés face à l'écrit. Plusieurs groupes ont été constitués en fonction du lieu de naissance (en France ou hors de France) et de la langue parlée majoritairement à la maison (le français, pour les sujets dits francophones). Parmi les francophones natifs, 7 % ont des difficultés en lecture. Ce chiffre est de 11 % chez les francophones nés hors de France et chez les non francophones nés en France. En revanche, parmi les non francophones nés hors de France, plus de 30 % de ceux qui ont appris à lire en français et plus de 60 % de ceux

qui ont appris à lire dans une autre langue ont des difficultés de lecture. Les résultats indiquent également que l'environnement linguistique a un impact sur la compréhension orale ainsi que, mais dans une moindre mesure, sur les scores en mathématiques.

Relations entre les différentes compétences évaluées

L'étude de l'Insee (2004 et 2005) a également examiné les relations entre compréhension en lecture, compréhension orale et aptitudes à résoudre des problèmes simples de calcul. Dans ce dernier cas, les questions sont posées à l'oral afin d'être compréhensibles par les personnes ayant des difficultés de lecture. Trois groupes ont été constitués : ceux qui ont des résultats faibles (moins de 50 % de réponses correctes), moyens (entre 50 % et 80 %) et bons (plus de 80 %).

Les relations entre compréhension en lecture et à l'oral sont élevées. Ainsi, parmi les adultes qui ont les scores les plus élevés en lecture, 73 % ont également de bonnes performances en compréhension orale et seulement 2 % des résultats faibles alors que, parmi les personnes ayant des résultats faibles en lecture, 32 % ont également des résultats faibles en compréhension orale et seulement 25 % un niveau élevé. De même, en ce qui concerne les relations entre lecture et mathématiques, parmi les adultes qui ont les scores les plus élevés en lecture, 45 % ont de bonnes performances en mathématiques et seulement 4 % des résultats insuffisants alors qu'environ 50 % de ceux ayant des difficultés de lecture sont également en situation d'échec en mathématiques, seulement 9 % ayant de bons résultats. Les relations entre les différentes compétences évaluées sont donc fortes.

Cette étude indique en plus que pratiquement la moitié des sujets qui ont des difficultés de compréhension écrite n'arrivent pas à lire correctement des mots inventés alors que presque tous sont capables de lire des mots courants. En revanche, il y a peu de différence entre les scores pour ces deux types d'items chez les sujets qui comprennent bien les textes écrits, leurs performances étant dans les deux cas pratiquement au maximum. Le déficit relevé chez les sujets qui ont des difficultés sévères de compréhension écrite lorsqu'ils doivent lire des mots qu'ils n'ont jamais rencontrés indique que, pour pouvoir lire correctement, il faut non seulement être capable de comprendre ce qu'on lit, il faut aussi pouvoir identifier les mots écrits de façon précise.

Capacités de lecture d'enfants de milieux défavorisés

Quelques études de psychologie cognitive ou de neurosciences ont évalué les compétences en lecture de sujets issus de milieux socioéconomiques défavorisés. Ces études signalent qu'une partie de leur retard en lecture pourrait

provenir d'un déficit linguistique et, plus spécifiquement, d'un déficit phonologique lié au traitement des sons de la parole. Par exemple, Noble et McCandliss (2005) ont montré que les capacités phonologiques et le niveau socioéconomique sont directement corrélés et agissent sur les performances en lecture indépendamment mais aussi probablement de façon additive. Ainsi, à déficit phonologique de même importance, un faible niveau socioéconomique serait un facteur aggravant. L'hypothèse est que les enfants issus d'un milieu social peu favorisé auraient des difficultés pour mettre en œuvre des stratégies compensatoires.

Cette hypothèse est confortée par les résultats d'une étude de neuro-imagerie (Shaywitz et coll., 2003) qui a comparé deux populations d'adultes en difficultés sévères de lecture : des mauvais lecteurs persistants et des mauvais lecteurs qui ont progressé. Cette étude révèle des activations d'aires cérébrales non habituellement dévolues à la lecture uniquement chez ceux qui ont progressé. Or, ces deux groupes n'étaient pas de même niveau socioéconomique : les mauvais lecteurs persistants avaient été scolarisés dans des écoles qui recrutaient surtout des enfants de milieu « défavorisé ». Cette étude suggère donc que certains facteurs environnementaux pourraient entraver la mise en place de stratégies de compensation, tant au niveau comportemental (la différence de progrès en lecture) que neuronal.

Troubles spécifiques des apprentissages

Les travaux de recherches indiquent clairement que les facteurs décrits ci-dessus (facteurs socioculturels présents dans l'environnement de l'enfant et les capacités cognitives générales propres à chaque enfant) ne suffisent pas à expliquer l'ensemble des difficultés d'apprentissage rencontrées chez les enfants. De nombreuses données montrent qu'il existe des enfants en difficulté d'apprentissage dans tous les milieux socioculturels y compris les plus favorisés et également à tous les niveaux de capacités cognitives générales y compris les plus élevés. Cette situation a conduit les chercheurs à formuler l'hypothèse de l'existence de troubles spécifiques des apprentissages. Historiquement, c'est le cas d'un enfant intelligent et sans handicap socioculturel mais avec une difficulté sévère et spécifique à la lecture qui a conduit à la première description de la dyslexie développementale (Pringle Morgan, 1896). Depuis, des milliers de cas ont été rapportés dans la littérature scientifique. Pour étudier les caractéristiques propres à la dyslexie, les chercheurs sont amenés à exclure les enfants qui présentent des facteurs de risque tels que le déficit intellectuel généralisé, les troubles sensoriels, les facteurs de risque socioculturels ou linguistiques. Il s'agit d'une précaution méthodologique indispensable à l'étude des causes d'un trouble spécifique sans risque de confusion. Cependant, cette focalisation de la recherche sur des troubles isolés ne doit pas laisser croire que les chercheurs ignorent la multiplicité des

facteurs impliqués dans la plupart des difficultés scolaires. De plus, un enfant dyslexique peut cumuler d'autres facteurs de risque qui contribuent à ses difficultés. Des études récentes s'intéressent tout particulièrement aux interactions entre ces différents facteurs (biologiques, culturels…). Par exemple, le milieu socioculturel d'un enfant dyslexique peut avoir un effet compensateur ou aggravant sur ses capacités de lecture (Noble et McCandliss, 2005).

En conclusion, il ressort de la synthèse d'études portant sur des populations « tout-venant », c'est-à-dire non sélectionnées a priori en fonction de certains critères, que le milieu social et l'environnement linguistique ont tous deux une forte incidence sur les performances en lecture et en mathématiques. Il en ressort également que, dans ces populations, les relations entre compréhension écrite, compréhension orale et performances en mathématiques sont élevées, ce qui s'explique probablement par un facteur sous-jacent, dont il n'est en général pas tenu compte dans ces études : le niveau cognitif des sujets.

Quand on veut étudier des populations supposées avoir des troubles spécifiques des apprentissages, il convient donc de contrôler voire d'éliminer les facteurs susceptibles d'entraîner des difficultés générales d'apprentissage. C'est pour cette raison que la plupart des études portant sur les troubles spécifiques des apprentissages (celles qui sont évoquées dans cette partie) n'intègrent pas les sujets qui ont un faible niveau cognitif, tout comme ceux issus d'un milieu sociologique très fragile, ou encore, particulièrement pour la lecture, ceux ayant appris à lire dans une langue qui n'est pas celle parlée le plus souvent à la maison.

L'enjeu n'est pas seulement théorique. En effet, les travaux examinés dans la présente expertise indiquent que les enfants ayant des difficultés spécifiques d'apprentissage ne répondent pas de la même façon que les autres enfants aux différentes interventions, tant pédagogiques que rééducatives, dont ils peuvent bénéficier.

BIBLIOGRAPHIE

DONNAT O. Les pratiques culturelles des Français : Enquête 1997. La Documentation française, Paris, 1998 : 359 p

HERSENT JF. Sociologie de la lecture en France : État des lieux (essai de synthèse à partir des travaux de recherche menés en France). Direction du livre et de la lecture, 2000 http://www.culture.gouv.fr/culture/dll/sociolog.rtf

INSEE. L'obstacle de la langue : une approche de l'illettrisme des adultes dans la France. Insee Première, 27, Juin 1989

INSEE. Les difficultés des adultes face à l'écrit. Insee Première, 959, Avril 2004

INSEE. Les compétences des adultes à l'écrit, en calcul et en compréhension orale. Insee Première, 1044, Octobre 2005

MEN (MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION). Les élèves en début de CE2 : Évaluation 2000. Note d'information 01-35, Juillet 2001

NOBLE KG, MCCANDLISS BD. Reading development and impairment: behavioral, social, and neurobiological factors. *J Dev Behav Pediatr* 2005, **26** : 370-378

OCDE. Knowledges and skills for life. First results from PISA 2000. OECD, Paris, 2000

OCDE. Profil de performance des élèves en compréhension de l'écrit et en sciences. Apprendre aujourd'hui, réussir demain. Premier résultats de PISA 2003. OCDE, Paris, 2004

SHAYWITZ SE, SHAYWITZ BA, FULBRIGHT RK, SKUDLARSKI P, MENCL WE, et coll. Neural systems for compensation and persistence: young adult outcome of childhood reading disability. *Biological Psychiatry* 2003, **54** : 25-33

6

Définitions et classifications

Les « troubles spécifiques des apprentissages » concernent une large palette de troubles qui va des troubles du langage et de la parole aux troubles des aptitudes motrices (Lyon, 1996 ; Culbertson, 1998 ; Kronenberger et Dunn, 2003). Les troubles qui font l'objet de cette expertise sont ceux plus directement liés aux acquisitions scolaires : le trouble spécifique de la lecture et du calcul ainsi que le trouble de l'écriture.

Dans les dernières années, plusieurs définitions ont été proposées pour ces troubles et elles ne cessent d'ailleurs d'évoluer. En effet, les connaissances sur lesquelles elles se fondent ont progressé rapidement, grâce aux nombreuses recherches conduites, particulièrement sur les difficultés de lecture (Lyon et coll., 2003). Cependant, certaines définitions ne donnent pas de critères diagnostiques précis, laissant ainsi une marge de fluctuation dans leur utilisation.

Troubles spécifiques des apprentissages

Les « troubles des apprentissages », qui concernent des problèmes faisant obstacle à la réussite scolaire, peuvent apparaître dans un contexte de retard global (Gillberg et Soderstrom, 2003) ou plus spécifique en cas de déficits limités à certains processus cognitifs (Snowling, 2002). Il sera question ici essentiellement de définitions et critères concernant les troubles présents en dehors d'un retard global du développement.

Les troubles des apprentissages (*learning disabilities*, terme utilisé pour la première fois par Kirk en 1963) ont fait l'objet de différentes définitions, qui ont évolué avec le temps. Pour Kirk (1963), les troubles des apprentissages étaient caractérisés par des problèmes de développement du langage oral et de la lecture ainsi que par un déficit des compétences de communication, nécessaires à l'interaction sociale, ces troubles ne pouvant être attribués à un handicap sensoriel ou à un retard mental.

Rutter (1989) propose quelques années plus tard la définition suivante :

« Les troubles développementaux des apprentissages sont un ensemble de difficultés des apprentissages qui ne peuvent être attribuées ni à un retard intellectuel, ni à un handicap physique, ni à des conditions adverses de l'environnement. Ces difficultés sont inattendues compte-tenu des autres aspects du développement, elles apparaissent très tôt dans la vie et interfèrent avec le développement normal. Elles persistent souvent jusqu'à l'âge adulte ».

Dans cette définition, on retrouve les principaux critères utilisés pour caractériser les troubles spécifiques des apprentissages (qu'il s'agisse de troubles du langage oral, de la lecture, de l'écriture ou du calcul), critères qui sont à la base des définitions proposées par la suite (Fletcher et coll., 2004), à savoir :

- critère de « discordance » (*discrepancy*) entre les difficultés à des épreuves liées au trouble en question et les bonnes performances à d'autres épreuves cognitives (il s'agit souvent du QI[17]) ;
- critère d'exclusion : les troubles ne doivent pas avoir comme cause primaire ni un retard global, ni un handicap sensoriel, ni un environnement défavorable (pédagogie inadaptée, niveau socioculturel insuffisant, diversité linguistique), ni troubles mentaux avérés ;
- le trouble est dû à des facteurs intrinsèques à l'enfant (ce point dérive directement des deux précédents et met l'accent sur l'origine neurobiologique des troubles).

Ces critères sont retrouvés dans la classification internationale des maladies, la CIM-10 (OMS, 1994), et dans le Manuel diagnostique et statistique des troubles mentaux, le DSM-IV (*American Psychiatric Association*, 2004).

La CIM-10, qui définit des critères diagnostiques, comprend un chapitre « Troubles du développement psychologique » dans lequel une section est dédiée aux troubles spécifiques du développement des acquisitions scolaires. Dans cette partie sont décrits les critères diagnostiques des troubles suivants : Trouble spécifique de la lecture, Trouble spécifique de l'orthographe, Trouble spécifique de l'acquisition de l'arithmétique, Trouble mixte des acquisitions scolaires. Les critères diagnostiques communs aux troubles des acquisitions scolaires de la CIM-10 sont présentés dans le tableau 6.I.

Tableau 6.I : Critères diagnostiques communs aux troubles spécifiques des acquisitions scolaires selon la CIM-10

- La note obtenue aux épreuves, administrées individuellement, se situe à au moins deux écarts-types en dessous du niveau escompté, compte tenu de l'âge chronologique et du QI
- Le trouble interfère de façon significative avec les performances scolaires ou les activités de la vie courante
- Le trouble ne résulte pas directement d'un déficit sensoriel
- La scolarisation s'effectue dans les normes habituelles
- Le QI est supérieur ou égal à 70

16. Quotient intellectuel (QI) mesuré entre 6 et 16 ans à l'aide du WISC-IV (Wechsler, 2005).

Le DSM-IV, dans la partie « Troubles diagnostiqués pendant la première enfance, la deuxième enfance ou l'adolescence », définit dans un chapitre à part les troubles des apprentissages. Ce chapitre comprend le trouble de la lecture, celui du calcul et de l'expression écrite ainsi qu'un trouble des apprentissages non spécifié. Les caractéristiques diagnostiques communes de ces troubles selon le DSM-IV sont présentées dans le tableau 6.II.

Tableau 6.II : Caractéristiques communes des troubles spécifiques des apprentissages selon le DSM-IV

• Performances à des tests standardisés (en lecture, calcul ou expression écrite), passés de façon individuelle, nettement au-dessous du niveau attendu par rapport à l'âge, aux autres performances scolaires et à l'intelligence de l'enfant. « Nettement au-dessous » se définit par une discordance de plus de 2 écarts-types entre les performances à ces tests et le QI (dans certains cas une différence moins importante est suffisante, 1 ou 1,5 écarts-types)
• Ces problèmes d'apprentissage doivent interférer de manière significative avec la réussite scolaire ou avec les activités de la vie courante liées à la lecture, le calcul ou l'écriture
• Si un déficit sensoriel est présent, les difficultés d'apprentissage doivent être supérieures à celles habituellement associées à ce déficit

Les deux classifications ont certes des parties communes, mais elles ne se superposent pas pour autant. Ainsi, dans la CIM-10 il est question d'un trouble spécifique de l'orthographe qui n'apparaît pas en tant que tel dans le DSM-IV où il fait partie des problèmes décrits dans le trouble de l'expression écrite. Les critères d'inclusion (notes à des épreuves <2 écarts-types) et d'exclusion (QI<70) sont plus stricts dans la CIM-10.

Selon une tendance récente (Vaughn et Fuchs, 2003 ; Fletcher et coll., 2004), l'appellation « troubles des apprentissages » ne devrait pas être attribuée seulement sur la base des résultats à différentes épreuves, mais elle devrait être réservée aux enfants dont les troubles résistent à un traitement conséquent (prise en charge pédagogique et/ou orthophonique).

Les progrès des connaissances des dernières années ont amené certains auteurs à évoquer dans leurs définitions l'origine neurobiologique (Galaburda et coll., 1999) voire même héréditaire (Pennington et Gilger, 1996 ; Lyytinen et coll., 2004) des troubles des apprentissages. En outre, ces définitions incluent de plus en plus les mécanismes cognitifs des troubles, même si ces processus cognitifs sont encore l'objet de discussions et d'explorations (Padget et Yancey, 1998).

Il faut souligner que dans le cadre de la recherche, les critères adoptés peuvent varier en fonction du nombre de sujets observés. En effet, les études qui portent sur des effectifs importants utilisent, pour des raisons de faisabilité, des critères moins stricts et moins nombreux que les études sur des petits groupes d'enfants.

Trouble spécifique de la lecture

Parmi les troubles spécifiques des apprentissages, le trouble de la lecture ou dyslexie est de loin le trouble des apprentissages le mieux exploré ; il a donné lieu au plus grand nombre de travaux et de définitions.

D'une façon générale, la dyslexie est définie comme un trouble de l'identification des mots écrits.

Depuis la description du premier cas – qu'on qualifierait aujourd'hui de dyslexie développementale – par Morgan en 1896 et les travaux d'Orton en 1928, qui a évoqué le premier une origine neurodéveloppementale du trouble, les définitions n'ont pas cessé d'évoluer. Rutter (1978), sur la base des propositions de la *World Federation of Neurology* (1968), écrit que « la dyslexie est un trouble manifesté par une difficulté à apprendre à lire, malgré un enseignement conventionnel, une intelligence adéquate et un bon environnement socioculturel. Elle est dépendante de troubles cognitifs fondamentaux qui sont souvent d'origine constitutionnelle ». La CIM-10 décrit pour le Trouble spécifique de la lecture des critères diagnostiques adaptés à des âges différents (tableau 6.III).

Tableau 6.III : Critères diagnostiques du Trouble spécifique de la lecture selon la CIM-10

Présence soit de 1 soit de 2 :
1. La note obtenue à une épreuve standardisée d'exactitude ou de compréhension de la lecture se situe à au moins deux écarts-types en dessous du niveau escompté, compte tenu de l'âge chronologique et de l'intelligence générale de l'enfant ; l'évaluation des performances en lecture et du QI doit se faire avec des tests administrés individuellement et standardisés en fonction de la culture et du système scolaire de l'enfant
2. Antécédents de difficultés sévères en lecture, ou de résultats de tests ayant répondu au critère 1 à un âge antérieur ; en outre, le résultat obtenu à un test d'orthographe se situe à au moins deux écarts-types en dessous du niveau escompté, compte tenu de l'âge chronologique et du QI

Le critère du DSM-IV pour le trouble spécifique de la lecture est le suivant : les réalisations en lecture (exactitude, rapidité ou compréhension), évaluées par des tests sont nettement en dessous du niveau escompté compte tenu de l'âge chronologique du sujet, de son niveau intellectuel (mesuré par des tests) et d'un enseignement approprié à son âge.

Les autres critères de la CIM-10 et du DSM-IV, communs aux différents troubles (enseignement adapté à l'âge, environnement socioculturel favorable et intelligence adéquate), ont été détaillés précédemment. À noter que la CIM-10 spécifie que le trouble de la lecture ne doit pas résulter directement d'un trouble neurologique avéré. La principale différence entre les deux classifications concerne la comorbidité du trouble de la lecture avec d'autres troubles des apprentissages (notamment les troubles du calcul et de

l'écriture). En cas de comorbidité, dans la CIM-10 le diagnostic de trouble de la lecture est prédominant par rapport à tous les autres, tandis que le DSM-IV permet de porter plusieurs diagnostics.

Dans les définitions plus récentes de la dyslexie, il est de plus en plus question des mécanismes cognitifs perturbés et de l'étiologie des troubles (Shaywitz et Shaywitz, 2005). Les recherches des dernières années sur ces facteurs, en particulier sur les compétences impliquées dans le processus de la lecture, ont beaucoup progressé et les définitions se sont adaptées aux nouvelles connaissances. Ainsi, la définition récemment proposée par Lyon et coll. (2003) et qui remplace une définition précédente des mêmes auteurs propose :

« La dyslexie est un trouble spécifique de l'apprentissage dont les origines sont neurobiologiques. Elle est caractérisée par des difficultés dans la reconnaissance exacte et/ou fluente de mots ainsi que par une orthographe des mots (*spelling*) et des capacités de décodage limitées. Ces difficultés résultent typiquement d'un déficit dans la composante phonologique du langage qui est souvent inattendu par rapport aux autres capacités cognitives de l'enfant et à l'enseignement dispensé dans sa classe. Les conséquences secondaires peuvent inclure des problèmes dans la compréhension en lecture. Cela peut entraîner une expérience réduite dans la lecture qui pourrait empêcher la croissance du vocabulaire de l'enfant et ses connaissances générales. »

S'il est vrai que la plupart des études récentes soulignent que la dyslexie est liée à un trouble du système phonologique (Morris et coll., 1998 ; Sprenger-Charolles et coll., 2000 ; Snowling, 2001 ; Ramus et coll., 2003 ; Vellutino et coll., 2004), d'autres données plaident pour l'existence d'autres troubles cognitifs responsables d'autres types de dyslexie (Mattis et coll., 1975 ; Stein, 2001 ; Valdois et coll., 2004). Certains auteurs proposent de réserver l'appellation « dyslexie » au sous-groupe majoritaire, porteur de troubles phonologiques prédominants (Kamhi et Catts, 2002). Cependant, la prise en compte d'un déficit en phonologie comme critère d'inclusion dans la définition de la dyslexie a été également critiquée (Frith, 1999).

Enfin, il est important de rappeler que c'est dans le cadre de la dyslexie que le critère de discordance (entre les performances à des tests de lecture et le QI de l'enfant) a été le plus appliqué et contesté par la suite (Shapiro, 1996 ; Fletcher et coll., 2002 ; Shaywitz et Shaywitz, 2003). Deux arguments s'opposent à ce critère. En premier lieu, la croissance du vocabulaire des dyslexiques pourrait être négativement influencée par les problèmes de lecture (voir la définition de Lyon et coll. 2003, ci-dessus) et le QI verbal, qui intègre le niveau de vocabulaire, pourrait alors diminuer progressivement conduisant les dyslexiques à être de moins en moins discordants (Stanovich, 1986). Par ailleurs, ce critère suppose que le dysfonctionnement des processus cognitifs à l'origine des troubles de lecture des individus discordants soit différent du dysfonctionnement d'individus ayant des notes comparables aux tests de lecture mais un QI moins contrasté. Plusieurs travaux n'ont pas

trouvé de différence entre ces deux groupes pour une variété de tâches cognitives comprenant la phonologie, d'autres aspects du langage et de la mémoire (Siegel, 1992 ; Fletcher et coll., 1994 ; Stanovich et Siegel, 1994).

Trouble spécifique du calcul

Les troubles spécifiques du calcul et/ou de l'arithmétique ont fait l'objet de moins d'études que la dyslexie (Shalev et coll., 2000). En général, le terme de dyscalculie développementale se réfère à un trouble des compétences mathématiques présent chez des enfants avec une intelligence normale (Temple, 1997). La CIM-10 définit des critères diagnostiques du Trouble spécifique de l'acquisition de l'arithmétique (tableau 6.IV).

Tableau 6.IV : Critères diagnostiques du Trouble spécifique de l'acquisition de l'arithmétique selon la CIM-10

- La note obtenue à un test standardisé de calcul se situe à au moins deux écarts-types en dessous du niveau escompté, compte tenu de l'âge chronologique et de l'intelligence générale de l'enfant
- Les notes obtenues à des épreuves d'exactitude et de compréhension de la lecture, ainsi que d'orthographe se situent dans les limites de la normale (± deux écarts-types par rapport à la moyenne)
- L'absence d'antécédents de difficultés significatives en lecture ou en orthographe

Le DSM-IV définit les critères suivants pour le « trouble du calcul » : les aptitudes en mathématiques, évaluées par des tests sont nettement en dessous du niveau escompté compte tenu de l'âge chronologique du sujet, de son niveau intellectuel (mesuré par des tests) et d'un enseignement approprié à son âge.

La principale différence entre les deux classifications, comme cela a été décrit précédemment, concerne la comorbidité du trouble du calcul ou de l'arithmétique avec le trouble de la lecture. En cas de comorbidité, dans la CIM-10 le diagnostic de trouble de la lecture est prédominant, tandis que le DSM-IV permet de porter les deux diagnostics.

Les mécanismes cognitifs perturbés à l'origine de la dyscalculie sont variés et ont donné lieu à différentes classifications de sous-types de dyscalculie (Kosc, 1974 ; Rourke et Strang, 1978 ; Badian, 1983 ; Temple, 1992).

Malgré une avancée certaine des études lors des dernières années, les perturbations des mécanismes cognitifs à la base de la dyscalculie, comme pour la dyslexie, sont encore objets d'études et leur inclusion dans les définitions du trouble paraît prématurée (Neümarker, 2000 ; Shalev et Gross-Tsur, 2001 ; Ardila et Rosselli, 2002).

L'étiologie était déjà au centre de l'une des premières définitions proposées de la dyscalculie. Ainsi, Kosc (1974) évoque l'origine génétique ou congénitale des troubles ainsi que leur base neurobiologique. D'autres auteurs ont soutenu par la suite l'origine neurobiologique du trouble (Rourke et Conway, 1997), voire génétique (Alarcon et coll., 1997 ; Shalev et coll., 2001).

Enfin, dans la définition de la dyscalculie, comme dans celle des autres troubles des apprentissages, une pédagogie inadaptée vaut critère d'exclusion. Or, l'apprentissage des mathématiques serait plus lié au type de pédagogie, notamment à la façon dont les concepts sont présentés, que les autres apprentissages (Lyon, 1996). Selon un certain nombre de cliniciens et chercheurs, le facteur étiologique prédominant dans le retard en mathématiques serait un enseignement insuffisant (Russell et Ginsburg, 1984 ; Carnine, 1991).

Trouble spécifique de l'écriture

L'écriture étant un processus multidimensionnel, le trouble de l'écriture est celui qui pose le plus de problèmes de définition. Au centre d'un trouble de l'expression écrite se trouve une compétence très réduite dans l'organisation et la présentation de l'information à travers l'écriture, comparée à une compétence plus élevée à organiser et présenter l'information oralement (Kronenberg et Dunn, 2003).

Différentes composantes peuvent être à l'origine d'un trouble de l'écriture : difficulté d'écriture liée à l'aspect moteur ; difficulté à terminer la tâche ; orthographe insuffisante ; problèmes avec la composition écrite au niveau du choix des mots, de la construction des phrases, de la planification et de l'organisation du texte (Berninger et coll., 2001).

Le terme dysgraphie, qui renvoie plutôt à un trouble de la calligraphie touchant également la réalisation de formes géométriques, a été parfois utilisé pour représenter un trouble général de l'écriture. O'Hare et Brown (1989) proposent la définition de cinq groupes de dysgraphies : trois groupes de dysgraphie motrice (déficit visuo-spatial, de la coordination et de la planification motrice…) et deux autres groupes caractérisés par des troubles du langage (déficit dans l'orthographe, la ponctuation, la structure des phrases et déficit dans la conceptualisation).

Dans la littérature des troubles de l'écriture, il est plus souvent question de dysorthographie que de dysgraphie. La dysorthographie est un trouble spécifique de l'orthographe, qui accompagne la dyslexie. Le dysfonctionnement cognitif à la base des deux troubles est probablement commun. Dans la dysorthographie, l'orthographe des mots (*spelling*) est très déficitaire, conséquence directe du trouble phonologique des dyslexiques.

Il n'y a donc pas une seule définition du trouble de l'écriture et les classifications internationales l'illustrent bien : la définition de la CIM-10 correspond

à la dysorthographie, tandis que celle du DSM-IV, correspond à un trouble de l'expression écrite plus général.

La CIM-10 dans sa partie « Troubles spécifiques du développement des acquisitions scolaires » ne définit pas de trouble général de l'écriture mais une section est consacrée au « Trouble spécifique de l'orthographe » (tableau 6.V).

Tableau 6.V : Critères diagnostiques du Trouble spécifique de l'orthographe selon la CIM-10

- La note obtenue à un test standardisé d'orthographe se situe à au moins deux écarts-types en dessous du niveau escompté, compte tenu de l'âge chronologique et de l'intelligence générale de l'enfant
- Les notes obtenues à des épreuves d'exactitude et de compréhension de la lecture, ainsi que de calcul se situent dans les limites de la normale
- L'absence d'antécédents de difficultés significatives en lecture

Les critères diagnostiques du DSM-IV du « trouble de l'expression écrite » sont les suivants : les capacités d'expression écrite, évaluées par des tests standardisés (ou par l'estimation de la qualité fonctionnelle de ces capacités), sont nettement au-dessous du niveau escompté compte tenu de l'âge chronologique du sujet, de son niveau intellectuel (mesuré par des tests) et d'un enseignement approprié à son âge.

Le DSM-IV préconise de ne pas porter un diagnostic de « trouble de l'expression écrite » en présence de fautes d'orthographe uniquement. Il spécifie qu'on doit pouvoir observer « (…) un mélange de difficultés touchant les capacités du sujet à composer des textes écrits, objectivées par des erreurs de grammaire ou de ponctuation aux sein des phrases, par une mauvaise construction des paragraphes, de nombreuses fautes d'orthographe et une très mauvaise écriture ». Il spécifie également que si le mauvais graphisme est dû à un déficit de la coordination motrice, il faut envisager un diagnostic de « trouble de l'acquisition de la coordination ». En cas de comorbidité, comme pour le trouble du calcul, dans la CIM-10 le diagnostic de trouble de la lecture est prédominant par rapport à celui de l'orthographe. Dans le DSM-IV, il est permis de porter les deux diagnostics.

L'étiologie du trouble spécifique de l'écriture n'est probablement pas unique et est moins bien connue que pour la dyslexie et la dyscalculie (Gregg, 1991).

Limites des définitions et validité des critères

Malgré les progrès des dernières années, en particulier pour la dyslexie, la plupart des définitions des troubles des apprentissages ne sont pas très opérationnelles et les critères diagnostiques ne sont pas bien définis. Pour ces rai-

sons, les classifications internationales, CIM-10 et DSM-IV, sont souvent ignorées sur le terrain, aussi bien par les cliniciens que par les chercheurs qui utilisent leurs propres classifications. Certains points des classifications soulèvent des questions qui sont toujours objet de débat.

Le choix du type d'épreuves utilisées pour mettre en évidence les troubles d'apprentissage est fondamental (Shapiro, 2001 ; Alm, 2004). En l'absence de tests de référence, la définition du trouble peut reposer soit sur le symptôme, soit sur des caractéristiques plus intrinsèques à l'individu (cognitives voire biologiques). L'utilisation de mesures, sélectionnées sans un fondement théorique cohérent au départ, peut donner lieu à des classements dont la pertinence n'est pas démontrée (Hooper et Willis, 1989 ; Culbertson, 1998). C'est dans le domaine de la lecture que l'élaboration des instruments est le plus avancée (Olson et coll., 1994 et 1999). Cependant la base théorique de la dyslexie, sur laquelle doivent se fonder ces mesures, fait toujours l'objet de recherches.

Un des problèmes est constitué par le caractère arbitraire du seuil à partir duquel on définit le trouble (de 2 à 1 écart-type au-dessous de la moyenne). Si le choix se porte sur 1 écart-type, dans une distribution normale on trouve 16 % d'individus sous le seuil. Si on choisit 2 écarts-types (c'est le cas de la CIM-10), on n'en trouve plus que 2,5 %. Quelques fois, on utilise les mois/années de retard d'apprentissage (généralement de 1 à 2 ans). On peut donc penser que le trouble est une entité en partie arbitraire, puisque dépendante du seuil choisi a priori. Néanmoins, en pratique clinique, le suivi de chaque enfant avec l'utilisation de nombreux tests permet de poser réellement un diagnostic.

La « discordance » est l'un des concepts clé de certaines définitions. Il s'agit du décalage entre la note obtenue aux épreuves liées au trouble et le niveau intellectuel global de l'enfant. Ce niveau peut être mesuré à l'aide de tests ou subtests différents : le QI (quelquefois il s'agit du QIT, Quotient intellectuel total, d'autres fois du QIP, Quotient intellectuel performance ; Wechsler, 1991), les Matrices de Raven (1981), le K.ABC (Kaufman et coll., 1993) ou autres tests. L'utilisation de l'épreuve du QI pour mettre en évidence un écart éventuel est contestée (Vellutino et coll., 2000 ; O'Brien, 2001 ; D'Angiulli et Siegel, 2003) et le concept même de discordance est de plus en plus critiqué (Shaywitz et Shaywitz, 2003 ; Francis et coll., 2005). Comme décrit précédemment, il suppose que les individus discordants sont différents dans les caractéristiques cognitives des troubles, des individus moins ou non-discordants ayant une note basse aux épreuves mais avec un QI moins contrasté. Il y a actuellement de plus en plus d'arguments contre ce présupposé (Fletcher et coll., 1994). De plus, de nombreuses façons ont été proposées pour évaluer la discordance (Lindgren et coll., 1985 ; Yule et coll., 1974 ; Shaywitz et coll., 1992 ; Katusic et coll., 2001). La tendance actuelle prône l'inclusion d'enfants avec un profil moins contrasté dans le classement de ces troubles.

Les questions suscitées par le concept de discordance, ainsi que la comorbidité assez fréquente de plusieurs troubles des apprentissages entraînent pour

certains auteurs la mise en question du concept de spécificité. La classification du DSM-IV, postérieure à celle de la CIM-10 n'utilise pas toujours le terme « spécifique », sans changer pour autant la définition. L'abandon de ce terme dans certaines définitions serait la conséquence de la prise en compte de ce débat qui reste d'actualité (Rispens et Van Yperen, 1997 ; Mc Arthur et coll., 2000).

Les critères d'exclusion d'enfants avec des problèmes sensoriels peuvent être très strictement appliqués pour les uns (par exemple avec des examens de l'audition et de la vision) et de façon plus sommaire pour d'autres. La présence d'éventuels troubles mentaux, critère d'exclusion selon certaines définitions, pose également des problèmes d'évaluation.

D'autres aspects des différentes classifications laissent une marge importante à des interprétations variables. C'est le cas des notions de « problèmes interférant de manière significative avec… les activités de la vie courante » ainsi que du jugement selon lequel en cas de déficit sensoriel « les difficultés d'apprentissage doivent être supérieures à celles habituellement associées à ce déficit » (DSM-IV).

Reste le problème de l'influence du milieu socioculturel, difficile à évaluer pour un individu donné (sauf cas extrêmes). Un environnement défavorable est considéré comme critère d'exclusion dans la plupart des définitions des troubles spécifiques des apprentissages. Ainsi, les problèmes d'apprentissage d'un enfant issu de milieu défavorisé sont très souvent attribués d'emblée à son milieu. À l'inverse, les troubles spécifiques d'apprentissage d'un enfant issu d'un milieu plus favorisé ont une plus grande probabilité d'être reconnus comme tels.

En conclusion, ce qui précède montre bien qu'il y a un certain accord dans les définitions des troubles spécifiques des apprentissages même si les critères utilisés pour le diagnostic varient. Ce fait n'empêche pas qu'on dispose aujourd'hui de nombreux instruments de dépistage performants, surtout dans le domaine de la lecture et que de nombreux travaux scientifiques de validité certaine, sont basés sur des définitions dont l'interprétation peut varier. Il reste cependant nécessaire d'arriver à établir des classifications des troubles spécifiques des apprentissages fondées sur des critères communs, partagés à la fois par les chercheurs et les cliniciens. Parmi ces critères, une réflexion à part est nécessaire sur le rôle à attribuer au milieu socioculturel dans les définitions des troubles spécifiques des apprentissages.

BIBLIOGRAPHIE

ALARCON M, DEFRIES JC, PENNINGTON BF. A twin study of mathematics disability. *Journal of Learning Disabilities* 1997, **30** : 617-623

ALM J. Dyslexia: relevance of concepts validity of measurements, and cognitive functions. Comprehensive summaries of Uppsala Dissertations fom the Faculty of Social Sciences, 2004, 60p

AMERICAN PSYCHIATRIC ASSOCIATION. Troubles des apprentissages (auparavant troubles des acquisitions scolaires). *In* : DSM-IV-TR. manuel diagnostique et statistique des troubles mentaux. American Psychiatric Association, Masson, 2004 : 56-65

ARDILA A, ROSSELLI M. Acalculia and dyscalculia. *Neuropsychol Rev* 2002, **12** : 179-231

BADIAN NA. Dyscalculia and nonverbal disorders of learning. *In* : Progress in learning disabilities. MIKLEBUST HR (ed). Stratton, NY, 1983

BERNINGER VW, STAGE SA, SMITH DR, HILDEBRAND D. Assessment for reading and writing intervention: A three-tier model for prevention and remediation. *In* : A volume in the educational psychology series, handbook of psychoeducational assessment: ability, achievement, and behavior in children. ANDREWS JJW, SAKLOFSKE DH, JANZEN H (eds). Academic Press, San Diego, 2001 : 195-223

CARNINE D. Reforming mathematics instruction: The role of curriculum materials. *Journal of Behavioral Education* 1991, **1** : 37-57

CULBERTSON JL. Learning disabilities. *In* : Handbook of child psychopathology. OLLENDICK T, HERSEN M (eds). Plenum Press, 1998 : 117-156

D'ANGIULLI A, SIEGEL LS. Cognitive functioning as measured by the WISC-R: do children with learning disbilities have distinctive patterns of performance? *Journal of Learning Disabilities* 2003, **36** : 48-58

FLETCHER JM, FOORMAN BR, BOUDOUSQUIE A, BARNES MA, SCHATSCHNEIDER C, FRANCIS DJ. Assessment of reading and learning disabilities: A research-based intervention-oriented approach. *J School Psychol* 2002, **40** : 27-63

FLETCHER JM, COULTER WA, RESCHIV DJ, VAUGHN S. Alternative approaches to the definition and identification of Learning Disabilities: some questions and answers. *Annals of Dyslexia* 2004, **54** : 304-331

FLETCHER JM, SHAYWITZ SE, SHANKWEILER D, KATZ L, LIBERMAN IY, et coll. Cognitive profiles of reading disbility: comparisons of discrepancy and low achievement definitions. *Journal of Educational Psychology* 1994, **86** : 6-23

FRANCIS DJ, FLETCHER JM, STUEBING, KK, LYON GR, SHAYWITZ BA, SHAYWITZ SE. Psychometric approaches to the identification of LD: IQ and achievement scores are not sufficient. *J Learn Disabil* 2005, **38** : 98-108

FRITH U. Paradoxes in the definition of dyslexia. *Dyslexia: An Interantional Journal of Research and Practice* 1999, **5** : 192-214

GALABURDA AM. Developmental dyslexia: A multilevel syndrome. *Dyslexia* 1999, **5** : 183-191

GILLBERG C, SODERSTROM H. Learning disability. *Lancet* 2003, **362** : 811-821

GREGG N. Disorders of written expression. *In* : Written language disorders: Theory into practice. BAIN A, BAILET L, MOATS L (eds). Austin Pro-ed, 1991

HOOPER SR, WILLIS WG. Learning disability subtyping: Neuropsychological foundations, conceptual models, and issues in clinical differentiation. Springer-Verlag, NY, 1989

KAMHI AG, CATTS HW. The language basis of reading: Implications for classification and treatment of children with reading disabilities. *In* : Speaking, reading and writting in children with language learning disabilities: new paradigms in research and practice. BULTER KG, SILLIMAN ER (eds). Lawrence Erlbaum Associates, 2002 : 45-72

KATUSIC SK, COLLIGAN RC, BARBARESI WJ, SCHAID DJ, JACOBSEN SJ. Incidence of reading disability in a population-based birth cohort, 1976-1982, Rochester, Minn. *Mayo Clin Proc* 2001, **76** : 1081-1092

KAUFMAN AS, KAUFMAN NL. Assessment Battery for Children (K.ABC). ECPA, 2003

KIRK SA. Behavioral diagnosis and remediation of learning disabilities. *Proceedings of the Conference on Eploration into the Problems of the Perceptually Handicapped Child* 1963, **1** : 1-23

KOSC L. Developmental dyscalculia. *Journal of Learning Disabilities* 1974, **7** : 164-177

KRONENBERGER WG, DUNN DW. Learning disorders. *Neurol Clin* 2003, **21** : 941-952

LINDGREN SD, DE RENZI E, RICHMAN LC. Cross-national comparisons of developmental dyslexia in Italy and the United States. *Child Development* 1985, **56** : 1404-1417

LYON GR. Learning disabilities. *In* : Child psychopathology. MASH E, BARKLEY-RUSSELL A (eds). Guilford Press, 1996 : 390-435

LYON GR, SHAYWITZ SE, SHAYWITZ BA. Defining dyslexia, comorbidity, teachers' knowledge of language and reading. A definition of dyslexia. *Ann Dyslexia* 2003, **53** : 1-14

LYYTINEN H, AHONEN T, EKLUND K, GUTTORM T, KULJU P, et coll. Early development of children at familial risk for dyslexia-follow-up from birth to school age. *Dyslexia* 2004, **10** : 146-178

MATTIS S, FRENCH JH, RAPIN I. Dyslexia in children and young adults: Three independent neuropsychological syndromes. *Developmental Medicine and Child Neurology* 1975, **17** : 150-163

MCARTHUR GM, HOGBEN JH, EDWARDS VT, HEATH SM, MENGLER ED. On the "specifics" of specific reading disability and specific language impairment. *J Child Psychol Psychiatry* 2000, **41** : 869-874

MORGAN WP. A case of congenital word-blindness. *British Medical Journal* 1896, **2** : 1378

MORRIS RD, STUEBING KK, FLETCHER JM, SHAYWITZ SE, LYON GR, et coll. Subtypes of reading disability: variability around a phonological core. *J of Ed Psychology* 1998, **90** : 347-373

NEUMARKER KJ. Mathematics and the brain: uncharted territory? *Eur Child Adolesc Psychiatry* 2000, **9** (suppl 2) : II/2-11/10

O'BRIEN G. Defining learning disability: what place does intelligence testing have now? *Dev Med Child Neurol* 2001, **43** : 570-573

O'HARE AE, BROWN JK. Childhood dysgraphia. Part 1. An illustrated clinical classification. *Child Care Health Dev* 1989, **15** : 79-104

OLSON RK, FORSBERG H, WISE B, RACK J. Mesurement of word recognition, orthographic and phonological skills. *In* : Frames of reference for the assessment of learning desabilities: New views on measurement issues. LYON GR (ed). Paul H. Brookes, Baltimore/London/Toronto/Sydney, 1994 : 243-275

OLSON RK, DATTA H, GAYAN J, DEFRIES JC. A behavioral-genetic analysis of reading disabilities and component processes. *In* : Converging methods for understanding reading and dyslexia. KLEIN R, MCMULLEN P (eds). Cambridge, MA, MIT Press, 1999 : 133-152

OMS (ORGANISATION MONDIALE DE LA SANTÉ). Troubles spécifiques du développement des acquisitions scolaires. *In* : Classification Internationale des Maladies. Chapitre V (F) : Troubles mentaux et troubles du comportement. Critère de diagnostic pour la recherche. OMS, Masson, 1994 : 132-135

ORTON ST. Specific reading disability-strephosymbolia. *Journal of the American Medical Association* 1928, **90** : 1095-1099

PADGET SY. Lessons from research on dyslexia: Implications for a classification system for learning disabilities. *Learn Disability Quaterly* 1998, **21** : 167-178

PENNINGTON BF, GILGER JW. How is dyslexia transmitted? *In* : Developmental dyslexia. Neural, cognitive and genetic mechanisms. CHASE CH, ROSEN GD, SHERMAN GF (eds). York Press, 1996

RAMUS F, ROSEN S, DAKIN SC, DAY BL, CASTELLOTE JM, et coll. Theories of developmental dyslexia: insights from a multiple case study of dyslexic adults. *Brain* 2003, **126** : 841-365

RAVEN J. Progressives matrices standard. EAP, 1981

RISPENS J, VAN YPEREN TA. How specific are "specific developmental disorders"? The relevance of the concept of specific developmental disorders for the classification of childhood developmental disorders. *J Child Psychol Psychiatry* 1997, **38** : 351-363

ROURKE BP, CONWAY JA. Disabilities of arithmetic and mathematical reasoning: perspectives from neurology and neuropsychology. *J Learn Disabil* 1997, **30** : 34-46

ROURKE BP, STRANG JD. Neuropsychological significance of variations in patterns of academic performance : Motor, psychomotor, and tactile perception-abilities. *Journal of Pediatric Psychology* 1978, **3** : 212-225

RUSSEL R, GINSBURG HP. Cognitive analysis of children's mathematics difficulties. *Cognition and Instruction* 1984, **1** : 217-247

RUTTER M. Dyslexia. *In* : Dyslexia : An appraisal of current knowledge. BENTON AL, PEARL D (eds). Oxford Univ. Press, 1978

RUTTER M. Child psychiatric disorders in ICD-10. *J Child Psychol Psychiatry* 1989, **30** : 499-513

SHALEV RS, AUERBACH J, MANOR O, GROSS-TSUR V. Developmental dyscalculia: prevalence and prognosis. *Eur Child Adolesc Psychiatry* 2000, **9** (Suppl 2) : II58-II64

SHALEV RS, GROSS TSUR V. Developmental dyscalculia. *Pediatr Neurol* 2001, **24** : 337-342

SHAPIRO BK. The prevalence of specific learning disability. *Ment Retard Dev Disabil Res Rev* 1996, **2** : 10-13

SHAPIRO BK. Specific reading disability: a multiplanar view. *Ment Retard Dev Disabil Res Rev* 2001, **7** : 13-20

SHAYWITZ SE, SHAYWITZ BA. Dyslexia (specific reading disability). *Pediatr Rev* 2003, **24** : 147-153

SHAYWITZ SE, SHAYWITZ BA. Dyslexia (specific reading disability). *Biol Psychiatry* 2005, **57** : 1301-1309

SHAYWITZ SE, ESCOBAR MD, SHAYWITZ BA, FLETCHER JM, MAKUCH R. Evidence that dyslexia may represent the lower tail of a normal distribution of reading ability. *New England Journal of Medicine* 1992, **326** : 145-150

SIEGEL LS. An evaluation of the discrepancy definition of dyslexia. *Journal of Learning Disabilities* 1992, **25** : 618-629

SNOWLING M. Reading and other learning difficulties. *In* : Child and adolescent psychiatry. RUTTER M, TAYLOR E (ed). Blackwell Science, 2002 : 682-696

SNOWLING MJ. From language to reading and dyslexia. *Dyslexia* 2001, **7** : 37-46

SPRENGER-CHAROLLES L, COLE P, LACERT P, SERNICLAES W. On subtypes of developmental dyslexia: Evidence from processing time and accuracy scores. Early literacy and early numeracy. *Can J Exp Psychol* 2000, **54** : 87-103

STANOVICH KE. Matthew effects in reading: Some consequences of individual differences in the acquisition of literacy. *Reading Research Quarterly* 1986, **21** : 360-407

STANOVICH KE, SIEGEL LS. Phenotypic performance profile of children with reading disabilities: A regression-based test of the phonological-core variable-difference model. *Journal of Educational Psychology* 1994, **86** : 24-53

STEIN J. The magnocellular theory of developmental dyslexia. *Dyslexia* 2001, **7** : 12-36

TEMPLE CM. Developmental dyscalculia. *In* : Handbook of Neuropsychology. SEGALOWITZ SJ, RAPIN I, BOLLER F, GRAFMAN J (eds). Elsevier, 1992 : 211-222

TEMPLE CM. Developmental Cognitive Neuropsychology. Psychology Press, 1997

VALDOIS S, BOSSE ML, TAINTURIER MJ. The cognitive deficits responsible for developmental dyslexia: Review of evidence for a selective visual attentional disorder. *Dyslexia* 2004, **10** : 1-25

VAUGHN S, FUCHS LS. Redefining learning disabilities as inadequate response to instruction: The promise and potential problems. *Learn Disabilities Res Pract* 2003, **18** : 137-146

VELLUTINO FR, SCANLON DM, LYON GR. Differentiating between difficult-to-remediate and readily remediated poor readers : more evidence against the IQ-achievement discrepancy definition of reading disability. *Journal of Learning Disabilities* 2000, **33** : 223-238

VELLUTINO FR, FLETCHER JM, SNOWLING MJ, SCANLON DM. Specific reading disability (dyslexia): what have we learned in the past four decades? *J Child Psychol Psychiatry* 2004, **45** : 2-40

WECHSLER D. Echelle d'Intelligence de Wechsler pour enfants et adolescents. Quatrième édition. ECPA, 2005

WORLD FEDERATION OF NEUROLOGY. Report of research group on developmental dyslexia and world illiteracy. *Bulletin of the Orton Society* 1968, **18** : 21-22

YULE W, RUTTER M, BERGER M, THOMPSON J. Over- and under-achievement in reading: distribution in the general population. *Br J Educ Psychol* 1974, **44** : 1-12

7

Données de prévalence

Le diagnostic opérationnel « d'un cas » exige plusieurs examens avec de nombreux tests répétés au cours de plusieurs mois voire plusieurs années. Une telle approche ne peut pas être reproduite dans le cadre d'études épidémiologiques en population générale. Par ailleurs, dans les études épidémiologiques les critères peuvent varier d'un auteur à l'autre et les seuils également. Il n'est donc pas surprenant que les chiffres de prévalence publiés soient très variables. D'ailleurs, les définitions qui choisissent des seuils à partir de la population étudiée imposent des chiffres de prévalence. Cependant, la mise en évidence de facteurs associés aux troubles est moins dépendante de leur définition. Ainsi, par exemple, les études qui utilisent la même méthodologie pour comparer des populations ayant des langues différentes, permettent de mettre en évidence les caractéristiques propres à chaque langue.

Prévalence de la dyslexie

Les troubles spécifiques des apprentissages, en particulier la dyslexie, ont été explorés principalement dans les pays anglophones. Pour la langue anglaise, compte tenu des différentes définitions possibles, la prévalence de la dyslexie varie, selon les études, de 2,3 % à 12 % ou plus. Ainsi aux États-Unis, Badian (1999) trouve une prévalence de la dyslexie de 2,7 % et Shaywitz (1990) de 7,5 %. Plus récemment, chez une population conséquente d'environ 6 000 enfants scolarisés aux États-Unis et en utilisant 4 définitions différentes de la dyslexie, Katusic et coll. (2001) trouvent des taux d'incidence variant de 5,3 % à 11,8 % selon les critères utilisés.

En Grande-Bretagne, Rodgers (1983) met en évidence une prévalence de la dyslexie chez des enfants de 10 ans de 2,3 %, tandis que Yule et coll. (1974) ont trouvé une prévalence de 3,6 % sur l'Ile de Wight et de 9,3 % à Londres.

En Nouvelle-Zélande (Fergusson et coll., 1989 et 1996 ; données ré-analysées par Rutter et coll., 2004), la prévalence était de 14 % et en Australie de 5,5 % (Jorm et coll., 1986).

Prévalence de la dyslexie selon les langues

Les langues ont des systèmes d'écriture différents et même si la plupart d'entre elles utilisent un script alphabétique, le degré de régularité phonique (correspondance graphème-phonème) varie selon les langues. À l'heure actuelle, les variations dans la forme de la dyslexie ainsi que dans sa prévalence sont considérées comme étant dépendantes de facteurs tels que la transparence ou l'opacité de l'orthographe de chaque langue (Paulesu et coll., 2001 ; Miles, 2000 et 2004).

L'étude de Lindgren et coll. (1985) a utilisé trois définitions différentes de la dyslexie et a montré que la prévalence variait, comme attendu, en fonction de la définition et des critères de discordances plus ou moins stricts, à la fois aux États-Unis et en Italie. Cette étude montre que, selon les définitions, les taux varient de 3,6 % à 8,5 % en Italie et de 4,5 % à 12 % aux États-Unis. Ainsi, les taux plus élevés aux États-Unis par rapport à ceux de l'Italie sont liés à l'orthographe : l'orthographe de la langue italienne est transparente à l'opposé de celle de la langue anglaise.

Stevenson et coll. (1982) ont également appliqué plusieurs mesures de la dyslexie à des populations d'enfants américains, taïwanais et japonais. Selon les critères, la prévalence varie de 3 % à 7,9 % aux États-Unis, de 2 % à 9,2 % à Taïwan et de 5,4 % à 8,3 % au Japon. Cette dernière étude est particulièrement intéressante parce qu'elle concerne des langues dont les systèmes d'écriture logographiques diffèrent de ceux des langues occidentales. Depuis les travaux anciens de Makita (1968), qui sur la base d'un questionnaire posé aux enseignants avaient conclu que la dyslexie était rare au Japon (moins de 1 %), on ne disposait pas d'études pour ces pays. Plus récemment, Yamada et coll. (1994) ont retrouvé 6 % d'enfants dyslexiques dans un groupe d'une centaine d'enfants de 10 ans de Hiroshima au Japon.

La prévalence de la dyslexie dans d'autres pays et langues varie de 3 % en Égypte (Farrag, 1988) à 8,2 % en Inde (Bhakta, 2002).

Il n'y a pas de données épidémiologiques pour toutes les langues du monde. En Afrique, une étude par questionnaire soumis à 500 parents et enseignants de Ilorin (Nigéria), montre que 70 % d'entre eux signalent des problèmes de lecture chez leurs enfants ou élèves (Omotosho, 2001). Ces taux ne sont évidemment pas comparables à ceux des études précédentes.

En France, en l'absence de données épidémiologiques fondées sur des cohortes d'enfants de l'envergure des cohortes anglophones (Rodgers, 1983 ; Katusic et coll., 2001), trois études, sur la base de critères et d'épreuves différents indiquent une prévalence comprise entre 6 % et 8 %. Ainsi, dans une étude longitudinale française, commencée en grande section d'école maternelle, 33 enfants sur 500 ont pu être classés comme étant dyslexiques à 10 ans (Sprenger-Charolles et coll., 2000), soit 6,6 % de la population.

Dans une autre étude, 13 % des 500 enfants, suivis depuis la grande section de l'école maternelle, se sont révélés non-lecteurs en CE1 et parmi eux, 7,5 % étaient probablement dyslexiques (Zorman et coll., 2004). Ce taux rappelle celui d'une autre cohorte de près de 700 enfants, suivis de la petite section de l'école maternelle jusqu'à 8 ans (cohorte Chevrie-Müller, 1987-1994). En CE1, 8,5 % des enfants présentaient un retard conséquent dans le langage écrit (Watier et coll., 2006).

En France, en l'absence de données épidémiologiques, les données disponibles respectant les critères de caractérisation de la dyslexie suggèrent que la proportion d'enfants présentant une dyslexie avérée ne diffère pas de celle des grandes études anglophones.

Bien qu'on ne puisse pas assimiler tous les troubles de la lecture même graves à la dyslexie, les données issues de deux études épidémiologiques récentes réalisées chez l'adulte en France aboutissent à des données compatibles avec les estimations ci-dessus : l'une concerne des jeunes appelés du contingent (de la Haye et coll., 2005) et l'autre (Murat, 2005) a été conduite auprès de 10 000 adultes de 18 à 65 ans (Insee). Ces deux études constatent que 7 % des 18-29 ans éprouvent des difficultés graves ou importantes en lecture.

Les tableaux 7.I, 7.II et 7.III donnent les prévalences des troubles de la lecture dans les différentes langues. Les prévalences des troubles de la lecture indiquées, varient en fonction des critères retenus, et sont plus ou moins proches de la dyslexie.

Tableau 7.I : Prévalence des troubles de la lecture pour la langue anglaise

Références et type d'étude	Pays	Effectif	Âge (années)	Critères d'inclusion	Critères d'exclusion	Prévalence des troubles de la lecture
Rutter et coll., 1970 Yule et coll., 1974 Berger et coll., 1975 Rutter et coll., 1975 *Étude longitudinale* *(9-14 ans)* *Étude transversale (10 ans)*	Grande-Bretagne	Londres : 1 634 Ile de Wight : 1 134 Ile de Wight : 2 113	10 10 14	Plusieurs critères : < 2 écarts-types selon prédiction test lecture/QI *(NFR Test SRA of reading)*	Parents émigrés	Selon les critères : Ile de Wight (10 ans) de 3,1 % à 3,9 % Londres (10 ans) de 6,32 % à 9,9 % Ile de Wight (14 ans) de 4,3 % à 4,5 %
Stevenson et coll., 1982 *Étude transversale*	États-Unis	453	10-11	Plusieurs critères de relation tests lecture/autres tests cognitifs < 1 écart-type	Test d'intelligence < 70	6,3 % à 7,9 %
Rodgers, 1983 *Étude longitudinale*	Grande-Bretagne	8 836	0-10	< 2 écarts-types, régression sur *British Ability scale* et score lecture	Score au *British Ability scale* < 70	2,3 %
Lindgren et coll., 1985 *Étude transversale*	États-Unis	1 278	10-11	3 critères différents de relation Tests lecture/QI	Déficits sensoriels Redoublement QI < 85	Selon les critères, la prévalence varie de 4,5 % à 12 %
Jorm et coll., 1986 *Étude transversale*	Australie	453	5,4-7,11	< 1,5 écart-type au score attendu, test de lecture (Neale)		8,6 %
Shaywitz et coll., 1990 *Étude longitudinale*	États-Unis	445	5-9	Discordance QIT et tests lecture (W-J)	Déficits sensoriels Problèmes psychiatriques Langue maternelle autre que l'anglais	7,5 %
Badian, 1999 *Étude longitudinale*	États-Unis	1 008	4-13	Discordance compréhension orale/écrite < 25e percentile lecture (SAT)	Déficits sensoriels et bilinguisme	2,7 % (discordants) et 9,1 % de lecteurs faibles (non discordants)
Flannery et coll., 2000 *Étude longitudinale*	États-Unis	32 223	0-7	Discordance QI et tests lecture (WRAT)	Déficits sensoriels Problèmes psychiatriques QI < 80 Langue maternelle autre que l'anglais	4,4 %
Katusic et coll., 2001 *Étude longitudinale*	États-Unis	5 718	5-9	3 différents critères de discordance et 1 de performances faibles (W-J)	QI < 50	Selon critères, l'incidence varie de 5,3 % à 11,8 %

Tableau 7.II : Prévalence des troubles de la lecture pour différentes langues

Références et type d'étude	Langue Pays	Effectif	Âge (années)	Critères d'inclusion	Critères d'exclusion	Prévalence des troubles de la lecture
Stevenson et coll., 1982 *Étude transversale*	Japonais Japon	775	10-11	Plusieurs critères de relation tests lecture/ autres tests cognitifs < 1 écart-type	Test d'intelligence < 70	5,4 % à 8,3 %
Stevenson et coll., 1982 *Étude transversale*	Chinois Taïwan	956	10-11	Plusieurs critères de relation tests lecture/ autres tests cognitifs < 1 écart-type	Test d'intelligence < 70	7,5 % à 7,9 %
Lindgren et coll., 1985 *Étude transversale*	Italien Italie	448	10-11	3 critères différents de relation Tests lecture/QI	Déficits sensoriels Redoublement QI<85	Selon les critères : de 3,6 % à 8,5 %
Farrag et coll., 1988 *Étude longitudinale*	Arabe Égypte	2 878	7-8 10-11	Tests de lecture < 1 écart-type (ADST)	Déficits sensoriels QIT < 90	3 % à 7-8 ans 1 % à 10-11 ans
Esser, 1994 *Étude longitudinale*	Allemand Allemagne	399	8-18	Tests	Exclus les QI bas	9,3 %
Yamada et coll., 1994 *Étude transversale*	Japonais (kana et kanji) Japon	125	10	*Cut off* d'après distribution des tests de lecture (*Bangor Dyslexia Test*)	Déficits sensoriels QI bas	6 %
Bhakta et coll, 2002 *Étude transversale*	Malayalam Inde	1 192	8-12	Test de lecture (Malayalam G. *Reading Test*) < 5 %		8,2 %

Tableau 7.III : Prévalence des troubles de la lecture pour la langue française

Références et type d'étude	Effectif	Âge (années)	Critères d'inclusion	Critères d'exclusion	Prévalence des troubles de la lecture
Sprenger-Charolles et coll., 2000 *Étude longitudinale*	373 (8 ans) 88 (10 ans)	8 et 10	8 ans : < 1 écart-type à une épreuve de langage écrit (Bat-Elem) 10 ans : < à 1 écart-type à une batterie de langage écrit (ANALEC)	À 5 ans : < 25e percentile épreuve d'intelligence non verbale (matrices de Raven) et à une épreuve de vocabulaire (TVAP) Langue maternelle autre que français Déficit auditif ou visuel Non-autorisation des parents	8 ans : 14 % 10 ans : 6 %
Plaza et coll., 2002 *Étude longitudinale*	T1 = 267 T2 = 199	7	< 2 écarts-types (Bat-Elem -A et LMC-R)	Non-autorisation des parents	12 % avec difficultés sévères de lecture en fin de CP
Zorman et coll., 2004 *Étude longitudinale*	525 (5,6 ans) 495 (8 ans)	8	≤2 écarts-type dans la lecture de mots et de pseudo-mots + déficit de conscience phonologique (BSEDS et ODEDYS)	Tirage au sort < 2 années d'apprentissages de la lecture	7,5 %
Delahaie et coll., 2007 *Étude longitudinale*	191	8	< 1 et 2 écarts-types à la lecture de mots et pseudo-mots (EVALEC)	Non-autorisation des parents Déficit auditif	< 1 écart-type : 13 % < 2 écarts-types : 6 %
Watier et coll., 2006 *Étude longitudinale*	2059 (3,6 ans) 695 (8 ans)	8	Scores < 15e percentile à au moins 4/5 épreuves standardisées de langage écrit (Bat-Elem)	Tirage au sort	8,5 %

Niveau de lecture des jeunes convoqués à la journée d'appel de préparation à la défense

Entre 17 et 18 ans, tous les jeunes Français et Françaises sont convoqués à une journée d'appel de préparation à la défense (JAPD) au cours de laquelle ils passent une épreuve d'évaluation de leurs habiletés de lecture. Cette épreuve vise à repérer chez les faibles lecteurs, trois ensembles majeurs de difficultés :

- les difficultés liées à une mauvaise maîtrise des mécanismes d'identifications des mots écrits ou à leur défaut d'automatisation. Ces difficultés sont repérées par une épreuve de jugement d'homophonie dans laquelle il faut décider si des paires alliant un mot et un pseudo-mot se prononcent de la même façon (par exemple, main-min, regard-rejar) ; cette épreuve en temps limité permet de contrôler l'exactitude et la vitesse des traitements. En cas de mauvaise maîtrise ou de mauvaise automatisation des mécanismes responsables de l'identification des mots, les lecteurs laborieux doivent consacrer leur attention à la reconnaissance de mots plutôt que de pouvoir la consacrer à la compréhension du texte. Chez les bons lecteurs, l'identification des mots se fait sans y réfléchir ;
- les difficultés liées à la pauvreté du lexique. Elles sont repérées par une épreuve de décision lexicale dans laquelle il faut décider si chaque item est ou n'est pas un mot de la langue ; les mots sont de fréquences variables ce qui permet de mesurer un niveau de vocabulaire. Bien entendu, on ne peut comprendre un texte si on ne connaît pas les mots qui le composent ;
- les difficultés liées à une mauvaise compréhension. Elles sont repérées par des réponses à des questions portant d'une part sur un document écrit – un programme de cinéma – d'autre part sur un texte extrait d'un roman. Nombre de jeunes sont peu efficaces dans le traitement de l'écrit, soit par défaut d'expertise, soit par difficultés de maintien de l'attention… bien que ni leur capacité à identifier des mots, ni leur compétence langagière ne soit en cause.

En 2004, près de 800 000 jeunes hommes et femmes de 17 ans ou plus, de nationalité française[17] , ont participé à cette journée d'appel de préparation à la défense[18]. En limitant l'analyse aux 733 000 jeunes de France métropolitaine[19], il apparaît que 79,5 % des jeunes français sont des lecteurs habiles. En revanche, 11 % rencontrent des difficultés de compréhension notables. Pour une partie de ceux-ci (4,4 % de l'ensemble de la population),

17. Seuls les jeunes de nationalité française sont concernés par la JAPD, la proportion de jeunes de langue maternelle autre que le français est donc ici nettement moindre que dans les établissements scolaires qui accueillent également des élèves d'autres nationalités.
18. Pour une présentation détaillée des résultats, voir De La Haye et coll., 2005.
19. Les très mauvais résultats en France d'outre-mer sont en partie liés à des situations de diglossie auxquelles le test n'est pas adapté, ces résultats ne sont donc pas pris en compte ici.

ces difficultés sont très importantes ; ces jeunes cumulent une compréhension quasi-nulle et un lexique très pauvre, la moitié d'entre eux (2,4 %) n'ayant de surcroît pas mis en place les mécanismes de base de traitement des mots écrits. Le reste des jeunes (9,5 % de l'ensemble) constitue un groupe de lecteurs médiocres et, si leur pratique de la lecture n'est pas suffisante, une partie d'entre eux sont susceptibles d'oublier leurs acquis lorsqu'ils auront quitté le système scolaire.

Pour chacune des trois dimensions testées, un seuil de maîtrise a été fixé : en deçà d'un certain niveau, on peut considérer que les jeunes éprouvent des difficultés sur la compétence visée (-), au-delà, la compétence est jugée maîtrisée (+). À partir de la combinaison des résultats, huit profils de lecteurs ont été déterminés (tableau 7.IV).

Tableau 7.IV : Profils de lecteurs

Profil	Compréhension	Identification des mots	Connaissances lexicales	Garçons (%)	Filles (%)	Ensemble (%)	Niveau de lecture
5d	+	+	+	59,3	68,8	63,9	Lecteurs efficaces 79,5 %
5c	+	-	+	17,4	13,7	15,6	
5b	+	+	-	6,1	7,3	6,7	Lecteurs médiocres 9,5 %
5a	+	-	-	3,1	2,4	2,8	
4	-	+	+	4,6	2,9	3,8	Très faibles capacités de lecture 6,6 %
3	-	-	+	3,9	1,7	2,8	
2	-	+	-	2,4	1,6	2,0	Difficultés sévères 4,4 %
1	-	-	-	3,3	1,6	2,4	

La catégorisation en profils permet d'apprécier plus finement les compétences des jeunes, que ce soit ceux réputés lecteurs efficaces (profils 5c et 5d), ceux en grande difficulté (profils 1 à 4) ou ceux en situation « intermédiaire » (profils 5a et 5b) :

- profils 5 : ils regroupent les lecteurs habiles dont les bases sont solides (5d), et ceux qui, en dépit de difficultés d'identification de mots (5c), d'un niveau lexical faible (5b) ou des deux (5a), compensent leurs lacunes et réussissent au moins en partie les épreuves de lectures complexes. Certains de ces lecteurs demeurent toutefois de médiocres utilisateurs de l'écrit ;
- profil 4 : ces jeunes sont capables de lecture à voix haute. Ils ont un niveau de lexique correct mais comprennent mal ce qu'ils lisent ;

• profil 3 : malgré un niveau de lexique correct, la lecture reste laborieuse par manque d'automaticité dans le traitement des mots ;
• profil 2 : pour ce profil, le déficit de compréhension est sans doute lié à un niveau lexical très faible ;
• profil 1 : ces jeunes ne disposent pas de mécanismes efficaces de traitement des mots écrits et manifestent une compréhension très déficiente.

Les jeunes les plus en difficulté (profils 1 et 2), qui représentent 4,4 % de l'ensemble, cumulent une compréhension très faible de l'écrit avec une très faible capacité à reconnaître des mots écrits comme étant des mots de la langue. De surcroît, les jeunes du profil 1 (2,4 %) n'ont pas installé les mécanismes de base du décodage. Parmi eux, certains sont sans doute non-lecteurs.

En revanche, les jeunes des profils 3 et 4 (6,6 %) identifient une proportion non négligeable des mots écrits mais ne parviennent pas à traiter les écrits complexes. Pour les jeunes du profil 3 (2,8 %), des mécanismes de lecture déficitaires peuvent être invoqués. Pour le reste, d'autres facteurs viennent empêcher une lecture efficace (manque d'attention, stratégie défaillante, inhibition, difficulté de mémorisation…). Sans qu'il soit possible de le vérifier dans les données disponibles, il est vraisemblable que pour nombre des jeunes des profils 1 et 3, la non-installation (ou la non-automatisation) des mécanismes de base de la lecture soit liée à un trouble spécifique de l'apprentissage.

Quatre niveaux de scolarité ont été définis : un niveau 1 correspondant à des études n'ayant pas dépassé le collège ; un niveau 2 correspondant à des études professionnelles courtes (niveau CAP ou BEP) ; un niveau 3 correspondant à des études professionnelles et techniques supérieures au BEP et allant jusqu'au baccalauréat professionnel ou au brevet de technicien ; un niveau 4 correspondant aux études générales à partir du lycée.

Comme on pouvait s'y attendre, les jeunes en grande difficulté de lecture sont de moins en moins nombreux à mesure que le niveau d'étude s'élève (figure 7.1). Leur présence dans les niveaux les plus élevés, qui est marginale (3 %), doit conduire à s'interroger sur le degré de sérieux de certains jeunes qui peuvent ne pas percevoir les enjeux de cette évaluation et la prendre à la légère. En revanche, la proportion de jeunes en difficulté est loin d'être négligeable chez ceux qui sont encore en enseignement professionnel court, en collège ou en SEGPA ou ont quitté la formation initiale à ces niveaux. Parmi les jeunes qui n'ont pas atteint la fin du collège, 27 % sont en difficulté de lecture. Pour ceux qui suivent ou ont suivi un enseignement professionnel court, ce taux est de 21 %.

Figure 7.1 : Pourcentages de jeunes en difficulté de lecture (profils 1 à 4) selon le niveau de scolarité (4 niveaux) et le sexe

Près de huit jeunes sur dix en difficulté de lecture n'ont pas dépassé le collège ou suivent (ou ont suivi) un enseignement professionnel court, contre moins de quatre sur dix pour l'ensemble des participants à la JAPD. Enfin, le pourcentage de jeunes en grande difficulté est très différent selon le sexe : 14,2 % des garçons contre 7,8 % des filles, cette différence s'observe quel que soit le niveau d'étude atteint.

Facteurs de risque et facteurs associés

L'influence des facteurs pré- et périnatals (faible poids à la naissance, jeune âge maternel, faible niveau d'études maternel, mono-parentalité…) a été montrée à plusieurs reprises pour les difficultés scolaires (Larroque et coll., 2001 ; Finnström et coll., 2003) et pour les troubles de la lecture en particulier (Silva et coll., 1983 ; Stanton-Chapman et coll., 2002). Cependant, d'autres études n'ont pas mis en évidence le rôle de ces facteurs. Ainsi, Esser et Schmitd (1993) ne trouvent pas de relation entre un retard dans l'apprentissage de la lecture et des complications pré- ou périnatales. Une différence de sexe contradictoire, soit à l'avantage des filles, soit à l'avantage des garçons, dans l'influence de ces facteurs sur les troubles des apprentissages a parfois été évoquée (Johnson et Breslau, 2000 ; St Sauver et coll., 2001).

L'influence des troubles du langage oral sur le langage écrit est bien établie (Vellutino et coll, 1991 ; Aram et coll, 1992 ; Fletcher et coll, 1994 ; Wagner et coll, 1997 ; Lewis et coll., 2000 ; Bishop et Snowling, 2004). Ainsi, dans une cohorte d'enfants suivis depuis l'école maternelle, Catts et coll. (2002) ont mis en évidence des problèmes de lecture en

4e année d'école primaire chez 63,3 % des enfants identifiés comme ayant des difficultés de langage oral à 5,6 ans contre 8,5 % chez les autres enfants (sans problèmes de langage).

Le milieu défavorisé est considéré comme un critère d'exclusion préconisé par les classifications de la CIM-10 et du DSM-IV. Si peu d'études ont approfondi l'influence du milieu socioculturel sur ces troubles (Margai et Henry, 2003), celle de Molfese et coll. (2003) a mis en évidence des liens entre des mesures de l'environnement socioéconomique à 3 ans et les performances en lecture à 10 ans. En France, les données de la cohorte Chevrie-Müller (1987-1994) montrent clairement un effet négatif du niveau socioculturel défavorisé sur les performances au langage écrit (*odds ratio*=5, Watier et coll., 2006). De même, Plaza et coll. (2002) trouvent que la catégorie socioéconomique est une variable prégnante sur les performances en langage écrit d'enfants en fin de CP de la banlieue parisienne. Parmi les enfants du groupe défavorisé, 38 % ont des difficultés moyennes et sévères en lecture contre seulement 7 % des enfants du groupe favorisé. En Inde, Bhakta et coll. (2002) ont mis en évidence une relation forte entre les difficultés de lecture, la pauvreté et l'éducation des parents. Il reste à s'interroger plus précisément sur les éventuelles interactions entre le milieu socioculturel et les facteurs biologiques de la dyslexie et à propos de leurs effets sur les manifestations des troubles spécifiques des apprentissages.

Les études portant sur les populations anglaises de l'Ile de Wight et de Londres (Yule et coll., 1974) sont représentatives des différences géographiques/sociales. En effet, avec la même définition de la dyslexie, la prévalence retrouvée était de 3,6 % sur l'Ile de Wight et de 9,3 % à Londres, où les sujets étaient en moyenne de milieux moins favorisés. Cette différence persistait après exclusion des sujets bilingues, présents seulement dans la population londonienne (Berger et coll., 1975). Une autre étude, fondée sur le recours aux soins de la population anglaise d'origine asiatique (Pakistan), montre que la prévalence des troubles des apprentissages est à peu près trois fois plus importante dans cette population que dans celle de la communauté non-asiatique (Emerson et coll., 1997). Cependant, les travaux sur l'influence du bilinguisme dans l'apprentissage de la lecture ont donné lieu, dans leur ensemble, à des résultats contradictoires (Deponio et coll., 2000).

Le sexe est l'un des facteurs de variation souvent associé à la dyslexie. Un article de Shaywitz et coll. (1990) a déclenché une polémique sur la différence entre garçons et filles dans la prévalence de la dyslexie. Les auteurs soutenaient qu'il y avait autant de garçons que de filles dyslexiques, et que la prépondérance de garçons retrouvée dans plusieurs études n'était que la conséquence d'un biais lié aux problèmes de comportement, plus fréquents chez les garçons. Pour Shaywitz et coll. (1990), les enseignants signaleraient plus souvent des problèmes d'apprentissage chez les garçons à cause des problèmes de comportement associés. À l'heure actuelle, sur la base de nouvelles données d'études épidémiologiques (Fergusson et coll., 1996 ; Flannery

et coll., 2000 ; Katusic et coll., 2001 ; St Sauver et coll., 2001 ; Liederman et coll., 2005) et d'une ré-analyse des données de quatre études épidémiologiques indépendantes (Rutter et coll., 2004), il apparaît que les problèmes de lecture sont de 1,5 à 3 fois plus fréquents chez les garçons que chez les filles. En France, cette différence entre garçons et filles est illustrée indirectement par les données des enfants de la cohorte Gazel (n=2 582 enfants âgés de 4 à 16 ans ; Fombonne et Vermeersch, 1997) : plus de garçons que de filles consultent des spécialistes pour des problèmes de lecture et d'écriture. De plus, le Programme international pour le suivi des acquis des élèves (Pisa ; OCDE, 2003) montre, chez des jeunes de 15 ans de 32 pays, que les filles ont des capacités de lecture supérieures à celles des garçons, l'ampleur de cette différence variant d'un pays à l'autre. Si la différence de sexe dans l'apprentissage de la lecture ne fait plus de doute, les causes à la base de cette différence restent à explorer (Nass, 1993). Leur connaissance devrait permettre d'élucider les processus sous-jacents aux problèmes de lecture pour les deux sexes (Rutter et coll., 2004).

D'autres facteurs de risque ont été évoqués pour les troubles spécifiques des apprentissages tels qu'une déficience en acides gras poly-insaturés (Richardson et coll., 2000 a et b) ou la saison de naissance (Livingston et coll., 1993). Cependant l'effet de ces facteurs n'est pas prouvé à l'heure actuelle.

Évolution avec l'âge

Les études longitudinales (Scarborough, 1984 et 1990 ; Francis et coll., 1996 ; Wright et coll., 1996 ; Shaywitz et coll., 1999 ; Sprenger-Charolles et coll., 2000) indiquent que la dyslexie persiste avec l'âge et représente donc un déficit persistant et non transitoire du développement (Shaywitz et coll., 1995 ; Shaywitz et coll., 1999) même si le suivi longitudinal des enfants dyslexiques pose le problème de la stabilité des classifications dans le temps (Share et Silva, 1986). En effet, avec des classifications établies à partir d'un seuil, de petites variations dans les scores, sur un continuum, peuvent faire passer certains enfants d'un côté ou de l'autre des limites prédéfinies (Jorm et coll., 1986).

En conclusion, malgré un certain accord sur la définition des troubles spécifiques des apprentissages, compte tenu de l'arbitraire qui est à la base du choix des seuils, il est impossible de fournir des taux « objectifs » de prévalence d'un trouble spécifique de la lecture clairement dissocié des difficultés scolaires d'origines diverses. Cependant, d'après les études méthodologiquement les plus rigoureuses, nous pouvons estimer que la dyslexie concerne au minimum entre 3 % et 5 % d'enfants. Au niveau de l'école, cela se traduit

par au moins un enfant par classe. Ainsi, le nombre d'enfants concernés est tel que la dyslexie constitue un vrai problème de santé publique.

BIBLIOGRAPHIE

BADIAN NA. Reading disability defined as a discrepancy between listening and reading comprehension: A longitudinal study of stability, gender differences, and prevalence. *J Learn Disabil* 1999, **32** : 138-148

BERGER M, YULE W, RUTTER M. Attainment and adjustment in two geographical areas II. The prevalence of specific reading retardation. *British Journal of Psychiatry* 1975, **126** : 510-519

BHAKTA P, HACKETT RJ, HACKETT L. The prevalence and associations of reading difficulties in a population of South Indian children. *J Res Reading* 2002, **25** : 191-202

BISHOP DV, SNOWLING MJ. Developmental dyslexia and specific language impairment: same or different? *Psychol Bull* 2004, **130** : 858-886

DELAHAIE M, SPRENGER-CHAROLLES L, SERNICLAES W. Développement des procedures d'identification des mots écrits entre 6 et 8 ans chez des enfants « tout venant » en fonction du niveau de lecture. *Année Psychologique* (accepté pour publication)

DE LA HAYE F, GOMBERT JE, RIVIÈRE JP, ROCHER T. Les évaluations en lecture dans le cadre de la journée d'appel de préparation à la défense, année 2004. Note évaluation. Ministère de L'Éducation nationale, DEP, septembre 2005

DEPONIO P, LANDON J, MULLIN K, REID G. An audit of the processes involved in identifying and assessing bilingual learners suspected of being dyslexic: a Scotish study. *Dyslexia* 2000, **6** : 29-41

EMERSON E, AZMI S, HATTON C, CAINE A, PARROTT R, WOLSTENHOLME J. Is there an increased prevalence of severe learning disabilities among British Asians? *Ethn Health* 1997, **2** : 317-321

ESSER G, SCHMIDT MH. Children with specific reading retardation-early determinants and long-term outcome. *Acta Paedopsychiatr* 1994, **56** : 229-237

FARRAG AF, EL-BEHARY AA, KANDIL MR. Prevalence of specific reading disability in Egypt. *Lancet* 1988, **2** : 837-839

FERGUSSON DM, HORWOOD LJ, SHANNON FT, LAWTON JM. The Christchurch Child Development Study: a review of epidemiological findings. *Paediatr Perinat Epidemiol* 1989, **3** : 302-325

FERGUSSON DM, HORWOOD LJ, CASPI A, MOFFITT TE, SILVA PA. The (artefactual) remission of reading difficulties. *Dev Psychol* 1996, **32** : 132-140

FINNSTROM O, GADDLIN PO, LEIJON I, SAMUELSSON S, WADSBY M. Very-low-birthweight children at school age: academic achievement, behavior and self-esteem and relation to risk factors. *J Matern Fetal Neonatal Med* 2003, **14** : 75-84

FLANNERY KA, LIEDERMAN J, DALY L, SCHULTZ J. Male prevalence for reading disability is found in a large sample of black and white children free from ascertainment bias. *J Int Neuropsychol Soc* 2000, **6** : 433-442

FOMBONNE E, VERMEERSCH S. Children from the GAZEL cohort: II-motive for contact with the medical-educational system by age and sex. *Rev Epidemiol Sante Publique* 1997, **45** : 107-115

FRANCIS DJ, SHAYWITZ SE, STUEBING KK, SHAYWITZ BA, FLETCHER JM. Developmental lag versus deficits models of reading disabilities: a longitudinal, individual growth curves analysis. *J Ed Psychology* 1996, **88** : 3-17

JOHNSON EO, BRESLAU N. Increased risk of learning disabilities in low birth weight boys at age 11 years. *Biol Psychiatry* 2000, **47** : 490-500

JORM AF, SHARE DL, MATTHEWS R, MAC LEAN R. Behaviour problems in specific reading retarded and general reading backward children: A longitudinal study. *Journal of Child Psychology and Psychiatry and Allied Disciplines* 1986, **27** : 33-43

KATUSIC SK, COLLIGAN RC, BARBARESI WJ, SCHAID DJ, JACOBSEN SJ. Incidence of reading disability in a population-based birth cohort, 1976-1982, Rochester, Minn. *Mayo Clin Proc* 2001, **76** : 1081-1092

LEWIS BA, FREEBAIRN LA, TAYLOR HG. Academic outcomes in children with histories of speech sound disorders. *J Commun Disord* 2000, **33** : 11-30

LIEDERMAN J, KANTROWITZ L, FLANNERY K. Male vulnerability to reading disability is not likely to be a myth: a call for new data. *J Learn Disabil* 2005, **38** : 109-129

LINDGREN SD, DE RENZI E, RICHMAN LC. Cross-national comparisons of developmental dyslexia in Italy and the United States. *Child Development* 1985, **56** : 1404-1417

LIVINGSTON R, ADAM BS, BRACHA HS. Season of birth and neurodevelopmental disorders: summer birth is associated with dyslexia. *J Am Acad Child Adolesc Psychiatry* 1993, **32** : 612-616

MAKITA K. The rarity of reading disability in Japanese children. *Journal of Orthopsychiatry* 1968, **38** : 599-614

MARGAI F, HENRY N. A community-based assessment of learning disabilities using environmental and contextual risk factors. *Soc Sci Med* 2003, **56** : 1073-1085

MILES E. Dyslexia may show a different face in different languages. *Dyslexia* 2000, **6** : 193-201

MILES E. Some problems in determining the prevalence of dyslexia. *Electronic Journal of Research in Educational Psychology* 2004, **2** : 5-12

MOLFESE VJ, MODGLIN A, MOLFESE DL. The role of environment in the development of reading skills: a longitudinal study of preschool and school-age measures. *J Learn Disabil* 2003, **36** : 59-67

MURAT F. Les compétences des adultes à l'écrit, en calcul et en compréhension orale. *Insee Première* 2005, **1044** : 1-4

NASS RD. Sex differences in learning abilities and disabilities. *Ann Dyslexia* 1993, **43** : 61-77

ORGANISATION POUR LA COOPÉRATION ÉCONOMIQUE ET LE DÉVELOPPEMENT (OCDE). Learning for Tomorrow's World–First Results from PISA 2003, OECD 2003

OMOTOSHO JA. Learning disability problems prevalent among elementary school age children in Ilorin metropolis: Implications for special education and counselling. *IFE Psychologia* 2001, **9** : 128-133

PAULESU E, DÉMONET JF, FAZIO F, MCCRORY E, CHANOINE V, et coll. Dyslexia: cultural diversity and biological unity. *Science* 2001, **291** : 2165-2167

PLAZA M, CHAUVIN D, LANTHIER O, RIGOARD M-T, ROUSTIT J, et coll. Validation longitudinale d'un outil de dépistage des troubles du langage écrit. Étude d'une cohorte d'enfants dépistés en fin de CP et réévalués en fin de CE1. *Glossa* 2002, **81** : 22-33

RICHARDSON AJ, CALVIN CM, CLISBY C, SCHOENHEIMER DR, MONTGOMERY P, et coll. Fatty acid deficiency signs predict the severity of reading and related difficulties in dyslexic children. *Prostaglandins Leukot Essent Fatty Acids* 2000a, **63** : 69-74

RICHARDSON AJ, ROSS MA. Fatty acid metabolism in neurodevelopmental disorder: a new perspective on associations between attention-deficit/hyperactivity disorder, dyslexia, dyspraxia and the autistic spectrum. *Prostaglandins Leukot Essent Fatty Acids* 2000b, **63** : 1-9

RODGERS B. The identification and prevalence of specific reading retardation. *British Journal of Educational Psychology* 1983, **53** : 369-373

RUTTER M, CASPI A, FERGUSSON D, HORWOOD LJ, GOODMAN R, et coll. Sex differences in developmental reading disability: new findings from 4 epidemiological studies. *Jama* 2004, **291** : 2007-2012

SCARBOROUGH HS. Continuity between childhood dyslexia and adult reading. *Br J Psychol* 1984, **75** : 329-348

SCARBOROUGH HS. Very early language deficits in dyslexic children. *Child Dev* 1990, **61** :1728-1743

SHARE DL, SILVA PA. The stability and classification of specific reading retardation: A longitudinal study from age 7 to 11. *British Journal of Educational Psychology* 1986, **56** : 32-39

SHAYWITZ SE, SHAYWITZ BA, FLETCHER JM, ESCOBAR MD. Prevalence of reading disability in boys and girls. Results of the Connecticut Longitudinal Study. *Jama* 1990, **264** : 998-1002

SHAYWITZ SE, FLETCHER JM, HOLAHAN JM, SHNEIDER AE, MARCHIONE KE, et coll. Persistence of dyslexia: the Connecticut Longitudinal Study at adolescence. *Pediatrics* 1999, **104** : 1351-1359

SILVA PA, MCGEE R, WILLIAMS SM. Developmental language delay from three to seven years and its significance for low intelligence and reading difficulties at age seven. *Dev Med Child Neurol* 1983, **25** : 783-793

SPRENGER-CHAROLLES L, COLE P, LACERT P, SERNICLAES W. On subtypes of developmental dyslexia: Evidence from processing time and accuracy scores. *Can J Exp Psychol* 2000, **54** : 87-104

ST SAUVER JL, KATUSIC SK, BARBARESI WJ, COLLIGAN RC, JACOBSEN SJ. Boy/girl differences in risk for reading disability: potential clues? *Am J Epidemiol* 2001, **154** : 787-794

STANTON CHAPMAN TL, CHAPMAN DA, BAINBRIDGE NL, SCOTT KG. Identification of early risk factors for language impairment. *Res Dev Disabil* 2002, **23** : 390-405

STEVENSON HW, STIGLER JW, LUCKER GW, LEE S, HSU C, KITAMURA S. Reading disabilities-the case of Chinese, Japanese and English. *Child Development* 1982, **53** : 1164-1181

WATIER L, DELLATOLAS G, CHEVRIE-MULLER C. Difficultés de langage et de comportement à 3 ans et demi et retard en lecture au CE1 : une étude longitudinale sur 693 enfants. *Revue d'Épidémiologie et de Santé Publique*, 2006, **54** : 327-339

WRIGHT SF, FIELDS H, NEWMAN SP. Dyslexia: stability of definition over a five year period. *Journal of research in reading* 1996, **19** : 46-60

YAMADA J, BANKS A. Evidence for and characteristics of dyslexia among Japanese children. *Ann Dyslexia* 1994, **44** : 105-119

YULE W, RUTTER M, BERGER M, THOMPSON J. Over- and under-achievement in reading: distribution in the general population. *Br J Educ Psychol* 1974, **44** : 1-12

ZORMAN, M, LEQUETTE C, POUGET G. Dyslexies : intérêt d'un dépistage et d'une prise en charge précoce à l'école. *In* : Développement cognitif et troubles des apprentissages : évaluer, comprendre, rééduquer et prendre en charge. METZ-LUTZ MN, DEMONT E, SEEGMULLER C, DE AGOSTINI M, BRUNEAU N (eds). Solal, Marseille, 2004 : 245-270

8

Dyslexie : études de cas

La plupart des recherches effectuées tant en neuropsychologie qu'en neurosciences ou en génétique sur les troubles spécifiques d'acquisition de la lecture suggèrent une forte hétérogénéité de la population dyslexique (Boder, 1973 ; Mattis et coll., 1975 ; Mitterer, 1982 ; Seymour et MacGregor, 1984 ; Frith, 1985 ; Castles et Coltheart, 1993 ; Morris et coll., 1998 ; Fisher et De Fries, 2002 ; Shaywitz et coll., 2003 ; Bailey et coll., 2004). Les études de cas permettent d'illustrer cette hétérogénéité, en revanche, elle n'apparaît pas dans le contexte des études de groupe qui cherchent à montrer les tendances générales caractéristiques de la population dyslexique sans prise en compte de la variabilité observée au sein de cette population.

Méthodologie de l'étude de cas unique

La méthode de l'étude de cas unique a été proposée en neuropsychologie dans le but de comprendre le fonctionnement cognitif normal à partir de l'étude de cas pathologiques (Caramazza, 1984 et 1986 ; Caramazza et McCloskey, 1988 ; McCloskey et Caramazza, 1988). L'étude de cas requiert une analyse exhaustive des performances d'un individu unique, cette analyse étant menée par référence à un modèle théorique de la fonction étudiée. C'est-à-dire qu'un grand nombre de tâches choisies pour leur capacité à évaluer les différentes composantes de la fonction cognitive d'intérêt sont proposées au même individu. Le terme « analyse exhaustive » renvoie à l'idée selon laquelle les épreuves proposées doivent être choisies de façon à évaluer l'ensemble des aptitudes cognitives requises par la fonction (ici, la lecture), selon le modèle de référence. C'est ensuite le profil cognitif dans son ensemble qui est pris en compte dans l'interprétation. L'idée majeure est qu'il est quasiment impossible d'interpréter la performance obtenue sur une épreuve unique (lecture de pseudo-mot, répétition…) dans la mesure où toute épreuve met nécessairement en jeu tout un ensemble de procédures cognitives différentes (Caramazza, 1984). En revanche, la prise en compte de l'ensemble des performances sur des épreuves variées contraint l'interprétation sur chaque épreuve particulière (Caramazza et Hillis, 1990). Imaginons par exemple qu'un individu donné échoue sur une épreuve E1 qui met en

jeu les composantes cognitives a, b et c. On ne pourra affirmer que cet échec doit être interprété comme résultant d'un dysfonctionnement de la composante a que si l'on démontre qu'il est également déficitaire sur les épreuves E2 (a, b, d, e), E3 (a, d, c, f) et E4 (a, e, f) par exemple mais que ses performances sont normales sur des épreuves comme E5 (b, e, f, k) et E6 (c, d, f, g) qui elles, n'impliquent pas la composante a. La méthodologie de l'étude de cas implique donc de proposer à un individu un nombre d'épreuves suffisant pour évaluer chaque composante du système de lecture et de multiplier les épreuves évaluant une composante donnée afin d'en estimer l'efficacité.

Les études de cas unique sont complémentaires des études de groupe. Ces dernières permettent de définir des tendances au sein de la population générale et de répondre à des questions statistiques sur cette population. Les études de cas, selon Caramazza (1986, voir également Caramazza et Badecker, 1991), permettent d'expliquer les troubles d'un patient, c'est-à-dire d'identifier la (ou les) composante(s) cognitive(s) dont le dysfonctionnement rend compte de la performance déficitaire observée. Elles permettent également d'éprouver la validité du modèle théorique de référence.

À l'origine, les études de cas effectuées auprès d'enfants présentant des dyslexies développementales ont eu pour objectif de valider le modèle double-voie de lecture. Dans ce contexte, il a été tenté de mettre en évidence l'existence, en contexte développemental, de profils de performances distincts similaires à ceux qui avaient été préalablement décrits chez des adultes précédemment bons lecteurs et présentant une dyslexie acquise suite à une atteinte cérébrale (Snowling, 1981 ; Marshall, 1984 ; voir De Partz et Valdois, 1999 pour une revue). Des sous-types distincts de dyslexie ont ainsi été décrits chez l'enfant, analogues à ceux précédemment décrits chez l'adulte et semblant valider le modèle de référence. Leur intérêt réside également dans la mise en évidence de profils de performance très nettement différenciés conduisant à s'interroger sur la vraisemblance de toute théorie qui tenterait de réduire la variété des troubles dyslexiques à un dysfonctionnement unique.

Sémiologie des différentes formes de dyslexies développementales

Différentes formes de dyslexies développementales ont été décrites jusqu'ici. Certaines formes (dyslexie visuelle, dyslexie par négligence, dyslexie profonde) ont fait l'objet d'une attention limitée, alors que d'autres comme la dyslexie phonologique et de surface ont été plus largement étudiés. Ceci est sans doute à mettre en relation avec le débat qui oppose depuis une vingtaine d'années les tenants des modèles connexionnistes de lecture de type PDP (*parallel distributed processing* ; Seidenberg et McClelland, 1989 ;

Plaut et coll., 1996 ; Harm et Seidenberg, 1999 et 2004) aux défenseurs du modèle double-voie (Coltheart, 1978 ; Coltheart et coll., 2001). En effet, l'interprétation de formes différenciées caractérisées par des profils radicalement opposés, comme c'est le cas des dyslexies développementales phonologique et de surface, représente un véritable défi pour les modèles théoriques de lecture. À l'opposé, certaines formes qui ont pourtant été décrites comme majoritaires dans la population dyslexique (Castles et Coltheart, 1993 ; Manis et coll., 1996 ; Sprenger-Charolles et coll., 2000), en l'occurrence les dyslexies mixtes, n'ont fait l'objet d'aucune étude sérieuse dans la mesure où elles n'ont pas été jusqu'ici jugées cruciales au débat théorique.

Dyslexie visuelle et dyslexie par négligence

La dyslexie visuelle et la dyslexie par négligence ont fait l'objet de peu d'études de cas.

Dyslexie visuelle

Un seul cas de dyslexie visuelle a été décrit chez l'enfant (Valdois et coll., 1995) en tant qu'analogue des formes de dyslexies visuelles – elles-mêmes apparemment rares – décrites chez l'adulte suite à une atteinte du système nerveux central. Olivia est une enfant de 10 ans 2 mois qui présente des difficultés de lecture (niveau de lecture estimé à 7 ans 7 mois) sans trouble associé du langage oral et dans le contexte d'une efficience intellectuelle normale (QIV[20] = 119 ; QIP[21] = 103). La lecture de texte est lente et les sauts de lignes sont fréquents. La lecture de mots isolés est caractérisée par la production presque exclusive d'erreurs visuelles, consistant à produire un autre mot orthographiquement proche du mot présenté (par exemple : « girafe » lu « guitare » ; « joie » lu « jolie »). Les erreurs produites n'entretiennent pas de lien sémantique avec la cible et se traduisent par des additions, omissions, substitutions ou déplacements de lettres qui n'affectent pas plus particulièrement le début, le milieu ou la fin du mot lorsque le temps de présentation n'est pas contrôlé. La performance en lecture n'est par ailleurs pas influencée par des variables telles que la fréquence ou la régularité du mot qui laisseraient supposer un déficit des processus centraux. Dans une tâche de copie différée de mots et pseudo-mots présentés en temps limités, Olivia présente des difficultés pour traiter la totalité des lettres de la séquence et encoder leur position relative. Ainsi, lorsque des pseudo-mots sont présentés en 100 ms, elle produit préférentiellement les lettres finales du mot, au détriment des lettres initiales et médianes. La tendance s'inverse

20. QIV : quotien intellectuel verbal
21. QIP : quotien intellectuel de performance

pour des temps d'exposition plus longs (400 ms ou 1 000 ms) où ce sont les lettres initiales qui sont les mieux identifiées au détriment des lettres finales. Des particularités de traitement de la séquence des lettres du mot sont également mises en évidence dans une épreuve de comparaison de mots. Les temps de réaction sont alors plus longs lorsque les mots se distinguent par leurs lettres initiales (par exemple : pomme/gomme ; croix/choix) que par leurs lettres finales (ville/villa ; verre/verte), contrairement aux témoins. Ces résultats suggèrent une mauvaise orientation initiale de l'attention (biais attentionnel droit) et la nécessité de reporter l'attention sur le début du mot au cours du traitement lorsque le temps de présentation le permet. Ce défaut d'orientation attentionnelle aurait pour conséquence de ralentir la lecture de texte et de perturber l'encodage positionnel de l'information.

Dyslexie par négligence

La dyslexie par négligence se caractérise par des erreurs qui portent systématiquement sur une portion donnée du mot (par exemple, sa partie gauche). Un seul cas de dyslexie développementale par négligence a été décrit jusqu'ici (Friedmann et Nachman-Katz, 2004). Il s'agit d'un jeune garçon de 9 ans, NT, droitier qui présente un trouble d'acquisition de la lecture de l'Hébreu malgré une intelligence normale et alors qu'il est indemne de toute lésion cérébrale. Son trouble de lecture se caractérise par des erreurs qui concernent très majoritairement les lettres finales des mots (en fait, les lettres de gauche étant donné le sens de lecture droite-gauche en Hébreu). Ainsi, confronté à la lecture de mots courts isolés, NT donne 50 % de réponses correctes et 96 % des erreurs observées concernent les lettres finales. Le même profil est obtenu en lecture de pseudo-mots et les erreurs observées en décision lexicale résultent également d'un mauvais traitement des lettres finales. Par ailleurs, on ne relève chez NT aucun signe clinique de négligence spatiale unilatérale : il réalise notamment parfaitement les épreuves de barrages de signes ou de copies de dessins. De même, lorsqu'on lui demande de traiter deux mots présentés simultanément à droite et à gauche du point de fixation, les erreurs portent sur les finales des deux mots proposés ; en revanche, aucune des erreurs ne consiste à omettre le mot de gauche dans son ensemble. Le même pattern est obtenu en lecture de phrases avec de fréquentes erreurs sur la partie finale des mots sans omission de la partie gauche de la phrase. Le trouble ne s'observe par ailleurs que lorsque les mots sont présentés horizontalement. NT lit ainsi correctement 90 % des items présentés verticalement contre seulement 45 % en présentation horizontale. Les erreurs sont de même nature en production écrite. Le trouble est majeur en écriture sous dictée avec seulement 15 % de mots orthographiés correctement et les difficultés sont plus marquées sur les lettres finales, comme en lecture. Les auteurs montrent par ailleurs que les performances sont améliorées en lecture lorsqu'on attire l'attention de NT sur la fin des mots en utilisant soit un signal lumineux, soit des lettres colorées, soit en positionnant son doigt à la fin du mot et lui demandant de taper du doigt pendant la

lecture. NT ne présente cependant pas de trouble visuo-attentionnel de type mini-héminégligence puisqu'il réussit normalement les épreuves de détection de cible avec indiçage (paradigme de Posner ; voir chapitre sur la dimension visuelle des dyslexies).

Le profil de performance de NT est bien conforme au profil classiquement décrit chez l'adulte cérébrolésé de dyslexie par négligence. Même si les auteurs relatent des difficultés initiales de maîtrise du langage oral chez NT et un trouble de la conscience phonémique au moment de l'évaluation (avec une conscience phonologique limitée aux syllabes et aux rimes sans accès au phonème), les erreurs caractéristiques qu'il produit en lecture ne peuvent en aucun cas être interprétées comme résultant d'un trouble phonologique. Ces erreurs sont très clairement liées à la position relative des lettres dans la séquence (indépendamment de leurs caractéristiques sonores) et à l'orientation du mot, les erreurs disparaissant en présentation verticale. Ce cas conduit donc à penser que des troubles périphériques intéressant les traitements visuels dans leur composante attentionnelle peuvent interférer avec l'apprentissage de la lecture.

Dyslexie profonde

Plusieurs cas ont été décrits dans la littérature comme présentant une dyslexie profonde développementale (Jorm, 1979 ; Johnston, 1983 ; Siegel, 1985 ; Temple, 1988 ; Stuart et Howard, 1995). Cette forme de dyslexie se caractérise par une lecture quasiment impossible des pseudo-mots et un effet de concrétude en lecture de mots isolés : les mots concrets tels que « table », « voiture », « arbre » ou « nez » sont mieux lus que les mots abstraits comme « peur », « misère », « souci » ou « curiosité ». La production fréquente d'erreurs sémantiques (par exemple : « tigre » lu « lion ») en lecture de mots isolés est un des signes cardinaux de la dyslexie profonde dans sa forme acquise. Or, l'existence de ce type de dyslexie en contexte développemental reste contestable. D'une part, l'ensemble des cas qui ont été décrits correspondent à des enfants dont le niveau intellectuel est faible (autour de 70 dans la plupart des cas). Un QI de 54 est même mentionné pour le cas KJ décrit par Stuart et Howard (1995). Le critère de niveau intellectuel dans la norme classiquement retenu dans la définition même du trouble dyslexique n'est donc pas respecté. D'autre part, la production d'erreurs sémantiques avérées reste relativement limitée et ne diffère pas nécessairement de la norme, à l'exception peut-être de KJ (Stuart et Howard, 1995). Enfin, les cas décrits correspondent à des enfants qui sont pratiquement non lecteurs et qui bénéficient d'un enseignement spécialisé intensif. Ainsi, KJ ne lit que 10 % des mots qui lui sont présentés et ces mots sont tous concrets. Cependant, on ne peut exclure que la rééducation proposée ne porte plus spécifiquement sur les mots concrets (associant mot écrit et dessin par exemple) et que l'effet de concrétude observé ne soit en fait la simple conséquence de la méthode de

rééducation utilisée. À ce jour, aucun cas convaincant de dyslexie profonde n'a donc été décrit chez l'enfant.

Dyslexie phonologique

Cette forme de dyslexie s'apparente à celle décrite sous le nom de dyslexie dysphonétique par Boder (1973).

Profil de lecture

Les enfants ayant une dyslexie phonologique rencontrent des difficultés sélectives en lecture de pseudo-mots alors que la lecture des mots, réguliers et irréguliers, est relativement préservée (Temple et Marshall, 1983 ; Campbell et Butterworth, 1985 ; Snowling et coll., 1986 ; Funnel et Davison, 1989 ; Snowling et Hulme, 1989 ; Hulme et Snowling, 1992 ; Gillet et coll., 1993 ; Seymour et Bunce, 1994 ; Broom et Doctor, 1995a ; Masterson et coll., 1995 ; Howard et Best, 1996 ; Temple, 1997 ; Valdois et coll., 2003). Les dissociations peuvent être très nettes comme dans le cas de Mélanie-Jane (Best et Howard, 1996) ou LF (Stothard et coll., 1996) où les performances sont très déficitaires en lecture de pseudo-mots alors que la lecture de mots, même irréguliers, est excellente et que tous les effets lexicaux classiques (fréquence, régularité, voisinage…) sont normalement observés. Des erreurs de lexicalisation sont observées, consistant à produire un mot réel visuellement proche à la place du pseudo-mot présenté (par exemple : « boinde » lu « blonde » ; « fature » lu « facture »). On note également de nombreuses erreurs résultant d'une déformation du mot par omission, addition, substitution ou déplacement de certains des éléments constitutifs du mot ou du pseudo-mot (par exemple : « fracture » lu « facure », « brinte » lu « printe »). Des erreurs morphologiques peuvent également être présentes.

Déficit associé de l'orthographe

La dyslexie phonologique s'accompagne d'une dysorthographie phonologique. Le profil obtenu en production écrite sous dictée est similaire à celui observé en lecture (Temple, 1997, 1986 et 1988). Les difficultés sont majeures en dictée de pseudo-mots alors que la dictée de mots, réguliers ou irréguliers, est nettement meilleure. Dans certains cas, la capacité à orthographier les mots est même totalement préservée avec des performances similaires à celles des témoins normolecteurs de même âge réel (Campbell et Butterworth, 1985 ; Best et Howard, 1996 ; Martinet et coll., 1999). En dictée de mots et de pseudo-mots, la proportion d'erreurs qui ne respectent pas la forme sonore du mot, du fait de l'addition, l'omission, la substitution ou l'inversion de certains éléments (par exemple : « cuvette » → « guvette » ; « culbute » → « culbulte » ; « sicopage » → « sicopache » ; « nagul » → « macul »), est relativement élevée si bien que le mot produit par écrit ne se prononce le plus souvent pas comme le mot dicté. Malgré tout, on ne peut que regretter

que la dysorthographie associée aux dyslexies phonologiques n'ait été que rarement étudiée avec toute l'attention que cela mériterait. Bien que certains des cas décrits témoignent de connaissances lexicales orthographiques similaires à celles des témoins et conduisant à des performances dans la norme en écriture sous dictée de mots irréguliers, d'autres cas (Manis et coll., 1993 ; Hanley et Gard, 1995 ; Valdois et coll., 2003) suggèrent que des troubles associés de l'orthographe des mots irréguliers peuvent également se rencontrer. La dissociation mots irréguliers/pseudo-mots caractéristique de cette forme de dyslexie est alors obtenue en lecture alors que, sur le versant orthographique, sont altérées non seulement la dictée de pseudo-mots mais également la dictée des mots irréguliers. De nouvelles études de cas plus complètes, intégrant une analyse parallèle des performances en lecture et orthographe, devraient être effectuées pour mieux comprendre l'impact du déficit phonologique, reconnu à l'origine du trouble, sur ces deux dimensions.

Troubles associés

Les cas de dyslexie phonologique décrits jusqu'ici présentaient des troubles associés, objectivables dans les épreuves métaphonologiques et de mémoire verbale à court terme. Ces troubles témoignent de l'existence d'un dysfonctionnement phonologique. Les épreuves métaphonologiques sont des épreuves qui nécessitent d'identifier et de manipuler les unités sonores (syllabe, attaque, rime, phonème) à l'intérieur des mots parlés. On demande par exemple d'omettre le premier son d'un mot et de produire oralement le pseudo-mot résultant de cette omission. Il pourra, par exemple, s'agir d'omettre le premier son de /plakaR/ (placard) ou de /uti/ (outil). La réponse attendue est alors /lakaR/ et /ti/ respectivement. Il est particulièrement intéressant d'inclure des pièges orthographiques dans l'épreuve. Ainsi, un individu qui ne pourrait traiter la dimension phonologique du mot et aurait tendance à fonder sa réponse sur l'orthographe commettra une erreur sur « outil » en disant que la réponse est « uti » /yti/ alors que la réponse sur /plakaR/ sera correcte, que le traitement ait été effectué au niveau phonologique (omission du phonème /p/) ou orthographique (omission de la lettre « p »). Dans tous les cas de dyslexies phonologiques publiés jusqu'ici, un trouble majeur lors de la réalisation des épreuves métaphonologiques a été mis en évidence (tableau 8.I). Un déficit métaphonologique apparaît dès lors comme un symptôme caractéristique de la dyslexie phonologique. Lorsque des pièges orthographiques étaient inclus dans les épreuves proposées, un biais orthographique consistant à répondre sur la base d'une décomposition orthographique plutôt que phonologique a été observé.

Des troubles associés de la mémoire verbale à court terme (MVCT) sont souvent mentionnés en association avec les difficultés de traitement phonologique. Cependant, à l'exception du cas RE décrit par Campbell et Butterworth (1985), les capacités de mémoire à court terme des sujets présentant une

dyslexie phonologique n'ont le plus souvent pas été étudiées en détail. D'autre part, le cas Gregory décrit par Hanley et Gard (1995) suggère que les capacités de MVCT (empan de chiffres à 7[23]) pourraient être préservées chez certains dyslexiques phonologiques. Enfin, aucune évaluation même minimale du langage oral n'est le plus souvent proposée si bien que les estimations présentées dans le tableau 8.I reposent le plus souvent sur des données de l'anamnèse ou sur des commentaires des auteurs ou encore sur les résultats obtenus sur une épreuve unique (la dénomination d'images le plus souvent). En outre, les cas décrits ne semblent pas se caractériser par un QI verbal inférieur au QI performance, mais là encore les données sont trop parcellaires.

Tableau 8.I : Capacités de langage oral, de traitement métaphonologique et de mémoire à court terme dans 7 études de cas de dyslexies phonologiques

Références	Nom	Âge (années)	QIV-QIP	LO	MPHON	MCT
Temple et Marshall, 1983	HM	17	114-115	+	- -	
Campbell et coll., 1985	RE	21	123-108	-	- -	- -
Snowling et coll., 1986	JM	8	QI = 123	-	- -	- -
Funnell et Davison, 1989	Louise	35			- -	-
Hanley et Gard, 1995	Gregory	20		+	- -	+
Howard et Best, 1996	Melanie-Jane	85		+	- -	
Valdois et coll., 2003	Laurent	14	QI = 110	-	- -	-

(-) ou (+) = capacités considérées déficitaires ou préservées sur la base d'une évaluation minimale ; (- -) ou (+ +) = capacités considérées déficitaires ou préservées sur la base de données convergentes obtenues sur plusieurs tâches.
LO : langage oral ; MPHON : traitement métaphonologique ; MCT : mémoire à court terme

Exemple d'un cas prototypique

À titre d'exemple, le cas RE décrit par Campbell et Butterworth (1985) est sans doute un des plus détaillés et des plus prototypiques. RE est âgée de 21 ans au moment de l'évaluation neuropsychologique. Elle a suivi une scolarité normale, est droitière et a un bon niveau intellectuel (QIV=123, QIP=108). Les résultats de RE sur les épreuves de lecture, orthographe, métaphonologie et mémoire verbale à court terme sont présentés dans le tableau 8.II.

RE présente un trouble sélectif de la lecture des pseudo-mots. Elle ne lit correctement que 30 % des pseudo-mots courts de 3 lettres avec un temps de lecture moyen de 3 sec/item. La lecture des pseudo-mots longs est encore plus déficitaire (15 % de réponses correctes), alors que les mots, mêmes longs et irréguliers, sont réussis à plus de 80 %. L'examen de l'orthographe

22. L'empan de chiffre consiste à demander de répéter des chiffres dans l'ordre où ils ont été énoncés (exemple : 4 1 7 3 8 2) le score est de 7, ce qui est dans la norme des témoins.

sous dictée met en évidence le même type de dissociation : les mots rares complexes sont orthographiés dans la norme des témoins alors que les erreurs sont fréquentes en dictée de pseudo-mots. L'analyse des erreurs en dictée de mots montre que les erreurs phonologiquement plausibles sont moins fréquentes chez RE que chez les témoins (60 % *versus* 93 %). Autrement dit, alors que les témoins transcrivent le plus souvent le mot comme il se prononce lorsqu'ils font une erreur, les productions de RE ne correspondent souvent pas à la forme sonore du mot dicté. Ainsi par exemple, le mot anglais « *chlorophyll* » est transcrit « *cholophyll* » par RE alors que les erreurs observées chez les témoins sont du type « *chlorrophyl* » ou « *chlorophyl* ». Ce type d'erreurs suggère que RE a du mal à analyser phonologiquement la séquence du mot à transcrire.

L'examen des capacités métaphonologiques met en évidence un trouble majeur. Les erreurs sont nombreuses sur l'ensemble des épreuves proposées et les réponses témoignent d'une stratégie orthographique. En situation de jugement de rimes par exemple, elle réussit parfaitement à juger les paires congruentes (paires similaires ou dissimilaires tant du point de vue phonologique qu'orthographique ; un équivalent en français serait « terre-guerre » ou « vache-caisse »). En revanche, les erreurs sont nombreuses sur les paires incongruentes qui sont jugées sur la base de leurs caractéristiques orthographiques. Ainsi, les mots de la paire « hamac-tabac » (pour un équivalent en français) énoncée oralement seraient jugés comme rimant alors que ceux de la paire « volcan–argent » seront jugés comme ne rimant pas. Le même phénomène est observé dans l'épreuve de contrepèterie qui consiste à intervertir les premiers sons de deux mots énoncés successivement. Ainsi, à l'énoncé de la séquence « Phil Collins », RE donne comme réponse « Chil Pollins » (résultant d'une interversion des lettres « C » et « P ») au lieu de la réponse attendue « kil follins » (résultant d'une interversion des phonèmes /k/ et /f/). Les mêmes biais orthographiques sont mis en évidence dans l'épreuve d'acronymes consistant à isoler puis fusionner les phonèmes initiaux de 3 mots énoncés successivement (« cri-ours-dent » donne « code » au lieu de « coude »).

L'évaluation des capacités de mémoire à court terme de RE met en évidence des difficultés majeures. L'empan de chiffres endroit et envers est estimé à 4, ce qui est très déficitaire (< -2 écarts-types de la moyenne). On ne relève pas d'effet de similarité phonologique en empan de lettres. Ainsi, les séquences de lettres phonologiquement différentes (G M X L T) ne sont pas mieux rappelées que les séquences de lettres phonologiquement similaires (B T C V D). On ne relève pas non plus l'effet classique de longueur en empan de mots : le rappel de séquences de mots longs n'est pas plus difficile que le rappel de séquences de mots courts contrairement aux témoins.

En résumé, RE présente un déficit phonologique objectivé par de faibles performances dans les épreuves métaphonologiques et de mémoire de travail. L'hypothèse d'un trouble phonologique est corroborée par les difficultés observées en lecture et dictée de pseudo-mots. L'analyse des erreurs – biais

orthographique observé sur les épreuves métaphonologiques et production d'un nombre limité d'erreurs phonologiquement plausibles en dictée – témoigne également des difficultés de traitement phonologique de RE. Un déficit de ce type aurait pu entraîner des difficultés au niveau de la maîtrise du langage oral. Aucun élément de l'anamnèse reportée dans l'article ne va dans ce sens puisque RE semble avoir parlé tôt et correctement. Cependant et bien que les aptitudes de langage oral n'aient pas été évaluées au moyen de tests spécifiques, un élément de l'examen suggère que le langage oral n'est pas totalement indemne. En effet, les auteurs mentionnent qu'en dictée de pseudo-mots où RE est très déficitaire, les difficultés s'observent également lorsque le pseudo-mot est répété avant d'être retranscrit. En fait, la répétition du pseudo-mot énoncé est alors erronée et conduit à des erreurs de transcription. L'ensemble du tableau clinique évoque donc bien un trouble phonologique probablement responsable des difficultés d'acquisition de la lecture et de l'orthographe de RE.

Tableau 8.II : Scores de RE (dyslexique phonologique) sur les tâches de lecture, orthographe, métaphonologie et mémoire à court terme (d'après Campbell et Butterworth, 1985)

Types d'épreuves	Score RE	Évaluation
Lecture		
Mots rares complexes	33/40 (82 %)	++
Pseudo-mots courts	9/30 (30 %) 3 sec/item	- -
Pseudo-mots longs	3/20 (15 %)	- -
Orthographe		
Mots rares difficiles	24/53 (dans la norme)	++
Pseudo-mots courts	60 % erreurs PP (*versus* 93 % CTL)	- -
	8/20	- -
Métaphonologie		
Contrepèterie	9/19	- -
Acronymes	0/21	- -
Jugement de rimes	20/20 paires congruentes	+ +
	8/20 paires incongruentes	- -
Mémoire à court terme		
Empan de chiffres	4 (endroit et envers)	- -
Empan de lettres	Pas d'effet de similarité phonémique	- -
Empan de mots	Pas d'effet de longueur	- -

Dyslexie de surface

Cette forme de dyslexie s'apparente à celle décrite sous le nom de « dyslexie dyséidétique » par Boder (1973).

Profil de lecture

Les performances en lecture des enfants qui présentent une dyslexie de surface se caractérisent par une atteinte sélective de la lecture des mots irréguliers alors que les capacités de lecture des mots réguliers et des pseudo-mots sont relativement préservées. Les erreurs de régularisation, consistant à prononcer le mot irrégulier comme il s'écrit (« monsieur » lu /môsjoeR/ au lieu de /moesjoe/, « femme » lu /fèm/ au lieu de /fam/) sont caractéristiques de cette forme de dyslexie. Des erreurs visuelles résultant de la confusion de lettres proches (« radio » lu « rabio »), de déplacement de lettres (« baril » lu « dial ») ou consistant à produire un mot visuellement proche du mot cible (« girafe » lu « guitare ») sont souvent mentionnées. Les difficultés à traiter les mots irréguliers s'observent dans d'autres types de tâches, comme la décision lexicale par exemple où le jugement est fonction de la seule prononciation attribuée aux mots. Dans cette tâche, les mots irréguliers qui font l'objet de régularisation sont rejetés comme n'étant pas des mots de la langue alors que des pseudo-homophones, tels que « farmassi » ou « jardain », sont acceptés comme de vrais mots. De la même façon, les confusions entre homophones sont la règle : l'enfant est incapable de donner le sens du mot « voie » par exemple, ou de choisir entre « voie » et « voix » celui qui désigne un lieu de passage. La compréhension du sens du mot dérive également de la prononciation qui lui est attribuée. Par exemple, « rhum » lu /Rym/ sera défini comme « rhume ».

De nombreux cas ont été publiés comme démontrant une dyslexie de surface développementale (Coltheart et coll., 1983 ; Temple, 1984 ; Goulandris et Snowling, 1991 ; Hanley et coll., 1992 ; Romani et Stringer, 1994 ; Hanley et Gard, 1995 ; Broom et Doctor, 1995b ; Valdois, 1996 ; Castles et Coltheart, 1996 ; Valdois, 1996 ; Valdois et Launay, 1999 ; Samuelson, 2000 ; Valdois et coll., 2003 ; Brunsdon et coll., 2005). Cependant, tous ne présentent pas une dissociation nette entre lecture de mots irréguliers et lecture de pseudo-mots (tableau 8.III).

Tableau 8.III : Performances en lecture mentionnées dans 10 études de cas de dyslexies de surface (le QI et l'âge sont donnés à titre indicatif lorsque disponibles)

Références	Nom	Âge (années)	QIV-QIP	REG (%)	IRR (%)	PM (%)
Coltheart et coll., 1983	CD	19	105-101	90	67	70
Temple, 1984	RB	10	122-104	62	26	60-70
Romani et Stringer, 1984	AW	21	QIT = 126	Normal	Normal	Normal
Goulandris et Snowling, 1991	JAS	22	110-112	83	60	90
Hanley et coll., 1992	Allan	22	122-131	98	96	90
Hanley et Gard, 1995	Mandy	21		98	56	93
Broom et Doctor, 1995b	DF	11	114-117	94	57	?
Castles et Coltheart, 1996	MI	9	130-142	87	27	87

Références	Nom	Âge (années)	QIV-QIP	REG (%)	IRR (%)	PM (%)
Valdois et Launay, 1999	Clément	10		85	48	89
Valdois et coll., 2003	Nicolas	13	QIT = 104	93	57	84
Brunsdon et coll., 2005	MC	12	106-116	83	50	70

REG : mots réguliers ; IRR : mots irréguliers ; PM : pseudo-mots ; QIT : quotient intellectuel total

En fait, Coltheart et coll. (1983) soutenaient que le diagnostic de dyslexie de surface pouvait être posé dès lors que la lecture des mots irréguliers était déficitaire comparativement à la lecture des mots réguliers, donc indépendamment des performances obtenues en lecture de pseudo-mots. Selon ce critère, 9 des 11 cas répertoriés dans le tableau peuvent être considérés dyslexiques de surface à l'exception des cas AW (Romani et Stringer, 1984) et Allan (Hanley et coll., 1992) qui n'ont pas de difficultés en lecture et présentent en fait une dysorthographie de surface. Si le critère d'un écart significatif entre lecture de mots irréguliers et de pseudo-mots est en revanche retenu, 7 des 11 cas répertoriés répondent à la définition de dyslexie de surface (Temple, 1984 ; Goulandris et Snowling, 1991 ; Hanley et Gard, 1995 ; Castles et Coltheart, 1996 ; Valdois et Launay, 1999 ; Valdois et coll., 2003 ; Brunsdon et coll., 2005). Le cas décrit par Temple (1984) est cependant contestable dans la mesure où il s'inscrit dans le contexte d'un trouble épileptique. En fait, seulement 5 cas démontrent une dissociation très nette avec une lecture très déficitaire des mots irréguliers et des performances tout à fait normales, pour ce qui est des scores, en lecture de pseudo-mots (Goulandris et Snowling, 1991 ; Hanley et Gard, 1995 ; Castles et Coltheart, 1996 ; Valdois et Launay, 1999 ; Valdois et coll., 2003). La plupart des études mentionnées n'ont pas pris en compte les temps de lecture. À ce propos, Valdois et coll. (2003) montrent que les temps de lecture sur les pseudo-mots sont relativement longs chez Nicolas comparativement à des témoins de même âge réel. Apparemment, MI décrit par Castles et Coltheart (1996) aurait des temps de traitement des pseudo-mots extrêmement rallongés malgré une performance le plus souvent correcte (Harm et Seidenberg, 1999).

Déficit associé de l'orthographe

La dyslexie de surface s'accompagne d'une dysorthographie massive caractérisée par des difficultés d'autant plus marquées que les mots sont orthographiquement plus complexes. Le profil observé en production écrite est donc similaire au profil de lecture : les performances sont très déficitaires en dictée de mots irréguliers mais dans la norme des témoins de même âge réel en dictée de pseudo-mots. Il est intéressant de noter (tableau 8.IV) que contrairement à la variabilité des performances obtenues en lecture, aucun des cas décrits ne déroge à la règle : le déficit est toujours massif sur les mots irréguliers et les performances excellentes sur les pseudo-mots.

Tableau 8.IV : Performances en dictée des 11 études de cas de dyslexies de surface répertoriées précédemment

Références	Nom	Âge (années)	IRR (%)	PM (%)	PP+ (%)
Broom et Doctor, 1995b	DF	11	30		89
Coltheart et coll., 1983	CD	19			60
Temple, 1984	RB	10			
Goulandris et Snowling, 1991	JAS	22	21	92	80
Hanley et coll., 1992	Allan	22	33	93	81
Hanley et Gard, 1995	Mandy	21	45	97	80
Castles et Coltheart, 1996	MI	9	13		76
Valdois et Launay, 1999	Clément	10	25	82	80
Romani et coll., 1999	AW	21	75	85	> 80
Valdois et coll., 2003	Nicolas	13	36	88	91
Brunsdon et coll., 2005	MC	12	39	90	beaucoup

PP+ = erreurs phonologiquement plausibles ; par exemple « haricot » ou « hiver » écrits « arico » et « ivère ». PM : pseudo-mot

Les erreurs observées en dictée de mots sont, dans leur grande majorité, phonologiquement plausibles, c'est-à-dire que le mot est écrit comme il se prononce sans prise en compte de ses particularités orthographiques (par exemple : « haricot » → « aricau » ; « pied » → « piai » ; « aquarium » → « acoiriome »). La forte prévalence d'erreurs phonologiquement plausibles en dictée de mots est un des signes cardinaux des dyslexies de surface, et les cas décrits (tableau 8.IV) présentent en moyenne environ 80 % d'erreurs de ce type. Par ailleurs, les productions orthographiques d'un même mot varient dans le temps, comme si la forme orthographique était à chaque fois réinventée à partir de la séquence phonémique dictée (Goulandris et Snowling, 1991). Il n'y a donc pas de stabilité quant à la forme orthographique attribuée à un mot : « haricot » pourra ainsi être écrit tantôt « arico » ou « aricau » ou « ariqo » à différents moments, seule la plausibilité phonologique étant préservée. L'étude des performances de 5 enfants ayant une dyslexie de surface (Martinet et Valdois, 1999) a par ailleurs montré que les erreurs produites ne renferment que très rarement des indices orthographiques spécifiques, des lettres caractéristiques du mot comme le « w » de « clown » ou le « h » de hiver. Seulement 12 % de leurs productions erronées renfermaient de tels indices contre 25 % et 65 % respectivement chez les enfants de même niveau de lecture ou de même âge réel.

Troubles associés

Comme le montre le tableau 8.V, l'évaluation des troubles associés est loin d'avoir été effectuée systématiquement.

Tableau 8.V : Évaluation des troubles associés à la dyslexie développementale : revue de 11 cas

Références	Nom	LO	MPHON	MCT PH	Visuel
Coltheart et coll., 1983	CD	++			
Temple, 1984	RB	+			
Romani et Stringer, 1984	AW		++	+	+
Goulandris et Snowling, 1991	JAS		-		- -
Hanley et coll., 1992	Allan		++		
Hanley et Gard, 1995	Mandy		++	+	
Broom et Doctor, 1995b	DF				
Castles et Coltheart, 1996	MI	+	++		++
Valdois et Launay, 1999	Clément	++	++		- -
Valdois et coll., 2003	Nicolas	++	++	++	- -
Brunsdon et coll., 2005	MC	+	++	+	

(-) ou (+) = capacités considérées déficitaires ou préservées sur la base d'une évaluation minimale ; (- -) ou (+ +) = capacités considérées déficitaires ou préservées sur la base de données convergentes obtenues sur plusieurs tâches.
LO : langage oral ; MPHON : traitement métaphonologique ; MCT PH : mémoire à court terme phonologique

Dans les 8 cas où une évaluation des capacités de traitement métaphonologique a été effectuée, les performances se sont révélées très bonnes puisqu'elles se situent au moins dans la moyenne des témoins de même âge réel (à l'exception toutefois du cas JAS, Goulandris et Snowling, 1991). L'absence de trouble du langage oral ou de la mémoire verbale à court terme a été démontrée chaque fois que cette dimension a été évaluée. On ne peut toutefois que regretter que ces aspects n'aient pas été évalués de façon systématique.

Les résultats sont en revanche variables pour ce qui concerne la présence ou non de déficits associés des traitements visuels. Lors de l'évaluation des performances de JAS, Goulandris et Snowling ont utilisé des épreuves de reconnaissance de formes géométriques complexes, de reproduction de mémoire de formes géométriques et de mémorisation de séries de lettres grecques dans l'ordre. Les performances de JAS se situaient en deçà de la norme des témoins sur l'ensemble des épreuves. Les auteurs ont donc conclu à un trouble de l'analyse et de la mémoire visuelle chez JAS qui pourrait entraver la segmentation graphémique des mots et la mémorisation des représentations orthographiques. Cependant, des épreuves similaires proposées à MI (Castles et Coltheart, 1996) et AW (Romani et Stringer, 1994 ; Romani et coll., 1999) ont été parfaitement réussies conduisant à éliminer l'hypothèse d'un problème de mémoire visuelle chez eux. Il semble donc qu'un trouble de mémoire visuelle potentiellement responsable des difficultés d'apprentissage de la lecture et de l'orthographe des mots irréguliers puisse se rencontrer chez certains dyslexiques de surface mais vraisemblablement pas chez tous.

Les épreuves proposées à Clément (Valdois, 1996 ; Valdois et Launay, 1999) et Nicolas (Valdois et coll., 2003) sont de nature totalement différente. Clément a été soumis à des épreuves de recherche de cible parmi des distracteurs. Dans une première épreuve, il devait détecter la présence d'une cible Q parmi des distracteurs (des O), dont le nombre variait (4, 10 ou 16 distracteurs). La détection est alors automatique : la cible saute aux yeux et le temps de réponse n'est normalement pas affecté par le nombre de distracteurs. Dans la seconde épreuve au contraire, la cible était le O et les distracteurs, les lettres Q. Dans ce second cas, la cible partage tous ses traits avec les distracteurs ; elle ne saute pas aux yeux. La recherche requiert un déplacement de l'attention sur des sous-ensembles d'éléments jusqu'à ce que la cible soit détectée. Dans ce cas, le temps de détection est fortement influencé par le nombre de distracteurs et augmente quasi-linéairement avec ce dernier. Dans les deux conditions, le nombre d'erreurs est relativement faible et reste à peu près constant chez les témoins. Les résultats de Clément sur ces épreuves montrent un taux de détection et des temps de réponse comparables à ceux des témoins en condition automatique. Au contraire, les performances sont très déficitaires en condition attentionnelle : alors qu'il détecte correctement 14/16 cibles dans la configuration à 4 distracteurs, Clément ne détecte que 8/16 et 4/16 cibles respectivement dans les configurations à 10 et 16 distracteurs. Ces résultats suggèrent des difficultés de traitement visuo-attentionnel chez Clément.

Nicolas, quant à lui, a été soumis à des épreuves, dites de report global et partiel, requérant le traitement de séquences de lettres non prononçables (R H S D M). En situation de report global, 5 lettres sont simultanément présentées à l'écran pendant 200 msec et doivent être dénommées immédiatement après leur disparition. La situation de report partiel est en tout point similaire à la précédente, si ce n'est qu'une barre verticale apparaît au-dessous d'une des lettres immédiatement après sa disparition, la tâche consistant alors à ne dénommer que la lettre indiquée. Les résultats de Nicolas sur ces épreuves se sont avérés très déficitaires : ils étaient caractérisés par un fort effet positionnel, les lettres finales de la séquence ne pouvant être dénommées qu'exceptionnellement. Ces résultats ont été interprétés comme témoignant d'un déficit visuo-attentionnel qui empêcherait le traitement simultané de l'ensemble des lettres de la séquence présentée.

Dyslexies mixtes

Malgré leur apparente fréquence dans la population dyslexique, deux cas de dyslexies mixtes seulement ont été décrits dans la littérature (Brunsdon et coll., 2002 ; Valdois, 2004). Le cas décrit par Brunsdon et coll. (2002) est celui d'un jeune garçon de 8 ans, DT, qui présente un trouble massif de la lecture tant des mots irréguliers (10 % lus correctement) que des pseudo-mots (3 % lus correctement). En fait, la plupart des erreurs consistent à

produire un mot existant partageant quelques lettres notamment initiales avec le mot cible (« long » lu « lourd »). Ce déficit majeur de l'apprentissage de la lecture s'inscrit dans le contexte de troubles du langage oral et de la mémoire à court terme verbale. DT est par ailleurs très déficitaire sur l'ensemble des épreuves métaphonologiques proposées et ne maîtrise pas les règles de conversion graphème-phonème. L'origine développementale du trouble est néanmoins très contestable. DT a fait une chute de cheval à 6 ans, ce qui a entraîné un traumatisme crânien se soldant par une lésion de la capsule interne et du lobe frontal inférieur droit. Les auteurs mentionnent en outre qu'aucun type de déficit, pas plus du langage oral que de la lecture, n'avait été remarqué avant l'accident. Tout conduit donc à penser que le trouble objectivé relève davantage d'une dyslexie acquise que développementale.

Valdois (2004 ; Valdois et coll., soumis) ont de leur côté décrit le cas d'un jeune garçon de 9 ans, Martial, qui présente un déficit sévère d'apprentissage de la lecture (âge lexique de 6 ans et demi) dans le contexte de capacités intellectuelles supérieures à la normale (QIV = 125 ; QIP = 131). Les difficultés en lecture se sont manifestées dès l'entrée au CP et aucun élément de l'anamnèse (pas plus que l'examen neuropédiatrique) ne conduit à soupçonner une possible lésion cérébrale. Ses performances sont extrêmement déficitaires tant en score qu'en temps sur tous les types de mots (tableau 8.VI) et ses erreurs sont le plus souvent des erreurs visuelles. Seulement 55 % des productions sur les mots irréguliers sont des régularisations. Les performances de Martial sont encore plus déficitaires en dictée : il ne parvient à orthographier correctement aucun des 30 mots dictés et réussit à transcrire seulement 6 pseudo-mots courts et 3 pseudo-mots longs sur les 10 dictés dans chaque catégorie.

Paradoxalement, l'évaluation des aptitudes métaphonologiques montre des performances dans la norme des témoins de même âge réel (tableau 8.VI) ce qui suggère l'absence de déficit phonologique sous-jacent. Cette hypothèse est confortée par l'absence de troubles du langage oral ou de la mémoire à court terme verbale et la bonne maîtrise des règles de conversion graphème-phonème.

L'examen des aptitudes visuo-attentionnelles de Martial met cependant en évidence un trouble massif. Seule la lettre initiale de la séquence est rappelée à un taux comparable à celui des témoins de même âge réel en report global de lettres ou de chiffres, suggérant un trouble visuo-attentionnel associé.

Ces deux études de cas conduisent à penser qu'une assez grande variabilité pourrait caractériser la population des enfants qui présentent une dyslexie mixte.

Tableau 8.VI : Performances de Martial (dyslexie mixte) en lecture et sur les épreuves métaphonologiques comparativement à des témoins de même âge réel

Épreuves	Martial Scores	Temps	Témoins Scores	Temps
Lecture				
Mots réguliers	15/40	4'34	36,7/40	1'10
Mots irréguliers	4/40	5'50	26,5/40	1'16
Pseudo-mots	12/40	4'	32/40	1'10
Métaphonologie				
Jugement de rimes		15/16		14,6/16 (1,4)
Omission de syllabes		10/12		10,5/12 (1,7)
Omission de phonème		14/20		14,3/20 (4,7)
Acronymes		6/10		7,1/10 (2,5)
Décomposition phonologique		7/15		6,3/15 (4,4)

Comparaison de cas contrastés de dyslexies phonologique et de surface

Bien que les cas décrits jusqu'ici de dyslexies phonologique et de surface suggèrent qu'ils se caractérisent par des profils de lecture opposés et que seuls les dyslexiques phonologiques présentent un trouble phonologique associé, la comparaison des résultats obtenus dans les différentes études reste hasardeuse. En effet, des épreuves différentes ont été effectuées d'une étude à l'autre, si bien que des épreuves métaphonologiques moins discriminantes auraient pu, par exemple, être proposées dans les cas de dyslexie de surface conduisant à sous-estimer le trouble phonologique. De la même façon, une variabilité des caractéristiques propres à chaque individu telles que l'âge, le niveau intellectuel ou les types de rééducation dont ont bénéficié les enfants pourrait conduire à observer des profils opposés, sans que ceux-ci ne doivent nécessairement être interprétés comme relevant de dysfonctionnements cognitifs distincts. Enfin, les difficultés de traitement visuel mentionnées chez certains dyslexiques de surface ne trouvent pas leur pendant dans la dyslexie phonologique puisque des épreuves de ce type n'ont été proposées à aucun cas de dyslexie phonologique. Enfin, la plupart des études n'ont pas comparé les performances de lecture des sujets dyslexiques à celles de témoins appariés en âge réel et âge lexique si bien qu'il est souvent difficile d'appréhender la sévérité du trouble décrit.

Pour pallier ces critiques, des études de cas contrastés, proposant les mêmes épreuves à des individus choisis pour être le plus possible comparables quant à leurs caractéristiques propres, ont été menées (Hanley et Gard, 1995 ;

Valdois et coll., 2003). Ces études confirment l'existence de profils sémiologiques opposés. Une performance très déficitaire est obtenue sur les épreuves métaphonologiques par les participants présentant un profil de dyslexie phonologique alors que leurs homologues avec dyslexie de surface réussissent parfaitement ces épreuves, avec des performances qui se situent dans la norme des témoins de même âge réel. La seule étude (Valdois et coll., 2003) où les capacités visuo-attentionnelles ont été évaluées chez les deux participants montre un déficit marqué dans le contexte surface (cas Nicolas) avec des performances qui se différencient significativement tant de celles des témoins de même âge réel que de même niveau de lecture. En revanche, les performances visuo-attentionnelles du sujet présentant une dyslexie phonologique (cas Laurent) se situent dans la norme des témoins de même âge réel (figure 8.1).

Figure 8.1 : Présentation schématique de l'épreuve de report global (à gauche, les trois carrés correspondent aux trois phases successives de présentation des stimuli : un cadran avec point de fixation central, un cadran avec la séquence de lettres, un cadran blanc) et résultats de Laurent et Nicolas (traits pleins) comparativement aux témoins (traits pointillés)

Cette étude montre donc qu'une double dissociation entre trouble phonologique et visuo-attentionnel peut être objectivée en contexte dyslexique. En effet, un trouble phonologique en l'absence de trouble visuo-attentionnel est observé chez Laurent alors que Nicolas présente la dissociation inverse : trouble visuo-attentionnel en l'absence de trouble phonologique.

Cependant Nicolas, comme c'était également le cas pour MI (Castle et Coltheart, 1996), présente une lecture anormalement lente des pseudo-mots et donc des difficultés en lecture de pseudo-mots. Or, ce type de performance est classiquement interprété comme témoignant d'un déficit phonologique sous-jacent. La méthodologie de l'étude de cas est ici intéressante car elle permet de montrer que la lecture déficitaire des pseudo-mots est le

seul symptôme susceptible d'évoquer un trouble phonologique chez Nicolas alors que toutes les autres épreuves impliquant la dimension phonologique démontrent soit l'absence de difficultés phonologiques (bonnes performances sur les épreuves métaphonologiques) soit même le recours préférentiel à une stratégie phonologique (fort pourcentage d'erreurs phonologiquement plausibles et de régularisations). L'étude montre également, comme dans les autres cas décrits de dyslexies de surface, que les difficultés sur les pseudo-mots ne s'observent qu'en lecture, l'écriture sous dictée de ces mêmes items étant parfaitement réussie alors que cette épreuve est tout particulièrement sensible à un déficit phonologique puisqu'elle nécessite une décomposition phonémique du pseudo-mot comme préalable à sa transcription graphémique. Il est particulièrement intéressant de noter ici que la lecture des pseudo-mots est la seule des épreuves connues pour être sensibles à un dysfonctionnement phonologique qui soit déficitaire chez Nicolas. Or, cette épreuve est également la seule de toutes les épreuves phonologiques proposées à impliquer le traitement d'une entrée orthographique et donc à nécessiter une analyse visuelle de la séquence écrite. Un déficit isolé sur cette épreuve dans le contexte de traitements phonologiques par ailleurs préservés est donc également compatible avec l'hypothèse d'un déficit de l'analyse visuelle de la séquence du pseudo-mot. Cette dernière hypothèse est cette fois cohérente avec la mise en évidence chez Nicolas de troubles visuo-attentionnels empêchant le traitement simultané de l'ensemble des éléments d'une séquence de lettres. La méthodologie de l'étude de cas nous rappelle ici qu'un symptôme donné (lecture des pseudo-mots par exemple) a toujours plusieurs interprétations théoriques possible et qu'aucun symptôme isolé ne saurait à lui seul signer le dysfonctionnement d'une procédure cognitive spécifique.

Il est également intéressant de noter que Nicolas a des performances, en lecture de mots irréguliers notamment, qui se situent dans la norme des témoins de même niveau de lecture et donc plus jeunes que lui. Un certain nombre de recherches taxonomiques (Manis et coll., 1996 ; Stanovitch et coll., 1997 ; Sprenger-Charolles et coll., 2000) ont également montré que les dyslexiques de surface caractérisés par des performances anormalement faibles en lecture de mots irréguliers comparativement à une population d'enfants normolecteurs de même âge réel, ne se distinguaient en fait pas de populations appariées en âge lexique. Ces résultats ont été interprétés comme démontrant que le profil de dyslexie de surface correspond en fait à un simple retard d'acquisition des procédures d'identification de mots alors que le profil de dyslexie phonologique reflèterait un trouble spécifique. Le cas de Nicolas ne saurait corroborer cette conclusion. En effet, ses performances sur les épreuves de report global et partiel montrent qu'il présente un déficit des traitements visuo-attentionnels qui demeure significatif même lorsque ses scores sont comparés à ceux de témoins plus jeunes. Ses difficultés visuo-attentionnelles ne peuvent donc en aucun cas être interprétées comme la simple conséquence de son retard en lecture. Au contraire, le trouble mis en évidence

pourrait être à l'origine des difficultés de lecture de Nicolas et néanmoins induire un niveau de lecture qui bien que déficitaire ne se distingue pas de celui de témoins de même niveau de lecture (voir Bosse et Valdois, 2003, pour des données convergentes). On peut également remarquer que l'hypothèse de retard simple s'accommode mal de la mise en évidence de performances normales en dictée de pseudo-mots et d'un taux d'erreurs de régularisation en lecture et d'erreurs phonologiquement plausibles en dictée qui se situent dans la norme des témoins de même âge chronologique.

En conclusion, la diversité des formes de dyslexies développementales répertoriées jusqu'ici témoigne de l'hétérogénéité des populations regroupées sous le terme de dyslexie développementale. L'existence de formes très différenciées de dyslexies, les dyslexies phonologiques et de surface, se caractérisant par des profils de lecture opposés, conduit à s'interroger sur l'hypothèse unitaire selon laquelle l'ensemble des troubles dyslexiques relèverait d'un déficit phonologique sous-jacent. De façon très systématique, un trouble phonologique a été retrouvé dans tous les cas décrits de dyslexies phonologiques mais de tels troubles n'ont pu être objectivés dans le contexte des dyslexies de surface. Le statut de cette dernière forme de dyslexie a été largement discuté en raison de l'incapacité à identifier la nature du trouble cognitif associé et du fait de la similitude des performances sur certaines épreuves avec celles des enfants plus jeunes de même niveau de lecture. Cependant, les études de cas nous montrent clairement que la similitude de performances avec les enfants plus jeunes n'est que partielle et touche essentiellement la performance de lecture elle-même (la lecture des mots irréguliers en particulier) et la performance en dictée (dictée de mots irréguliers) mais que dans tous les cas décrits les enfants obtenaient des performances tout à fait dans la norme de leur âge sur d'autres aspects relevant des dimensions phonologiques plutôt qu'orthographiques (fréquence des erreurs de régularisation en lecture ou des erreurs phonologiquement plausibles en dictée, épreuves métaphonologiques). Le profil cognitif général de ces enfants ne s'inscrit donc pas dans un contexte de retard global d'apprentissage. Quelques études récentes relancent le débat de l'origine multiple des troubles dyslexiques en montrant qu'un trouble de l'empan visuo-attentionnel dissocié de toute atteinte phonologique se rencontre chez certains enfants présentant une dyslexie de surface alors que la dissociation inverse caractérise certains cas de dyslexie phonologique. Cette hypothèse pourrait également conduire à reconsidérer l'origine des formes mixtes de dyslexies caractérisées par de faibles performances à la fois en lecture de mots et de pseudo-mots. La méthodologie de l'étude de cas semble pertinente pour cerner la nature des troubles dyslexiques. Elle apparaît complémentaire de celle des études de groupes qui peuvent permettre de déterminer si les conclusions apportées par des études de cas sont ou non généralisables à l'ensemble de la population dyslexique.

BIBLIOGRAPHIE

ANS B, CARBONNEL S, VALDOIS S. A connectionist multi-trace memory model of polysyllabic word reading. *Psychological Review* 1998, **105** : 678-723

BAILEY CE, MANIS FR, PEDERSEN WC, SEIDENBERG MS. Variation among developmental dyslexics: Evidence from a printed-word-learning task. *Journal of Experimental Child Psychology* 2004, **87** : 125-154

BODER E. Developmental dyslexia: a diagnostic approach based on three atypical reading-spelling patterns. *Developmental Medicine and Child Neurology* 1973, **15** : 663-687

BOSSE ML, VALDOIS S. Patterns of developmental dyslexia according to a multi-trace memory model of reading. *Current Psychology Letters* 2003, **1** : 10 Electronic article: http://cpl.revues.org/document

BROOM YM, DOCTOR EA. Developmental phonological dyslexia: a case study of the efficacy of a remediation programme. *Cognitive Neuropsychology* 1995a, **12** : 725-766

BROOM YM, DOCTOR EA. Developmental surface dyslexia: A case study of the efficacy of a remediation program. *Cognitive Neuropsychology* 1995b, **12** : 69-110

BRUNSDON R, COLTHEART M, NICKELS L. Treatment of irregular word spelling in developmental surface dysgraphia. *Cognitive Neuropsychology* 2005, **22** : 213-251

BRUNSDON RK, HANNAN TJ, NICKELS L, COLTHEART M. Successful treatment of sublexical reading deficits in a child with dyslexia of the mixed type. *Neuropsychological Rehabilitation* 2002, **12** : 199-229

CAMPBELL R, BUTTERWORTH B. Phonological dyslexia and dysgraphia in a highly literate subject: a developmental case with associated deficits of phonemic processing and awareness. *The Quaterly Journal of Experimental Psychology* 1985, **37A** : 435-475

CARAMAZZA A. The logic of Neuropsychological research and the problem of patient classification in aphasia. *Brain and Language* 1984, **21** : 9-20

CARAMAZZA A. On drawing inferences about the structure of normal cognitive processes from patterns of impaired performance: The case for single-patient studies. *Brain and Cognition* 1986, **5** : 41-66

CARAMAZZA A, BADECKER W. Clinical syndromes are not God's gift to cognitive neuropsychology: A reply to a rebuttal to an answer to a response to the case against syndrome-based research. *Brain and Cognition* 1991, **16** : 211-227

CARAMAZZA A, MCCLOSKEY M. The case for single-patient studies. *Cognitive Neuropsychology* 1988, **5** : 517-528

CARAMAZZA A, HILLIS A. Where do semantic errors come from? *Cortex* 1990, **26** : 95-122

CASTLES A, COLTHEART M. Varieties of developmental dyslexia. *Cognition* 1993, **47** : 149-180

CASTLES A, COLTHEART M. Cognitive correlates of developmental surface dyslexia: A single case study. *Cognitive Neuropsychology* 1996, **13** : 25-50

COLTHEART M. Lexical access in simple reading tasks. *In* : Strategies of information processing. UNDERWOOD G. (ed). Academic Press, London,1978 : 151-216

COLTHEART M, MASTERSON J, BYNG M, PRIOR M, RIDDOCH J. Surface dyslexia. *Quarterly Journal of Experimental Psychology* 1983, **35A** : 469-495

COLTHEART M, RASTLE K, PERRY C, LANGDON R, ZIEGLER J. DRC: A dual route cascaded model of visual word recognition and reading aloud. *Psychological Review* 2001, **108** : 204-256

DE PARTZ MP, VALDOIS S. Troubles du langage et intervention : Les dyslexies et dysorthographies acquises et développementales. *In* : Troubles du langage : Bases théoriques, diagnostic et rééducation. RONDAL JA, SERON X (eds). Liège: Mardaga, 1999 : 749-795

FISHER SE, DEFRIES JC. Developmental dyslexia: genetic dissection of a complex cognitive trait. *Nature Reviews Neuroscience* 2002, **3** : 767-780

FRIEDMANN N, NACHMAN-KATZ I. Developmental neglect dyslexia in a Hebrew-reading child. *Cortex* 2004, **40** : 301-313

FRITH U. Beneath the surface of developmental dyslexia. *In* : Surface dyslexia. PATTERSON K, MARSHALL J, COLTHEART M (eds). Erlbaum, London, 1985 : 301-330

FUNNEL E, DAVISON M. Lexical capture: a developmental disorder of reading and spelling. *Quaterly Journal of Experimental Psychology* 1989, **41** : 471-487

GILLET P, LOISEL ML, BILLARD C, AUTRET A, SANTINI JJ. La dyslexie phonologique développementale est-elle la conséquence d'un trouble du développement de la boucle articulatoire? Etude d'un cas. *Revue de Neuropsychologie* 1993, **3** : 116-117

GOULANDRIS NK, SNOWLING M. Visual memory deficits: a plausible cause of developmental dyslexia? Evidence from a single case study. *Cognitive Neuropsychology* 1991, **8** : 127-154

HANLEY JR, GARD F. A dissociation between developmental surface and phonological dyslexia in two undergraduate students. *Neuropsychologia* 1995, **33** : 909-914

HANLEY R, HASTIE K, KAY J. Developmental surface dyslexia and dysgraphia: an orthographic processing impairment. *Quaterly Journal of Experimental Psychology* 1992, **44A** : 285-319

HARM MW, SEIDENBERG MS. Phonology, reading acquisition, and dyslexia : insights from connectionist models. *Psychological Review* 1999, **106** : 491-528

HARM MW, SEIDENBERG MS. Computing the meaning of words in reading: Cooperative division of labor between visual and phonological processes. *Psychological Review* 2004, **111** : 662-720

HOLMES VM. Skilled reading and orthographic processing. *Australian Journal of Psychology* 1996, **48** : 149-154

HOWARD D, BEST W. Developmental phonological dyslexia: real word reading can be completely normcoll. *Cognitive Neuropsychology* 1996, **13** : 887-934

HULME C, SNOWLING M. Deficits in output phonology: an explanation of reading failure? *Cognitive Neuropsychology* 1992, **9** : 47-72

JOB R, SARTORI G, MASTERSON J, COLTHEART M. Developmental surface dyslexia in Italian. *In* : Dyslexia: a global issue. MALATESHA RN, WHITAKER HA (eds). The Hague, Martinus Nijhoff, 1984 : 133-141

JOHNSTON RS. Developmental deep dyslexia? *Cortex* 1983, **19** : 133-139

JORM AF. The cognitive and neurological basis of developmental dyslexia: A theoretical framework and Review, *Cognition* 1979, **7** : 19-32

MANIS FR, CUSTODIO R, SZELSZULSKI PA. Development of phonological and orthographic skill: A 2-year longitudinal study of dyslexic children. *Journal of experimental Child Psychology* 1993, **56** : 64-86

MANIS FR, SEIDENBERG MS, DOI LM, MCBRIDE-CHANG C, PETERSON A. On the bases of two subtypes of of developmental dyslexia. *Cognition* 1996, **58** : 157-195

MARSHALL J. Towards a rational taxonomy of developmental dyslexia. *In* : Dyslexia: a global issue. MALATESHA RN, WHITAKER HA (eds). The Hague, Martinus Nijhoff, 1984

MARTINET C, VALDOIS S. L'apprentissage de l'orthographe et ses troubles dans la dyslexie développementale de surface. *L'Année Psychologique* 1999, **99** : 577-622

MARTINET C, BOSSE ML, VALDOIS S, TAINTURIER MJ. Discussion de la notion de stades successifs dans l'acquisition de l'orthographe d'usage. *Langue française* 1999, **124** : 58-73

MASTERSON J, HAZAN V, WIJAYATILAKE L. Phonemic processing problems in developmental phonological dyslexia. *Cognitive Neuropsychology* 1995, **12** : 233-259

MATTIS S, FRENCH JH, RAPIN I. Dyslexia in children and young adults: three independent neuropsychological syndromes. *Developmental Medicine and Child Neurology* 1975, **17** : 150-163

MCCLOSKEY M, CARAMAZZA A. Theory and methodology in cognitive neuropsychology: A response to our critics. *Cognitive Neuropsychology* 1988, **5** : 583-623

MITTERER JO. There are at least two kinds of poor readers: whole word poor readers and recoding poor readers. *Canadian Journal of Psychology* 1982, **36** : 445-461

MORRIS RD, STUEBING KK, FLETCHER JM, SHAYWITZ SE, REID LYON G, et coll. Subtypes of reading disability: variability around a phonological core. *Journal of Educational Psychology* 1998, **90** : 347-373

PLAUT DC, MCCLELLAND JL, SEIDENBERG MS, PATTERSON K. Understanding normal and impaired word reading : computational principles in quasi-regular domains. *Psychological Review* 1996, **103** : 56-115.

ROMANI C, STRINGER M. Developmental dyslexia: A problem acquiring orthographic/phonological information in the face of good visual memory and good short term memory. *Brain and Language* 1994, **47** : 482-485

SAMUELSON S. Converging evidence for the role of occipital regions in orthographic processing: a case of developmental surface dyslexia. *Neuropsychologia* 2000, **38** : 351-362

SEIDENBERG MS, MCCLELLAND JL. A distributed, developmental model of word recognition. *Psychological Review* 1989, **96** : 523-568

SEYMOUR PHK, BUNCE F. Application of cognitive models to remediation in cases of developmental dyslexia. *In* : Cognitive Neuropsychology and Cognitive Rehabilitation, RIDDOCH MJ, HUMPHREYS GW (eds), Hove, Erlbaum, 1994 : 289-316

SEYMOUR PHK, MCGREGOR CJ. Developmental dyslexia: A cognitive experimental analysis of phonological, morphemic and visual impairments. *Cognitive Neuropsychology* 1984, **1** : 43-82

SHARE D. Phonological recoding and self-teaching: sine qua non of reading acquisition. *Cognition* 1995, **55** : 151-218

SHARE DL. Phonological recoding and orthographic learning: a direct test of the self-teaching hypothesis. *Journal of Experimental Child Psychology* 1999, **72** : 95-129

SHARE DL. Orthographic learning at a glance: On the time course and developmental onset of self-teaching. *Journal of Experimental Child Psychology* 2004, **87** : 267-298

SHAYWITZ SE, SHAYWITZ BA, FULBRIGHT RK, SKUDLARSKI P, MENCL WE, et coll. Neural systems for compensation and persistence: Young adult outcome of childhood reading disability. *Biological Psychiatry* 2003, **54** : 25-33

SIEGEL LS. Deep dyslexia in childhood ? *Brain and Language* 1985, **26** : 16-27

SNOWLING M. Phonemic deficits in developmental dyslexia. *Psychological Research* 1981, **43** : 219-234

SNOWLING M, HULME C. A longitudinal case study of developmental phonological dyslexia. *Cognitive Neuropsychology* 1989, **6** : 379-401

SNOWLING M, STACKHOUSE J, RACK J. Phonological dyslexia and dysgraphia: a developmental analysis. *Cognitive Neuropsychology* 1986, **3** : 309-339

SPRENGER-CHAROLLES L, COLÉ P, LACERT P, SERNICLAES W. On subtypes of developmental dyslexia: Evidence from processing time and accuracy scores. *Canadian Journal of Experimental Psychology* 2000, **54** : 87-103

STOTHARD SE, SNOWLING MC, HULME C. Deficits in phonology but not dyslexic? *Cognitive Neuropsychology* 1996, **13** : 641-672

STUART M, HOWARD D. KJ: A developmental deep dyslexic. *Cognitive Neuropsychology* 1995, **12** : 793-824

TEMPLE CM. Surface dyslexia in a child with epilepsy. *Neuropsychologia* 1984, **22** : 569-576

TEMPLE CM. Developmental dysgraphias. *Quarterly Journal of Experimental Psychology* 1986, **38A** : 77-110

TEMPLE CM. Red is read but eye is blue: A case study of developmental dyslexiaand follow-up report. *Brain and Language* 1988, **34** : 13-37

TEMPLE CM. Developmental Cognitive Neuropsychology. Hove, Psychology Press, 1997

TEMPLE CM, MARSHALL JC. A case study of developmental phonological dyslexia. *British Journal of Psychology* 1983, **74** : 517-533

VALDOIS S. A case study of developmental surface dyslexia and dysgraphia. *Brain and Cognition* 1996, **32** : 229-231

VALDOIS S. Les dyslexies développementales mixtes: nouvelles perspectives. Entretiens d'orthophonie de Bichat. Paris, Expansion scientifique française, 2005 : 193-206

VALDOIS S, LAUNAY L. Evaluation et rééducation cognitives des dyslexies développementales: illustration à partir d'une étude de cas. *In* : La rééducation en neuropsychologie: Etudes de cas. AZOUVI P, PERRIER D, VAN DER LINDEN M (eds). Marseille, Solcoll, 1999 : 95-116

VALDOIS S, BOSSE ML, TAINTURIER MJ. The cognitive deficits responsible for developmental dyslexia: Review of evidence for a selective visual attentional disorder. *Dyslexia* 2004, **10** : 1-25

VALDOIS S, GÉRARD C, VANEAU P, DUGAS M. Peripheral developmental dyslexia: a visual attentional account? *Cognitive Neuropsychology* 1995, **12** : 31-67

VALDOIS S, PRADO C, ILDEI C, JOANNARD A, ORLIAGUET JP. New insights on developmental mixed dyslexia: Evidence from a single case study. (soumis)

VALDOIS S, BOSSE ML, ANS B, CARBONNEL S, ZORMAN M, DAVID D, PELLAT J. Phonological and visual processing deficits can dissociate in developmental dyslexia: Evidence from two case studies. *Reading and Writing* 2003, **16** : 541-572

9

Dyslexie : études de groupes et de cas multiples

Les difficultés d'apprentissage de la lecture peuvent avoir des origines diverses : un environnement social peu stimulant, une scolarisation non assidue ou une mauvaise maîtrise de la langue. La présence de troubles psychologiques, de déficits intellectuels ou encore de déficiences de la vision ou de l'audition peut également gêner cet apprentissage. C'est seulement face à une difficulté sévère d'apprentissage de la lecture, et après avoir éliminé les causes potentielles d'échec évoquées, que l'on peut parler de troubles spécifiques d'acquisition de la lecture, c'est-à-dire de dyslexie (Critchley, 1970 ; *World Health Organization*, 1993).

Ce chapitre présente une synthèse de l'état actuel des connaissances dans le domaine. Pour comprendre ce qui dysfonctionne chez le dyslexique, il faut toutefois avoir une idée du fonctionnement normal de la lecture et de son apprentissage. Le présent chapitre s'appuie donc sur les travaux présentés dans le chapitre 2, dans lequel ont été examinés les résultats des études sur les processus cognitifs mis en jeu dans la lecture chez celui qui sait lire (le lecteur dit « expert ») ainsi que ceux provenant des études sur l'apprentissage normal de la lecture.

Ces travaux ont montré que ce sont les mécanismes qui permettent d'identifier les mots écrits qui sont spécifiques à la lecture, le processus de compréhension étant largement amodal, c'est-à-dire similaire quel que soit le mode de présentation des informations linguistiques, écrit ou oral. En effet, chez le lecteur qui a développé des procédures d'identification des mots écrits efficientes, les corrélations entre compréhension écrite et orale sont très élevées. Ces travaux ont également montré que le lecteur expert a recours à des procédures d'identification des mots écrits très rapides et fortement indépendantes du contexte. De plus, ce lecteur a accès quasi-immédiatement non seulement à l'image visuelle des mots écrits, mais aussi à leur forme sonore. C'est le développement de telles procédures de lecture qui permet à l'enfant d'atteindre un niveau de compréhension écrite égal à celui de sa compréhension orale, en le dégageant du poids d'un décodage lent et laborieux. Les travaux de recherche suggèrent également que, dans une écriture alphabétique, la maîtrise du décodage est le *sine qua non* de l'apprentissage de la

lecture. Les bons décodeurs précoces sont en effet ceux qui progressent le mieux, et le plus vite. En outre, la « transparence » de l'orthographe facilite cet apprentissage. Ainsi, les enfants espagnols apprennent à lire plus vite que les petits français qui eux-mêmes apprennent plus vite que les petits anglais. Les travaux de recherche signalent enfin que les capacités phonologiques (capacités d'analyse phonémique, de mémoire phonologique à court terme et de dénomination rapide) sont les prédicteurs les plus fiables de l'apprentissage de la lecture. En comparaison, le poids des habiletés non verbales, tout comme celui des facteurs socioculturels, est moindre.

Le présent chapitre est centré sur deux principales questions : comment fonctionnent les procédures d'identification des mots écrits chez les dyslexiques et quelles sont, en dehors de la lecture, les compétences déficientes chez eux ? Auparavant, les principaux problèmes que posent les études portant sur ce type de population sont examinés.

Quelques problèmes méthodologiques

C'est face à une difficulté sévère d'apprentissage de la lecture, et après avoir éliminé les causes potentielles d'échec évoquées dans l'introduction, que l'on peut parler de dyslexie. Cette définition n'est toutefois pas opérationnelle d'un point de vue diagnostic. Elle ne fournit en effet aucun indice permettant de caractériser la dyslexie. La seule définition basée sur des critères non exclusionnaires s'appuie sur l'examen des performances en lecture des dyslexiques. Elle part du fait que, pour pouvoir comprendre des textes, l'enfant doit acquérir un haut niveau d'automaticité dans l'identification des mots écrits. C'est le développement d'une telle compétence qui lui permettra d'atteindre un niveau de compréhension écrite égal à celui de sa compréhension orale. Dans ce contexte, ce qui caractérise la dyslexie est l'incapacité de développer des procédures automatiques d'identification des mots écrits, cette difficulté, inattendue vu l'âge et les autres habiletés cognitives des dyslexiques, n'étant pas la conséquence de troubles sensori-moteurs. Cette définition est celle retenue par l'*International Dyslexia Association* (2005).

Une autre question est de savoir à partir de quand on peut dire d'un enfant qu'il est dyslexique. Si on accepte un critère souvent retenu (2 ans de retard), ce n'est qu'après deux ans d'échec qu'il est possible de faire un bilan de dyslexie, et donc d'apporter les aides nécessaires. Un meilleur critère est de tenir compte de l'écart par rapport à la moyenne des performances d'un groupe de lecteurs ne présentant pas de difficultés. On qualifie alors de déviantes les performances qui se situent, par exemple, à plus de 1,65 écart-type de la norme, ce qui, dans une distribution normale, correspond aux 5 % des sujets qui ont les scores les plus faibles.

Pour évaluer un déficit, il faut toutefois disposer de normes. Si on admet que le déficit principal des dyslexiques concerne les procédures d'identification des mots écrits, les tests doivent évaluer cette compétence. De tels tests existent dans les pays anglo-saxons (WRAT-R, Jastak et Wilkinson, 1984 ; Woodcock, 1987). Ces tests, utilisés aussi bien par les cliniciens que par les chercheurs, comportent des épreuves de lecture de mots et de pseudo-mots, qui ne prennent toutefois en compte que la précision de la réponse (pas le temps de réponse), ce qui a pu conduire à sous-estimer les déficits des dyslexiques les plus âgés (Shaywitz et Shaywitz, 2005). De telles batteries existent en France, la Belec (Mousty et Leybaert, 1999), l'Odedys et l'Evalec (Sprenger-Charolles et coll., 2005). Seule la dernière présente des données normatives pour le niveau CP qui tiennent compte à la fois de la précision et du temps de latence des réponses correctes.

Une question cruciale, pour ceux qui cherchent à mettre en relief un possible « génotype » de la dyslexie, est de savoir s'il y a un « phénotype ». En d'autres termes, est-ce que les manifestations de la dyslexie se retrouvent de façon identique chez la plupart des sujets. D'après les modèles de référence dans le domaine (Plaut et coll., 1996 ; Coltheart et coll., 2001), pour identifier les mots, le lecteur peut utiliser une procédure lexicale (ou visuo-orthographique) ou une procédure sublexicale (ou par médiation phonologique), ce qui renvoie, dans la terminologie utilisée dans le domaine de l'enseignement, à la lecture globale de mot, par opposition à son décodage. Dans ce contexte, la question est de savoir s'il y a des troubles des procédures d'identification des mots écrits qui prévalent chez les dyslexiques (c'est-à-dire qui se retrouvent de façon convergente à travers les études et qui caractérisent la majorité des cas) ou si, au contraire, il y a différents types de dyslexie. Cette question a des implications pour la prise en charge des enfants, qui doit s'adapter à la nature du trouble. Dans les parties suivantes, après avoir présenté la première étude dans laquelle la question de l'homogénéité des profils de dyslexie a été évaluée, sont explicités quelques problèmes méthodologiques à la source d'incohérences dans la littérature sur la dyslexie.

De l'étude princeps de Boder (1973) aux modèles issus de la neuropsychologie

La question de savoir s'il y a ou non homogénéité dans les manifestations de la dyslexie du développement était au cœur de l'étude de Boder (1973) qui a porté sur une centaine d'enfants de 8 à 16 ans. Dans un premier temps, des mots étaient présentés durant une seconde. Ceux qui n'ont alors pas été reconnus ont été représentés pendant 10 secondes. Les items reconnus dans la première condition sont supposés faire partie du vocabulaire « visuel » des enfants et ceux lus dans la seconde, supposés avoir été décodés. La dernière étape de l'étude comportait une épreuve d'écriture portant sur les mots reconnus visuellement et sur ceux décodés. La typologie a été établie sur la base des

résultats de cette épreuve. La plupart des dyslexiques (60 %) ont des troubles phonologiques sélectifs. Ces dyslexiques, dits dysphonétiques, n'écrivent correctement que les mots qu'ils connaissent par cœur. Les 10 % de dyslexiques dits dyseidétiques ont des problèmes spécifiques de mémorisation de la forme visuelle des mots : ils écrivent les mots comme ils les prononcent. Un troisième groupe inclut les enfants les plus sévèrement handicapés, qui souffrent à la fois de troubles visuels et phonologiques. D'après cette étude, les troubles phonologiques se retrouvent donc dans la majorité des cas de dyslexie. Cette étude a eu une large influence dans la pratique clinique. Elle est toutefois biaisée par le fait que la classification des dyslexiques était basée sur leurs habiletés d'écriture. Cette approche a été remplacée dès la fin des années 1970 par les travaux issus de la neuropsychologie.

La neuropsychologie s'est intéressée au traitement de l'information chez des patients qui ont perdu certaines habiletés suite à un accident cérébral. On parle alors de troubles acquis, par opposition aux troubles du développement. Les dyslexies acquises surviennent chez des adultes qui ont normalement appris à lire : l'architecture cognitive sous-tendant cette compétence était donc en place chez eux. En général, certains aspects de la lecture sont préservés et les dissociations fonctionnelles relevées permettent d'émettre des hypothèses sur les différentes composantes impliquées dans le processus de lecture. Ainsi, certains patients ne peuvent lire que les mots réguliers sur le plan des correspondances grapho-phonémiques, qu'ils soient ou non fréquents, et produisent des erreurs de régularisation sur les mots irréguliers, même très fréquents (« sept » lu comme « septembre »). D'autres présentent le profil inverse : ils ne peuvent lire que les mots fréquents, qu'ils soient ou non réguliers, et s'avèrent incapables de lire des mots nouveaux. Les patients du premier type sont dits avoir une dyslexie de surface (Coltheart et coll., 1983) et ceux du second type une dyslexie phonologique (Beauvois et Derouesné, 1979). Ces doubles dissociations, à la base du modèle à double voie de lecture (Coltheart, 1978 ; Coltheart et coll., 1993 et 2001), indiquent qu'il existerait deux procédures fonctionnellement distinctes : une procédure lexicale, s'appuyant sur la forme « globale » des mots et une procédure sublexicale (ou par médiation phonologique), s'appuyant sur les correspondances grapho-phonémiques.

Ces modèles ne sont pas forcément les plus adéquats pour rendre compte de la dyslexie du développement. En effet, chez ces dyslexiques, le déficit lexique ne résulte pas d'une lésion cérébrale acquise après l'apprentissage de la lecture : il se manifeste au cours de cet apprentissage. C'est la raison pour laquelle des modèles développementaux ont été élaborés (Marsh et coll., 1981 ; Frith, 1985 et 1986 ; Harris et Coltheart, 1986 ; Morton, 1989). Si on admet que, d'une part, les procédures de lecture se mettent en place progressivement, en suivant une trajectoire développementale spécifique, la maîtrise de la procédure sublexicale (par médiation phonologique) conditionnant la mise en place de la procédure lexicale (voir le chapitre 2) et que, d'autre

part, les dyslexiques présentent des déficiences dans les traitements impliquant la phonologie (Ramus, 2003), la procédure sublexicale ne devrait pas se mettre correctement en place chez eux, ni par voie de conséquence, la procédure lexicale. On ne devrait donc pas rencontrer de profils dissociés de type dyslexie phonologique (caractérisée par un déficit spécifique de la procédure phonologique de lecture) ou dyslexie de surface (caractérisée par un déficit spécifique de la procédure lexicale de lecture) dans la dyslexie du développement.

Apport et limites des différents types d'études

Deux types d'études ont occupé une place prépondérante dans la recherche sur la dyslexie jusqu'à une période récente : les études de groupes et celles de cas uniques. Les études de cas uniques visent à mettre en relief des profils extrêmes, représentatifs d'un type particulier de symptôme (Coltheart, 2004), alors que les études de groupes visent à déterminer ce qui caractérise le comportement moyen des dyslexiques, à partir de l'examen d'une large population supposée représentative de ce qu'est la dyslexie.

Dans les études de groupe, les scores d'un groupe de dyslexiques sont comparés à ceux d'un groupe de normolecteurs. Les différences sont dites robustes quand les mêmes résultats sont reproduits dans différentes études. Ces études neutralisent toutefois les individus. Or, les participants d'un même groupe n'ont pas tous le même comportement. Une différence significative peut en effet n'être due qu'à un petit nombre de dyslexiques, par exemple, autour de 50 %, comme dans une étude de Tallal (1980). Dans ce cas, il est illégitime de dire que le déficit observé est prévalent.

Les études de cas uniques ne s'intéressent en revanche qu'aux individus, leur objectif étant de mettre en relief l'existence de profils dissociés dans la dyslexie. On définit comme dyslexique phonologique celui qui a un déficit sélectif de la procédure par médiation phonologique et comme dyslexique de surface celui qui a un déficit sélectif de la procédure lexicale de lecture. Cette typologie est le plus souvent fondée sur la comparaison entre les scores en lecture de mots irréguliers fréquents (qui peuvent être traités par la procédure lexicale) et ceux en lecture de pseudo-mots (traités par la procédure par médiation phonologique). Le dyslexique phonologique a des performances normales en lecture de mots irréguliers fréquents alors que ses performances en lecture de pseudo-mots sont en dessous de la norme, et vice versa pour la dyslexie de surface. Ce type d'étude pose deux problèmes. D'une part, lorsque l'on n'examine que des profils dissociés, sont exclus les dyslexiques qui ont un double déficit. D'autre part, on ne peut rendre compte de la prévalence des différents profils.

Pour connaître cette prévalence, il faut s'appuyer sur l'examen de séries de cas. Ce type d'études permet de surmonter les difficultés respectives des deux

méthodes précédentes. Ces études utilisent en effet la méthode des cas uniques, sauf qu'elles prennent en compte plusieurs cas non sélectionnés pour leur typicité. De plus, comme les études de groupes, elles portent sur une large population supposée représentative de la population des dyslexiques. Elles peuvent donc permettre de connaître la prévalence des profils de type dyslexie phonologique et de surface. Elles permettent également de cerner la proportion des profils mixtes que les études de cas uniques ont toujours négligés. Une méthode de plus en plus utilisée s'appuie sur l'examen de séries de cas de dyslexiques émanant d'une vaste cohorte suivie pendant plusieurs années depuis une période précédant l'apprentissage de la lecture. Ce type d'études permet d'évaluer les différences entre de futurs dyslexiques et de futurs normolecteurs avant l'apprentissage de la lecture ainsi que la stabilité des profils de dyslexie dans le temps.

Limites des comparaisons avec des enfants de même âge

Les performances des dyslexiques sont souvent comparées à celles de normolecteurs de même âge, ce qui est discutable. En effet, le niveau de lecture a une incidence sur les capacités langagières, entre autres, le vocabulaire et les capacités d'analyse phonémique. En conséquence, une différence entre dyslexiques et normolecteurs de même âge chronologique dans ces domaines peut simplement s'expliquer par le niveau de lecture des dyslexiques. D'autre part, il y a des changements au cours de l'apprentissage dans les procédures de lecture utilisées. Ainsi, l'effet de la régularité (la différence entre la lecture de mots réguliers, comme « table » et irréguliers, comme « sept ») est plus notable chez les jeunes enfants (7-8 ans) que chez les plus âgés (à 10 ans). En conséquence, il est problématique de comparer les compétences en lecture de normolecteurs de 10 ans à celles de dyslexiques de même âge mais ayant un niveau de lecture d'enfants de 8 ans.

Bryant et Impey (1986) ont été les premiers à avoir mis en relief le caractère crucial d'une comparaison entre dyslexiques et normolecteurs de même niveau de lecture. Ce type de comparaison, à la différence de celles avec des normolecteurs de même âge chronologique, permet en effet de cerner si la dyslexie correspond à un simple retard d'apprentissage. Pour donner une image, on peut se figurer une balance avec deux plateaux et des poids sur chacun d'eux, les poids sur le plateau de gauche et sur celui de droite indiquant respectivement l'efficience des procédures sublexicale et lexicale de lecture. Le poids global de ces deux procédures est identique chez les dyslexiques et les normolecteurs. Si les plateaux s'équilibrent de la même façon chez les dyslexiques et les normolecteurs plus jeunes, les dyslexiques ont un simple retard d'apprentissage. Les plateaux peuvent toutefois ne pas se positionner de façon identique dans les deux populations. Dans ce cas, comme le soulignent Bryant et Impey (1986), les dyslexiques présentent un profil atypique,

non observé chez des enfants qui ont le même niveau global de lecture qu'eux : leur trajectoire développementale est donc déviante.

Limites dues aux mesures utilisées pour caractériser les déficits lexiques des dyslexiques

Les effets les plus souvent manipulés sont ceux de lexicalité, de fréquence et de régularité. La manifestation d'effets de fréquence ou de lexicalité est considérée comme étant la signature de la procédure lexicale. En effet, cette procédure doit permettre de mieux lire les mots fréquents que les rares, leur adresse étant plus facilement accessible parce que plus souvent sollicitée. La lexicalité n'est que la limite extrême de la fréquence, les pseudo-mots ne pouvant avoir d'adresse dans le lexique interne d'un sujet, vu qu'ils n'existent pas. D'un autre côté, une supériorité de la lecture de mots réguliers par rapport à des mots irréguliers (effet de régularité) est l'indicateur du recours à la procédure sublexicale (par médiation phonologique), les mots irréguliers ne pouvant être correctement lus par cette procédure.

L'efficience d'un comportement doit se mesurer par sa précision et sa rapidité. La rapidité de la réponse ne peut cependant être utilisée que si le nombre de réponses correctes est suffisamment élevé (plus de 50 % pour les épreuves de lecture à haute voix de mots ; Olson et coll., 1994). Cela permet de comprendre pourquoi, dans les études effectuées avec des dyslexiques anglophones, il n'a le plus souvent été tenu compte que de la précision. En effet, le nombre moyen de réponses correctes est souvent très bas, ce qui n'est pas le cas dans d'autres langues, comme en espagnol ou en allemand, dans lesquelles les bilans de dyslexie se basent sur le temps de traitement. Ce n'est également pas le cas en français bien que le temps de réponse ne soit que rarement pris en compte, ce qui a pu conduire à des erreurs de diagnostic. En effet, il n'est pas possible de dire que les capacités de lecture d'un sujet dyslexique sont préservées quand ce sujet est aussi précis que des normolecteurs mais plus lent.

Ces questions sont examinées dans ce chapitre qui présente d'abord les études sur le fonctionnement des procédures d'identification des mots écrits dans la dyslexie, puis celles sur les compétences déficitaires, en dehors de la lecture, chez ces sujets. Ce chapitre s'appuie sur les résultats d'études de groupes et de séries de cas. De plus, les manifestations de la dyslexie étant supposées être influencées par la transparence de l'orthographe, aussi souvent que possible sont présentés les résultats d'études inter-langues, et ceux d'études impliquant des non-anglophones. Une attention particulière est portée, d'une part, aux études s'appuyant sur des comparaisons entre dyslexiques et normolecteurs de même niveau de lecture, d'autre part, aux liens entre l'exactitude de la réponse et la vitesse de traitement et, enfin, aux études comportant des données longitudinales, en particulier celles recueillies avant l'apprentissage de la lecture chez de futurs dyslexiques.

Procédures d'identification des mots écrits dans la dyslexie

Cette section présente des résultats émanant d'études de groupes et de séries de cas individuels de dyslexiques. Les études de groupes permettent de caractériser le phénotype de la dyslexie, en mettant en relief la spécificité des procédures d'identification des mots écrits utilisées par ces sujets, en tant que groupe, alors les études de séries de cas permettent d'évaluer le nombre de sujets qui ont un déficit spécifique, quel qu'il soit. Les résultats des études de groupe sont dits robustes s'ils se retrouvent de façon convergente dans différentes études ; les déficits sont dits prévalents s'ils se retrouvent dans la majorité des cas.

Études de groupes

Les premiers travaux sur la dyslexie ont mis en relief des difficultés supposées visuelles. Par exemple, les dyslexiques lisent « p » à la place de « b » (Orton et Samuel, 1937). Cette hypothèse encore très populaire a été rejetée.

Pour être sûr que les confusions entre p-b (ou entre b-d) sont visuelles, il faudrait que ces erreurs ne concernent que ces deux lettres, et non leur équivalent phonologique t-d (ou p-t) ; ce qui n'est pas le cas. En effet, les dyslexiques (Fischer et coll., 1978 ; Vellutino, 1979), comme les lecteurs débutants (Liberman et coll., 1971 ; Cossu et coll., 1995 ; Sprenger-Charolles et Siegel, 1997), font autant de confusion entre p et b qu'entre t et d, ce qui suggère, comme le soulignent les auteurs, que les erreurs entre p et b sont plutôt phonologiques que visuelles.

Les études ultérieures sur la dyslexie ont pour la majeure partie d'entre elles été basées sur le modèle à double voie de lecture (Coltheart, 1978 ; Coltheart et coll., 1993 et 2001) et/ou sur les modèles développementaux (Frith, 1985 ; Harris et Coltheart, 1986 ; Seymour, 1986 ; Morton, 1989), l'objectif étant de vérifier si le déficit des dyslexiques concerne plutôt la procédure sublexicale que la procédure lexicale de lecture.

Dans le cadre de ces études, on utilise les items supposés être la meilleure signature de la mise en œuvre de l'une des deux procédures de lecture, des mots irréguliers fréquents pour la procédure lexicale, et des pseudo-mots non-analogues de mots de la langue[23] pour la procédure sublexicale (ou par médiation phonologique). Si la procédure sublexicale des dyslexiques est

23. C'est-à-dire des pseudo-mots qui ne ressemblent pas à des mots de la langue, ni sur le plan orthographique, ni sur le plan phonologique. En effet, des pseudo-mots proches de mots de la langue (comme « mable » ou « lorte », analogues de « table » et de « porte ») peuvent être partiellement lus par une procédure lexicale.

déficiente, leur déficit devrait surtout ressortir en lecture de pseudo-mots, parce qu'aucune stratégie lexicale n'est alors disponible (il n'est en effet pas possible de « reconnaître » un mot qui n'a jamais été rencontré). L'effet de la lexicalité, c'est-à-dire la différence entre la lecture de mots et de pseudo-mots, devrait donc être plus important chez eux que chez des normolecteurs. À l'inverse, l'effet de la régularité, c'est-à-dire la différence entre des mots réguliers comme « table » et des mots irréguliers comme « sept », devrait être plus faible chez eux que chez des normolecteurs. Cette dernière hypothèse est fondée sur le fait que l'utilisation normale de la voie sublexicale de lecture facilite la lecture de mots réguliers au détriment des mots irréguliers, au moins dans les étapes initiales de l'acquisition de lecture (voir pour des résultats en anglais ou en français : Backman et coll., 1984 ; Waters et coll., 1984 ; Sprenger-Charolles et coll., 1998 et 2003).

Déficit des dyslexiques en lecture de pseudo-mots : analyse des études de groupes anglophones

La présence d'un déficit en lecture de pseudo-mots chez les dyslexiques, y compris par rapport à des normolecteurs plus jeunes qu'eux mais de même niveau de lecture (appelés normolecteurs de même âge lexique ; NLAL), est un indicateur du fait que leur trajectoire développementale est déviante. Cette question a été évaluée dans la revue de la littérature de Rack et coll. (1992) et dans la méta-analyse de Van Ijzendoorn et Bus (1994).

Rack et coll. (1992) ont séparé les études en deux ensembles : celles où les dyslexiques se sont avérés plus faibles que les NLAL et les autres. Le premier ensemble comporte dix études impliquant 428 dyslexiques et un nombre équivalent de NLAL (Snowling, 1981 ; Baddeley et coll., 1982 ; Siegel et Ryan, 1988). Les dyslexiques ont de 5 à 1,3 ans de plus que les NLAL (médiane : 2,5 ans). Les différences pour l'exactitude de la réponse en lecture de pseudo-mots varie de 43 % (Snowling, 1981) à 9 % (Baddeley et coll., 1982) avec une médiane de 19 %. L'autre ensemble inclut six études impliquant 276 dyslexiques et un nombre équivalent de NLAL (Beech et Harding, 1984 ; Treiman et Hirsh-Pasek, 1985 ; Szeszulski et Manis, 1987). Les différences d'âge entre groupes varient entre 4 et 1 ans (médiane : 3) et celles pour les scores en lecture de pseudo-mots entre 15 et 0 % (médiane : 4 %), les deux scores extrêmes ayant été relevés chez les enfants qui avaient le niveau de lecture le plus bas et le plus élevé dans l'étude de Szeszulski et Manis (1987). Le résultat nul observé dans le dernier cas peut donc provenir d'effets plafonds pour la précision de la réponse. Rack et coll. (1992) postulent que les différences entre ces deux ensembles peuvent être dues soit aux tests employés pour apparier les groupes, soit au type de pseudo-mots utilisé. En effet, les différences non significatives émergent, d'une part, dans les études dans lesquelles les dyslexiques ont été appariés aux NLAL sur la base d'un test impliquant la lecture de mots en

contexte, ou celle de mots simples. D'autre part, elles se retrouvent surtout dans les études qui ont utilisé des pseudo-mots simples (courts ou peu complexes).

La validité de ces explications a été évaluée par Van Ijzendoorn et Bus (1994) dans une méta-analyse des études prises en compte par Rack et coll. (1992). La population entière comporte 1 183 sujets, la moitié étant dyslexiques. Van Ijzendoorn et Bus ont calculé la taille de la différence entre les scores des dyslexiques et ceux des NLAL en nombre d'écarts-type. Pour estimer la force d'un effet, les valeurs proposées par Cohen (1988) ont été utilisées : un effet de 0,20 est considéré faible, à partir de 0,50, il est dit modéré, et à partir de 0,80, fort. Pour la totalité des études passées en revue par Van Ijzendoorn et Bus, la taille de l'effet varie de 0 à 1,03 (moyenne : 0,48). La taille de l'effet est de 0,66 pour les études dans lesquelles la différence entre dyslexiques et NLAL était significative. Toutefois, la combinaison des scores des études qui, individuellement, n'avaient pas permis de mettre en relief un déficit des dyslexiques en lecture de pseudo-mots montre que ce déficit est présent : bien qu'étant plus faible que pour les autres études (0,27), la différence entre dyslexiques et NLAL est significative ($p < 0,005$).

Van Ijzendoorn et Bus ont ensuite examiné l'impact des facteurs qui, selon Rack et coll. (1992), ont pu biaiser les résultats. En fait, le type de pseudo-mots (longueur ou degré de similitude par rapport à des mots) n'a pas d'incidence sur la taille d'effet. En revanche, la nature du test utilisé pour apparier les groupes influe sur la taille de l'effet, qui est plus faible dans les études qui ont utilisé un test de lecture de mots en contexte ou facile à lire (0,23) que dans celles fondées sur la lecture de mots complexes (0,62).

Cette méta-analyse corrobore les conclusions de Rack et coll. (1992), à savoir que le déficit systématiquement relevé en lecture de pseudo-mots chez les dyslexiques comparativement à des enfants plus jeunes qu'eux mais de même niveau de lecture, est un argument fort à l'appui de l'hypothèse qu'un déficit phonologique est au cœur de la dyslexie, ce déficit traduisant un développement déviant de leurs compétences phonologiques de lecture. Elle signale aussi les biais introduits par un appariement fait sur la base d'un test non adéquat.

Effet de la régularité dans la dyslexie : méta-analyse des études de groupes anglophones

L'effet de la régularité fournit un index de l'utilisation de la procédure sublexicale de lecture. Si les dyslexiques n'utilisent que peu cette procédure, l'effet de la régularité devrait être plus faible chez eux que chez des normolecteurs (Manis et coll., 1990). En dépit de la validité apparente de cette prédiction, un effet de régularité de même amplitude a été relevé entre

dyslexiques et normolecteurs plus jeunes mais de même niveau de lecture (NLAL) dans les études anglophones (Olson et coll., 1985 ; Bruck, 1988 ; Stanovich et coll., 1988 ; Snowling et coll., 1996a). Metsala et coll. (1998) ont effectué une méta-analyse de 17 études (en tout, plus de 1 000 participants : 536 dyslexiques et 580 NLAL).

Comme dans les analyses de Van Ijzendoorn et Bus (1994), la taille de l'effet de la régularité a été évaluée en fonction de l'écart-type entre les groupes, pondéré cette fois par l'effectif. La taille de cet effet est globalement de 0,63 (non pondéré : 0,74), et, contrairement aux prédictions, elle est de même amplitude pour les dyslexiques (0,58 ; non pondéré : 0,64) et les NLAL (0,68 ; non pondéré : 0,85). Y compris dans les huit études qui avaient montré une infériorité de cet effet chez les dyslexiques (Frith et Snowling, 1983 ; Szeszulski et Manis, 1987 ; Murphy et Pollatsek, 1994), la taille de l'effet n'est pas pour eux différente de celle observée pour les NLAL. En outre, la fréquence des mots a un impact sur l'importance de l'effet, son amplitude diminuant en fonction de la fréquence des mots. Cependant, y compris dans les études qui ont employé des mots de haute fréquence, la taille moyenne de l'effet est au-dessus de zéro, en conformité avec les résultats rapportés par Jared (1997) montrant que la régularité affecte même la lecture de mots de haute fréquence.

Effets de lexicalité et de régularité dans la dyslexie : autres exemples (anglais et français)

Un premier exemple permettant d'apporter des éléments nouveaux à propos du déficit de la procédure par médiation phonologique chez les dyslexiques vient d'une étude longitudinale dans laquelle les effets de lexicalité et de régularité ont été évalués en même temps chez eux et chez des normolecteurs qui, au départ, avaient un même niveau de lecture (Snowling et coll., 1996a). Au début de l'étude, les scores des dyslexiques en lecture ne différaient pas de ceux des NLAL. Toutefois, ils deviennent inférieurs à ceux des NLAL au temps 2 (soit deux ans après la première évaluation), particulièrement pour la lecture de pseudo-mots (15 % d'amélioration contre 42 % pour les NLAL, soit une différence de 27 %). La différence de progression entre sessions pour ces deux groupes est moins marquée pour les mots réguliers (16 %) et les mots irréguliers (12 %). Ainsi, même lorsqu'un déficit en lecture de pseudo-mots n'a pas été observé chez des dyslexiques comparativement à des NLAL, les différences de progression dans le temps montrent que les dyslexiques ont des difficultés majeures quand ils doivent utiliser les correspondances grapho-phonémiques sans pouvoir s'appuyer sur leurs connaissances lexicales. En revanche, l'effet de la régularité, significatif pour les deux groupes et pour les deux sessions de test, ne permettait pas de différencier les dyslexiques des NLAL, ce qui est conforme aux résultats rapportés par Metsala et coll. (1998).

Les effets de lexicalité et de régularité ont également été examinés simultanément dans une étude francophone (Casalis, 1995) qui a impliqué des dyslexiques dont le niveau de lecture était inférieur de deux ans à leur âge chronologique. Ces enfants dyslexiques (QI normal, absence de déficit linguistique ou sensori-moteur) ont été appariés à des NLAL. Les deux groupes ont eu à lire des pseudo-mots ainsi que des mots réguliers et irréguliers. L'exactitude et la latence de la réponse vocale ont été mesurées. Comme relevé dans les études anglophones (Metsala et coll., 1998), l'effet de la régularité est significatif et également fort dans les deux groupes. En revanche, et toujours comme en anglais (Rack et coll., 1992 ; Van Ijzendoorn et Bus, 1994), l'effet de la lexicalité est plus fort chez les dyslexiques que chez les NLAL.

Des résultats similaires ont été rapportés dans d'autres études impliquant des enfants français (Casalis, 2003 ; Grainger et coll., 2003). Dans l'étude de Bosse et Valdois (2003), bien que les performances en lecture de deux groupes de 10 dyslexiques (âge entre 9 et plus de 15 ans), l'un présentant un déficit visuo-attentionnel, l'autre un déficit phonologique, soient similaires à celles de normolecteurs de même niveau de lecture, quel que soit le test (lecture de mots réguliers ou irréguliers et lecture de pseudo-mots) et la mesure (précision ou rapidité), l'examen des données montre que les dyslexiques ont systématiquement des scores inférieurs à ceux des normolecteurs de même niveau de lecture, en lecture de pseudo-mots. Ainsi, le groupe des dyslexiques phonologiques est moins précis que le groupe témoin plus jeunes (28,4 réponses correctes contre 30,2 ; écarts-types : 6,4 et 3,9) et plus lent (2,3 secondes contre 1,7 ; écarts-types : 0,8 et 0,6). Les mêmes tendances ont été relevées chez les 10 dyslexiques souffrant d'un déficit visuo-attentionnel, chez lesquels les différences sont surtout marquées pour le temps de traitement (plus d'une seconde de différence avec les normolecteurs de même niveau de lecture : 3,3 secondes contre 2,2 ; écarts-types : 1,7 et 0,4), pas pour la précision de la réponse (28,8 réponses correctes contre 29,1 ; écarts-types : 5,9 et 3,8).

Ces différentes études indiquent que les dyslexiques souffrent d'une déficience sélective de leur procédure phonologique de lecture qui est sévère puisqu'elle se retrouve même dans les comparaisons avec des enfants plus jeunes mais de même niveau de lecture.

Comparaisons entre dyslexiques anglophones et non-anglophones

Les études impliquant des dyslexiques anglophones et non-anglophones sont rares. À notre connaissance, la première a été effectuée par Lindgren et coll. (1985). Elle a inclus plus de 1 500 enfants de 11 ans, environ 1 000 anglophones et 500 italophones. Le niveau de lecture a été évalué à l'aide des tests de compréhension : 50 questions à choix multiple portant sur 8 textes (*International Evaluation of Educational Achievement*, Thorndike, 1973). Les enfants ayant un QI supérieur ou égal à 85 et un score de compréhension

en lecture avec un écart-type en dessous de leur QI ont été dits dyslexiques. Sur cette base, la dyslexie paraît sensiblement plus prévalente aux États-Unis (7,3 %) qu'en Italie (3,6 %). Les capacités de décodage ont été également évaluées. En raison des différences entre les tests anglais et italiens, il n'a pas été possible de comparer les résultats des deux groupes nationaux. Les scores de 59 % des dyslexiques anglophones sont à au moins un écart-type en dessous des normes nationales en lecture de pseudo-mots, contre seulement ceux de 25 % des dyslexiques italophones. Les déficits des dyslexiques en lecture de pseudo-mots ont toutefois pu être sous-estimés, seule l'exactitude de la réponse ayant été prise en compte. De plus, comme le soulignent les auteurs, les différences entre dyslexiques et normolecteurs se retrouvent principalement dans des tests impliquant le traitement du langage. En particulier, les capacités verbales (entre autres, capacités de dénomination, de répétition de phrases et d'analyse phonémique) permettent de rendre compte de la plupart des différences entre dyslexiques et normolecteurs, mais pas les capacités visuelles (perception visuo-spatiale et capacités visuo-motrices), au moins dans ce dernier cas pour les dyslexiques italiens. Ainsi, bien que les déficits des dyslexiques anglophones semblent plus graves que ceux des dyslexiques italophones, les similitudes entre les deux groupes sont plus fortes que les différences. Toutefois, comme le soulignent encore les auteurs, l'irrégularité de l'orthographe de l'anglais pourrait conduire les anglophones à s'appuyer plus que les italophones sur des procédures « visuelles » (ou lexicales) de lecture.

La même conclusion ressort d'une étude de Landerl et coll. (1997) qui ont examiné les capacités de lecture de dyslexiques anglophones et germanophones de 11-12 ans qui avaient un retard en lecture d'environ 3-4 ans. Chaque groupe a été comparé à un groupe de normolecteurs plus jeunes (8 ans) mais de même âge lexique (NLAL). Des mots proches ont été utilisés dans les deux langues (« *boat-boot* »). Des pseudo-mots ont été créés en changeant les débuts des mots (« *brind* » pour « *blind* »). La longueur des items variait de 1 à 3 syllabes. Les scores des dyslexiques germanophones sont meilleurs que ceux des anglophones, même quand on compare la lecture des items les plus difficiles (pseudo-mots de 3 syllabes) à celle des items les plus faciles (mots de 1 syllabe). L'augmentation des erreurs en fonction de la longueur des items est plus importante pour les dyslexiques anglophones que pour les germanophones, surtout pour les pseudo-mots : 70 % d'erreurs sur les pseudo-mots de 3 syllabes pour les anglais contre 20 % pour les allemands. De plus, les différences entre les deux groupes de dyslexiques concernent surtout la lecture des voyelles (324 prononciations incorrectes de la première voyelle d'un mot chez les dyslexiques anglophones contre 20 chez les germanophones), ce qui peut s'expliquer par le fait qu'en anglais – mais pas en allemand – les correspondances graphème-phonème pour les voyelles sont très inconsistantes. Enfin, comparativement à leurs pairs NLAL, les dyslexiques, quelle que soit leur langue, font plus d'erreurs sur les pseudo-mots. Ces résultats

reflètent l'impact de la consistance de l'orthographe sur les performances en lecture des dyslexiques. Ils indiquent également que, quel que soit le degré d'opacité de l'orthographe, les déficits des dyslexiques sont principalement relevés en lecture de pseudo-mots, y compris par rapport à des enfants plus jeunes qu'eux mais de même niveau de lecture.

Une autre étude a impliqué des dyslexiques anglais et allemands de 10-11 ans (Ziegler et coll., 2003) moins sévèrement atteints (la différence avec les NLAL est d'un peu plus de 2 ans contre 3-4 ans dans l'étude de Landerl et coll., 1997). Ces enfants ont eu à lire des items simples (mots et pseudo-mots d'une syllabe). La précision de la réponse et le temps de latence ont été pris en compte. Une nouvelle fois, un déficit des dyslexiques par rapport aux NLAL est relevé en lecture de pseudo-mots, mais seulement sur le temps de réponse, ce déficit étant de même amplitude dans les deux langues. Ces résultats suggèrent que, tout au moins quand les pseudo-mots ne sont pas trop difficiles et quand le retard en lecture des dyslexiques n'est pas trop sévère, même les dyslexiques anglais peuvent utiliser les correspondances grapho-phonémiques, leur déficit se manifestant seulement sur le temps qu'il leur faut pour réaliser la tâche.

Des résultats similaires ont été rapportés dans une étude qui a impliqué des adultes dyslexiques et des normolecteurs de même âge anglais, français et italiens (Paulesu et coll., 2001). Le temps de latence de la réponse vocale a été évalué pour des mots et des pseudo-mots. Afin de permettre une comparaison avec l'italien, uniquement des mots réguliers ont été utilisés en français et en anglais. Ces items étaient en plus très fréquents. Des pseudo-mots ont été créés à partir des mots, en changeant les consonnes internes. Quand les tailles relatives des effets (*z*-scores) ont été comparées, le déficit en lecture des dyslexiques anglais n'est pas plus marqué que celui des dyslexiques français ou italiens, en dépit de la plus grande inconsistance de l'orthographe de l'anglais. Ce n'est pas le même tableau qui ressort des scores bruts, comme le montre la figure 9.1 : plus l'orthographe est opaque, plus sévère est le déficit des dyslexiques. Le plus surprenant est que les performances des dyslexiques italiens se situent entre celles des normolecteurs anglais et français. On peut en conclure que la dyslexie est simplement la manifestation d'une difficulté linguistique spécifique, s'expliquant par l'opacité des relations grapho-phonémiques. Toutefois, un examen approfondi de cette figure permet de relever que, dans chaque groupe linguistique, l'écart entre les performances des dyslexiques et celles des normolecteurs est important. Surtout, et quel que soit le degré d'opacité des relations grapho-phonémiques, le déficit le plus notable se retrouve en lecture de pseudo-mots. En plus des investigations comportementales, des données de neuro-imagerie ont permis de relever un dysfonctionnement commun dans les trois groupes de dyslexiques comparativement aux normolecteurs, ce qui signale que le déficit de lecture des dyslexiques, qui concerne principalement la procédure phonologique de lecture, aurait une origine neurale commune.

Figure 9.1 : Comparaison des temps de latence en lecture de mots et de pseudo-mots entre dyslexiques adultes et normolecteurs de même âge (anglais, français et italien) (d'après Paulesu et coll., 2001)

D'autres études n'impliquant pas des anglophones indiquent également que le déficit des dyslexiques se manifeste surtout par la lenteur de la réponse en lecture de pseudo-mots, y compris par rapport à des normolecteurs de même niveau de lecture (en espagnol : Jimenez-Gonzalez et Valle, 2000 ; en allemand : Wimmer, 1993 ; Wimmer, 1995 ; en français : Casalis, 1995 et 2003 ; Sprenger-Charolles et coll., 2000 ; Grainger et coll., 2003).

Ces études indiquent donc qu'un déficit spécifique et sévère de la procédure phonologique de lecture caractérise les dyslexiques. Toutefois, l'opacité de l'orthographe est un facteur environnemental aggravant.

Explication non phonologique des déficits de lecture des dyslexiques non-anglophones

Certains chercheurs postulent que les problèmes de lenteur relevés chez les dyslexiques non-anglophones s'expliqueraient par leurs difficultés à mémoriser la forme visuelle des mots, alors que le déficit de précision relevé chez les anglophones proviendrait d'une déficience phonologique. En d'autres termes, les dyslexiques non-anglophones souffriraient d'une dyslexie de surface et les anglophones d'une dyslexie phonologique. Cette interprétation a été proposée pour expliquer des résultats observés en allemand (Wimmer et Mayringer, 2002 ; Hutzler et Wimmer, 2004) et en italien (Zoccolotti et coll., 1999 ; Judica et coll., 2002).

Une première étude (Wimmer et Mayringer, 2002) a pris en compte deux groupes de germanophones souffrant de dissociations entre leurs capacités de lecture et d'écriture. La logique qui sous-tend cette étude est que l'allemand se caractérise par une plus forte consistance des relations grapho-phonémiques (utilisées pour lire) que des relations phono-graphémiques (utilisées pour écrire). Il faut donc avoir des représentations orthographiques bien spécifiées pour écrire correctement les mots, alors qu'il suffit d'avoir une bonne maîtrise des relations grapho-phonémiques pour bien les lire. Le niveau de lecture a été évalué par la lecture d'une histoire courte et de deux listes de mots. Un score composite de fluence, exprimé en nombre de syllabes lues par minute, a été calculé sur la base des résultats aux trois tests de lecture. Les mots choisis pour le test d'écriture ne pouvaient pas être correctement orthographiés en utilisant les correspondances phonème-graphème. Les enfants ont eu aussi à lire des pseudo-mots, la précision et la rapidité de la réponse ont été prises en compte. Trois ans auparavant (1re année de primaire), leurs capacités d'analyse et de mémoire phonologique, ainsi que la rapidité de dénomination de mots fréquents, avaient été évaluées.

Le premier groupe incluait 415 enfants et le second 230. Les enfants ayant des troubles de lecture et/ou d'écriture ont été répartis en 3 sous-groupes : ceux qui ont un déficit sélectif en lecture (scores au-dessous du 16e percentile pour la fluence en lecture et au-dessus du 25e pour la précision en écriture) ou en écriture (scores au-dessous du 16e percentile pour la précision en écriture et au-dessus du 25e pour la fluence en lecture) et ceux qui ont des capacités faibles dans les deux domaines. Dans le premier groupe, 83 des 415 enfants ont des difficultés de lecture et/ou d'écriture. Dans 51 % des cas, il s'agit d'un double déficit, dans 28 % des cas d'un déficit sélectif en lecture, les 22 % restant manifestant un déficit sélectif en écriture. Parmi les 230 enfants du second groupe, 54 ont un déficit de lecture et/ou d'écriture. Pour 37 % d'entre eux, il s'agit d'un double déficit, les autres sujets ayant un déficit sélectif de lecture (35 %) ou d'écriture (28 %).

Dans les sous-groupes souffrant d'un trouble spécifique de la lecture, ont été relevés des déficits précoces de dénomination rapide. En revanche, chez ceux souffrant d'un trouble spécifique de l'écriture, les déficits précoces émergeaient en analyse et en mémoire phonologique. Toutefois, dans la mesure où le temps de traitement pour les tests d'analyse et de mémoire phonologique n'a pas été pris en compte, tandis qu'uniquement le temps de traitement a été évalué dans le test de dénomination rapide, les différences observées peuvent s'expliquer par le type de mesure utilisé (précision *versus* temps) et non par le type de tâche. En effet, c'est sur la base du temps de traitement que le groupe supposé avoir un trouble spécifique de la lecture a été établi, ce déficit allant de pair avec une déficience de temps de traitement dans la tâche de dénomination rapide, alors que le groupe souffrant d'un déficit sélectif d'écriture a été constitué en fonction de la précision de

la réponse, ce déficit étant accompagné de difficultés au niveau de la précision de la réponse en analyse et en mémoire phonologique.

Les autres études qui ont évalué l'hypothèse selon laquelle les problèmes typiques de lenteur relevés chez les dyslexiques non-anglophones proviendraient de difficultés de mémorisation de la forme visuelle des mots ont utilisé les mouvements oculaires (en italien : De Luca et coll., 1999 ; De Luca et coll., 2002 ; Judica et coll., 2002 ; en allemand : Hutzler et Wimmer, 2004 ; Hawelka et Wimmer, 2005). Comme Rayner l'expliquait (1998), il n'est pas possible d'affirmer que le patron atypique des mouvements oculaires le plus souvent observé chez les dyslexiques soit la cause plutôt que la conséquence de leurs difficultés de lecture. Le poids de cette remarque est d'autant plus fort que, dans toutes les études ci-dessus citées, les performances des dyslexiques ont été comparées à celles de normolecteurs de même âge chronologique, à la différence de celles qui ont évalué les déficits phonologiques en lecture (excepté Lindgren et coll., 1985 ; Paulesu et coll., 2001). De plus, certains résultats relevés dans ces études sont compatibles avec l'hypothèse phonologique. Ainsi, comme le soulignent Hutzler et Wimmer (2004), l'opacité de l'orthographe semble avoir une incidence sur la durée moyenne de fixation, qui est plus courte chez les dyslexiques italiens que chez les germanophones. Par exemple, lors de la lecture d'un passage, cette durée est de 290 ms chez des dyslexiques italiens de 12 ans (56 ms de plus que chez les normolecteurs ; De Luca et coll., 1999). Dans une tâche identique, la durée moyenne des fixations est de 360 ms pour des dyslexiques allemands plus âgés (soit plus de 175 ms que chez les normolecteurs ; Hutzler et Wimmer, 2004). Enfin, les différences les plus notables entre dyslexiques italiens et allemands sont encore trouvées en lecture de pseudo-mots.

La méthodologie utilisée dans ces études n'est pas la même, ce qui limite la portée des comparaisons. Toutefois, comme Hutzler et Wimmer le suggèrent (2004), les résultats de ces études ne permettent pas de corroborer l'hypothèse que les dyslexiques non-anglophones auraient un profil de type surface, ce d'autant plus que le patron atypique des mouvements oculaires relevé chez eux comparativement aux normolecteurs (nombre plus élevé de fixations et durée prolongée de ces fixations) a été non seulement trouvé en lecture de mots, comme attendu chez les dyslexiques de surface, mais aussi, et de façon encore plus marquée, en lecture de pseudo-mots, comme attendu chez les dyslexiques phonologiques. De plus, des déficits dans des tâches impliquant des traitements phonologiques (en particulier : répétition de pseudo-mots, détection de rimes et dénomination rapide) ont été relevés avant l'apprentissage de la lecture chez les futurs dyslexiques comparativement aux futurs normolecteurs de l'étude Hawelka et Wimmer (2005).

Les données à l'appui de la nouvelle explication, selon laquelle les troubles lexiques des dyslexiques non-anglophones seraient dus au fait qu'ils n'arrivent pas à bien mémoriser la forme globale des mots, sont donc ambiguës.

Il est surtout difficile de les réconcilier avec les résultats provenant de différentes études, effectuées dans différentes écritures alphabétiques, qui indiquent tous de façon convergente qu'un déficit phonologique sévère et spécifique de lecture est la caractéristique principale de la dyslexie développementale, y compris dans les langues qui ont une orthographe relativement transparente, ce déficit émergeant même dans les comparaisons avec des enfants plus jeunes qu'eux, mais de même niveau de lecture, ce qui est clairement le signe d'une déviance développementale.

Discussion sur les études de groupe

La présence d'un déficit sévère en lecture de pseudomots s'accompagnant d'effets équivalents de la régularité chez des dyslexiques comparativement à des enfants plus jeunes mais de même niveau de lecture signale clairement que la procédure phonologique de lecture des dyslexiques est déficiente. Etant donné que ce sont pratiquement les mêmes études qui ont été passées en revue par Rack et coll. (1992), Van Ijzendoorn et Bus (1994), et Metsala et coll. (1998), et que, dans les autres études examinées (Casalis, 1995 ; Snowling et coll., 1996a), les effets de lexicalité et de régularité ont été évalués avec les mêmes enfants, ces résultats ne peuvent pas être attribués à des différences de population. Comme le soulignent Metsala et coll. (1998) les résultats des simulations effectuées avec le réseau connexionniste de Seidenberg et McClelland (1989) peuvent expliquer pourquoi les dyslexiques ont des difficultés spécifiques en lecture de pseudomots. En effet, ces simulations, qui ont permis de reproduire l'effet classique de la régularité, amplifient celui de la lexicalité : les performances du réseau en lecture de pseudo-mots étant plus faibles que celles de lecteurs experts (Besner et coll., 1990). L'échec de ce réseau pour la lecture de pseudo-mots a été attribué à la nature des codes utilisés pour mettre en correspondance les unités sublexicales écrites avec les unités sublexicales orales, à savoir des triplets de lettres. Comme suggéré par des recherches ultérieures, il est possible d'améliorer les performances de ce réseau en utilisant un codage plus approprié entre les unités d'entrée et de sortie, en l'occurrence, les correspondances graphème-phonème (Plaut et coll., 1996). Le fait que, pour la lecture de pseudo-mots, les performances des dyslexiques soient similaires à celles relevées dans les premières simulations de Seidenberg et McClelland (1989) pourrait donc provenir de l'inadéquation de leurs représentations phonologiques.

Ces études indiquent qu'un déficit spécifique et sévère de la procédure phonologique de lecture caractérise les dyslexiques et que l'opacité de l'orthographe est un facteur environnemental aggravant. Elles ne permettent toutefois pas de savoir quelle est la prévalence, dans la population des dyslexiques, de ce type de déficit.

Études de séries de cas de dyslexiques (ou études de cas multiples)

Les premières études de cas multiples ont été effectuées par Seymour (1986). Ces études ont été choisies parce qu'elles ont pris en compte la précision et la rapidité dans différentes évaluations des capacités phonologiques de lecture des dyslexiques et de leurs capacités visuelles. Cinq autres études sont également décrites parce qu'elles ont utilisé une méthodologie identique et qu'elles comportent des comparaisons avec des normolecteurs de même âge chronologique et de même niveau de lecture. Environ 300 dyslexiques ont été examinés dans ces études : 196 anglophones et 108 francophones. L'analyse de ces données devrait permettre de cerner de façon relativement fiable la prévalence des profils de dyslexie[24].

Capacités phonologiques et visuelles des dyslexiques : étude de Seymour (1986)

L'objectif de l'étude très documentée de Seymour (265 pages) était d'examiner la prévalence des déficits de la procédure phonologique de lecture ainsi que celle des déficits visuels chez des dyslexiques. Seymour a examiné 21 dyslexiques qui, en raison de problèmes sévères de lecture, avaient été adressés à différents organismes en charge des dyslexiques dans le district de Tayside, en Écosse. En fonction des critères exclusionnaires, deux de ces dyslexiques n'auraient pas dus être intégrés dans la cohorte, l'un parce qu'il est issu d'un milieu socioéconomique très défavorisé et qu'il a un faible QI verbal (67, QI performance : 96), l'autre en raison de son faible QI performance (73, QI verbal : 80). Le niveau de lecture de la majorité de ces dyslexiques (14) est comparable à celui des témoins plus jeunes qu'eux. Ces 14 dyslexiques peuvent donc être considérés comme étant appariés aux témoins sur la base de leur âge lexique.

Les participants ont eu à effectuer de nombreux tests, les uns ayant pour but d'évaluer l'efficience des traitements phonologiques en lecture, les autres celle des traitements visuels. Une première série de tâches de lecture impliquait des items de 3 à 7 lettres, des mots réguliers et irréguliers de haute fréquence ainsi que des pseudo-mots se prononçant comme des mots (homophones) ou non (non homophones). Les tâches visuelles comportaient des comparaisons de chaînes de lettres sur lesquelles les sujets devaient effectuer un jugement de similitude (même ou différent). L'une incluait deux suites de 3, 7 ou 11 lettres (« AAA… »), l'autre deux suites de 5 lettres qui pouvaient ou non se prononcer (« slart » *versus* « rtblj »). Dans la condition « différent », soit toutes les lettres étaient différentes, soit une seule. Dans le dernier cas, la lettre différente était en début, en milieu ou en fin de séquence

24. Il n'a pas été tenu compte de 4 autres études de cas multiples : trois pour l'absence de comparaison avec des normolecteurs de même niveau de lecture (Castles et coll., 1999 ; Zabell et Everatt, 2002 ; Milne et coll., 2003), un parce que la typologie ne s'appuie pas sur la lecture de pseudo-mots (McDougall et coll., 2004).

(« rtblj-rzblj », « slart-spart »). Ce protocole permet d'examiner l'exactitude et la vitesse de traitement, ainsi que de comparer les effets de longueur et de position, dans différents contextes. Selon Seymour, les dyslexiques souffrant d'un problème phonologique spécifique à la lecture devraient moins bien lire les pseudo-mots que les mots irréguliers fréquents, en revanche, leurs performances ne devraient être influencées ni par la longueur des chaînes, ni par la position de la lettre différente, dans les tâches visuelles. Le pattern inverse est attendu chez les dyslexiques souffrant de troubles visuels spécifiques.

Pour les témoins, les résultats présentés par Seymour, ainsi que ceux qu'il a été possible de calculer à partir des données incluses dans son livre (moyennes et écarts-types pour les tâches de lecture à haute voix) sont présentés dans les tableaux 9.I et 9.II. Ces tableaux présentent également les scores de chacun des 21 dyslexiques. Les cellules grisées indiquent un fonctionnement efficient. Sont qualifiées d'efficientes les compétences qui sont à moins de 1 écart-type (pour les tâches de lecture, tableau 9.I) ou entre les deux limites extrêmes (pour les tâches visuelles, tableau 9.II) de celles des normolecteurs.

Les scores obtenus en lecture par les dyslexiques sont présentés dans le tableau 9.I. Les dyslexiques chez qui l'effet de la lexicalité (c'est-à-dire la différence entre la lecture de pseudo-mots et celle de mots) est plus fort que chez les témoins, mais pas celui de la régularité (c'est-à-dire la différence entre la lecture de mots réguliers et irréguliers), sont dits souffrir d'un trouble phonologique en lecture.

Le temps moyen de la réponse vocale est à plus de 1 écart-type de celui des témoins pour 19 et 18 dyslexiques en lecture de mots et de pseudo-mots, respectivement. Pour les erreurs, seulement 10 dyslexiques ont des performances à plus de 1 écart-type de celles des témoins en lecture de mots, contre 14 en lecture de pseudo-mots. Ces données signalent l'importance de la prise en compte de la précision et du temps de traitement. Selon Seymour, 18 de ces dyslexiques ont des troubles phonologiques en lecture qui, pour 10 de ces sujets sont spécifiques, les 8 autres cas souffrant également de troubles visuels. Les 3 cas restant ont, toujours selon Seymour, un déficit visuel sélectif. Quatorze des 21 dyslexiques ont, d'après un test de lecture standardisé, le même niveau de lecture que les normolecteurs plus jeunes (NLAL). Seulement 3 d'entre eux n'ont pas de troubles phonologiques en lecture. La majorité des dyslexiques (11 sur 14) ayant le même niveau de lecture que les NLAL souffrent donc d'un trouble sévère de la procédure phonologique de lecture. Reste à voir si l'efficience du processeur visuel, évaluée par les effets de longueur et de position, permet de différencier ces dyslexiques.

Les scores relevés dans les tâches visuelles sont présentés dans le tableau 9.II. Comparativement à la proportion de dyslexiques ayant des troubles phonologiques en lecture (18/21), ceux ayant des troubles visuels sont très peu nombreux. En effet, seulement 9 des 21 dyslexiques ont des troubles dans les tâches visuelles d'après le temps de traitement et seulement 3 d'après la précision de la réponse.

Tableau 9.I : Tâches de lecture (erreurs et temps), les cellules grisées signalent des performances dans les normes (d'après Seymour, 1986)

	Âge chronologique	Niveau cognitif		Âge lexique	Lecture de mots fréquents (réguliers/irréguliers)		Lecture de pseudo-mots		Effet de la lexicalité	
		Verbal	Non Verbal	Schonell	Erreur %	Temps (ms)	Erreur %	Temps (ms)	Erreur %	Temps (ms)
Groupe témoins de normolecteurs										
M	11,7			12,3	2,2	685,5	9,8	1223	7,6	258
ET	0,6			0,4	2,7	102	6,3	507	5,7	310
Rang	10,9-12,3			11,4-12,6						
+ 1ET					< 4,9	< 787,5	< 16,1	< 1730	< 11,0	< 568
+ 1,65ET					< 6,7	853,8	< 20,2	< 2060	< 13,2	< 770
Dyslexiques					Cellules grisées: performances dans les normes					
SS	25,03	125	130	12,06+	1,2	783 (179)	23,8	1953 (1056)	22,6	1170
MP	22,06	85	64	11,08	3,0	1594 (962)	17,4	3453 (1434)	14,4	1859
SE	21,07	108	99	12,06+	4,8	1466 (1805)	14,8	2903 (1889)	10,0	1437
LT	19,00	99	123	11,05	7,7	1247 (1362)	31,1	3858 (2467)	23,4	2611
AD	17,07	106	132	12,06+	0,6	723 (150)	27,5	1004 (395)	26,9	281
DT	17,03	105	147	12,06+	1,8	1383 (493)	14,8	2279 (1012)	13,0	896
RO	16,10	126	?	12,06+	1,2	838 (142)	4,7	1336 (580)	3,5	498
DP	16,01	104	114	12,02	2,4	1132 (398)	12,3	1795 (1007)	9,9	663
MT	14,11	100	107	12,02	5,9	1437 (770)	29,7	4018 (2721)	23,8	2581
MF	14,08	106	126	12,03	1,2	932 (337)	8,9	1743 (1063)	7,7	811
FM	14,07	102	117	10,07	2,4	1087 (484)	22,1	2607 (1594)	19,7	1520
AR	14,06	117	121	11,00	5,4	1117 (540)	13,0	1653 (748)	7,6	536
JM	14,02	112	90	11,04	10,2	1209 (743)	30,5	2288 (1275)	20,3	1079

Tableau 9.I (suite)

	Âge chronologique	Niveau cognitif		Âge lexique	Lecture de mots fréquents (réguliers/irréguliers)		Lecture de pseudo-mots		Effet de la lexicalité	
		Verbal	Non Verbal	Schonell	Erreur %	Temps (ms)	Erreur %	Temps (ms)	Erreur %	Temps (ms)
GS	13,05	121	83	9,09	9,5	1695 (782)	13,1	2292 (1063)	3,6	597
SB	13,04	113	132	10,00	16,7	1031 (648)	44,1	3055 (3107)	27,4	2024
SM	13,02	94	117	10,05	6,0	1490 (775)	27,1	2023 (819)	21,1	533
CE	13,00	114	106	11,10	3,0	1194 (520)	18,2	2440 (1707)	15,2	1246
LA	12,11	122	118	11,06	4,8	1399 (1200)	22,5	1910 (2700)	17,7	511
JB	12,06	94	102	9,00	14,9	1612 (874)	41,9	5298 (3027)	27,0	3686
PS	12,03	94	103	9,06	11,3	2209 (2098)	29,7	5856 (4043)	18,4	3647
LH	11,02	67	96	8,07	21,4	2205 (2206)	25,4	2566 (1411)	4	361

Tableau 9.II : Scores relevés dans les tâches visuelles : erreurs et temps pour les effets de la longueur et de la position, les cellules grisées signalent des performances dans les normes (d'après Seymour, 1986)

	1re tâche de jugement de similitude (SIM1)		2e tâche de jugement de similitude (SIM2)		Effet de la longueur (ms par lettre)			Effet de la position et de la légalité (ms par position)		
	Erreur %	Temps (ms)	Erreur %	Temps (ms)	SIM1	Mots fréquents	Pseudo-mots	SIM2 Position	SIM2 Légalité	
Groupe témoin : Caractéristiques des performances dites efficientes										
M (rang) ET (rang)	0 à 8	690 à 1300 130 à 360	2 à 18	1050 à 1850 290 à 580		-8 à 16[1]	-2 à 23[2]	28 à 42[3]	16 à 245	
Dyslexiques. Cellules grisées: performances dans les normes (*: effet significatif ; abs : absence d'effet)										Nature des troubles des dyslexiques (selon Seymour, 1986)
SS	1,7	978 (222)	3	1610 (415)	12	35*	169*	68	260*	Phonologique
MP	0,8	961 (308)	4	2613 (849)	19*	196*	340*	331*	300*	Phonologique Visuelle
SE	0,8	857 (205)	3	1912 (639)	27*	362*	413*	166*	Abs	Phonologique Visuelle
LT	5,0	543 (116)	13	760 (180)	7*	196*	288*	27	Abs	Phonologique
AD	2,5	657 (126)	6	1006 (297)	13*	20*	73*	100*	200*	Phonologique
DT	0,8	851 (302)	1	1299 (507)	11	113*	299*	53	Abs	Phonologique
RO	2,5	1281 (388)	2	2545 (736)	54*	26*	221*	103	600	Visuelle
DP	1,7	735 (256)	4	1099 (427)	6	70*	328*	165*	Abs	Phonologique
MT	6,7	1160 (676)	26	2801 (1683)	-5	81	785*	159	1500	Phonologique Visuelle
MF	0,8	1107 (367)	0	2139 (667)	28*	55*	266*	153*	300	Visuelle
FM	1,7	826 (238)	2	1321 (406)	20*	136*	621*	77	NS	Phonologique
AR	1,7	1004 (460)	4	2261 (1019)	32*	133*	191*	127	Abs	Visuelle
JM	2,5	739 (191)	10	1388 (375)	10	164*	474*	36	300	Phonologique

[1] Sauf 2 sujets qui ont des effets de longueur entre 18 et 28 ms/l (Seymour, 1986)
[2] Sauf 2 sujets qui ont des effets de longueur entre 31 et 48 ms/l (Seymour, 1986)
[3] Sauf 4 sujets qui ont des effets de longueur de 74, 107, 148 et 396 ms/l (Seymour, 1986)

Tableau 9.II (suite)

	1re tâche de jugement de similitude (SIM1)		2e tâche de jugement de similitude (SIM2)		Effet de la longueur (ms par lettre)			Effet de la position et de la légalité (ms par position)			
	Erreur %	Temps (ms)	Erreur %	Temps (ms)	SIM1	Mots fréquents	Pseudo-mots	SIM2 Position	SIM2 Légalité		
GS	0,8	825 (248)	10	1735 (489)	15*	264*	389*	229*	300	Phonologique	Visuelle
SB	13,3	573 (104)	25	778 (238)	4	131*	707*	-2	Abs	Phonologique	
SM	2,5	812 (228)	8	1499 (453)	18*	243*	361*	287*	200	Phonologique	Visuelle
CE	0,0	1648 (890)	5	3597 (2838)	38	68*	427*	289	Abs	Phonologique	Visuelle
LA	8,3	606 (126)	23	1011 (320)	1	96	278	100*	Abs	Phonologique	
JB	0,8	918 (263)	7	1255 (378)	12	161*	548*	49	Abs	Phonologique	
PS	0,0	1038 (260)	4	2148 (481)	21*	206	951*	95	360*	Phonologique	Visuelle
LH	0,0	1131 (365)	2	3163 (1182)	21*	539*	368*	-93	700*	Phonologique	Visuelle

D'après Seymour, la tâche de jugement de similitude portant sur deux des suites de 3, 7 ou 11 lettres (« AAA/AAA ou AAA/AZA », épreuve de jugement de similitude 1, SIM1) requiert un traitement parallèle. Par conséquent, aucun effet de longueur n'est attendu quand les deux chaînes de lettres sont identiques (« AAA/AAA » ou « AAAAAAA/AAAAAAA »). Comme pour la lecture de mots irréguliers fréquents de 3 à 7 lettres (qui requiert également un traitement parallèle), le temps de réaction ne doit pas augmenter en fonction du nombre de lettres. C'est le résultat opposé qui est attendu pour la lecture de pseudo-mots (également de 3 à 7 lettres), supposés être traités sériellement. L'effet de la longueur sur les chaînes de lettres, les mots et les pseudo-mots a été évalué en calculant la relation linéaire entre le temps de traitement et la longueur des items, et exprimé en millisecondes par lettre (ms/l). Si la longueur des items influe sur les performances, cela signale un traitement sériel.

Le même raisonnement a été utilisé pour l'effet de la position de la lettre différente dans des suites de 5 caractères qui étaient ou non prononçables (« rtblj » ou « slart »). La lettre différente était soit en début, soit en milieu soit en fin de séquence (par exemple, « rtblj-rzblj », « slart-spart », épreuve de jugement de similitude 2, SIM2). Le temps de réaction a été exprimé en fonction de la position de la lettre différente. Des performances qui varient en fonction de la position de la lettre différente sont le signe d'un traitement sériel.

La seconde épreuve de jugement de similitude (SIM2) ne permet pas de différencier les dyslexiques des normolecteurs. La position de la lettre différente induit un effet qui varie de 16 à 245 ms chez les témoins (sauf 1), les scores de 16 des 21 dyslexiques étant dans les normes. De même, dans la première épreuve de jugement de similitude (SIM1), les scores de la plupart des dyslexiques sont dans les normes (-5 à 15 ms/l) ou juste au-dessus (18 à 21 ms/l). Un fort effet de longueur (27 à 54 ms/l) est observé chez 5 dyslexiques, 3 qui selon Seymour ont un trouble visuel sélectif (RO, MF et AR), les 2 autres souffrant aussi d'un déficit phonologique en lecture (CE et SE).

L'effet de longueur sur les mots fréquents varie de -2 ms/l à 23 ms/l chez les témoins (sauf 2) et seulement un dyslexique a des scores dans les normes. L'effet de la longueur est non significatif chez la plupart des témoins alors qu'il est significatif chez la plupart des dyslexiques. De plus, chez 13 dyslexiques, cet effet est 5 fois supérieur à celui relevé chez les normolecteurs. C'est toutefois en lecture de pseudo-mots que les groupes se différencient le plus fortement. Ainsi, l'effet de la longueur se situe entre 28 et 42 ms/l chez les témoins ou juste au-dessus (48 ms/l). Tous les scores des dyslexiques sont hors normes et, pour 18 d'entre eux, l'effet de longueur est 5 fois supérieur à celui relevé chez les témoins. Seize de ces 18 dyslexiques avaient également un déficit phonologique en lecture.

La plupart des dyslexiques de cette étude ont un trouble phonologique en lecture (18/21), y compris dans la comparaison avec des enfants plus jeunes mais de même niveau de lecture (11/14). La proportion de dyslexiques ayant un déficit visuel supposé spécifique est faible (3 sujets). Les performances de ces 3 dyslexiques (RO, MF et AR) sont toutefois plus fortement affectées par les effets de longueur dans les tâches de lecture de pseudo-mots que dans celles qui impliquent un jugement de similitude entre des suites de lettres, ce qui est difficile à concilier avec l'idée qu'ils souffriraient d'une déficience visuelle sélective.

Les indicateurs de mise œuvre de stratégies compensatoires ont été relevés chez les dyslexiques. Ainsi, RO et MF tirent profit des effets de légalité dans l'épreuve de jugement de similitude entre des suites de lettres (leurs scores sont meilleurs quand les items sont prononçables), ce qui peut leur permettre de suppléer la déficience de leurs habiletés visuelles. De même, un effet de l'homophonie a été relevé en lecture de pseudo-mots chez 11 des dyslexiques souffrant de troubles phonologiques en lecture, ce qui signale que, quand c'est possible, ils utilisent leurs connaissances lexicales pour lire les pseudo-mots (ils lisent mieux ceux qui se prononcent comme des mots) sans doute pour suppléer la faiblesse de leurs habiletés phonologiques.

Tous les cas présentés par Seymour (1986) souffrent ou ont souffert d'un déficit phonologique, certains l'ayant surmonté dans le temps probablement grâce à l'aide de stratégies compensatoires. À l'appui de cette hypothèse, on peut noter que, parmi les trois cas n'ayant pas de déficit phonologique d'après les évaluations de leurs compétences de lecture effectuées alors qu'ils avaient entre 14 et 17 ans, deux ont eu des troubles du développement précoce de leur langage oral (RO et MF), l'autre présentait à 10 ans un profil de dyslexie mixte, et donc un déficit phonologique (Seymour et Porpodas, 1980).

Enfin, les deux dyslexiques qui n'auraient pas dus être intégrés en raison de leur faible QI (MP et LH), ne sont jamais ressortis comme ayant un profil atypique. Ce résultat est consistant avec les données qui suggèrent qu'il n'y a pas de différence majeure quant à la nature des déficits en lecture manifestés par les mauvais lecteurs tout-venant (qui ont à la fois un QI et un niveau de lecture faible) et les dyslexiques (Vellutino et coll., 2000 ; Stuebing et coll., 2002).

Études de cas multiples anglophones et francophones

Dans trois études anglophones (Castles et Coltheart, 1993 ; Manis et coll., 1996 ; Stanovich et coll., 1997) et deux francophones (Génard et coll., 1998 ; Sprenger-Charolles et coll., 2000), 283 dyslexiques (175 anglophones, 108 francophones) ont été comparés à 401 normolecteurs de même âge chronologique (NLAC : 151 anglophones, 250 francophones) et à 342 de même âge lexique (NLAL : 67 anglophones, 275 francophones). Ces études ont utilisé, entre autres, la méthode classique pour typologiser les dyslexiques.

Dans cette méthode, on tient compte d'un déficit absolu de l'une des procédures de lecture, l'autre étant préservée. On définit comme dyslexique phonologique l'enfant qui a des performances normales en lecture de mots irréguliers mais dont les performances en lecture de pseudo-mots sont en dessous de la norme, et vice versa pour la dyslexie de surface. La typologie a été effectuée en tenant compte de la précision de la réponse en lecture à haute voix de mots irréguliers et de pseudo-mots. Dans l'étude de Sprenger-Charolles et coll. (2000), le temps de latence des réponses correctes a également été examiné. Le tableau 9.III présente les données descriptives de ces études.

Tableau 9.III : Études de cas multiples

Références	Dyslexiques Sex-ratio (garçons/filles) Âge chronologique moyen	Enfants de même âge chronologique Sex-ratio (garçons/filles)	Enfants de même niveau de lecture Sex-ratio (garçons/filles)
Castles et Coltheart, 1993 Anglophones	56 enfants (56 garçons) 11 ans (8½ à 15 ans)	56 enfants 56 garçons	17 enfants*
Manis et coll., 1996 Anglophones	51 enfants (37 garçons-14 filles) 12 ans (9 à 15 ans)	51 enfants 35 garçons-16 filles	27 enfants 18 garçons-9 filles
Stanovich et coll., 1997 Anglophones	68 enfants (29 garçons-39 filles) 9 ans (11 mois d'écart)	44 enfants 16 garçons-28 filles	23 enfants 13 garçons-10 filles
Génard et coll., 1998 Francophones	75 enfants (50 garçons-25 filles) 10 ans (9 à 12 ans)	231 enfants 99 garçons-132 filles	256 enfants 109 garçons-147 filles
Sprenger-Charolles et coll., 2000 Francophones	31 enfants (20 garçons-11 filles) 10 ans (11 mois d'écart)	19 enfants 11 garçons-8 filles	19 enfants 11 garçons-8 filles

*Analyses effectuées par Stanovich et coll. (1997) incluant 40 des 56 dyslexiques

Comparativement à des normolecteurs de même âge, la majorité des dyslexiques souffre d'un double déficit, la proportion des profils dissociés étant faible (figure 9.2). De plus, si on trouve à peu près autant de dyslexiques phonologiques que de dyslexiques de surface dans les trois études anglaises qui s'appuient toutes sur la précision de la réponse, cela n'est vrai en français que quand on se fonde sur le temps de latence (Sprenger-Charolles et coll., 2000). En revanche, quand en français on utilise la précision de la réponse, le nombre de dyslexiques phonologiques est plus faible que celui des dyslexiques de surface (Génard et coll., 1998 ; Sprenger-Charolles et coll., 2000). Ces résultats ne prennent en compte qu'un seul indicateur, soit la précision, soit le temps. Quand on tient compte de ces deux mesures (Sprenger-Charolles et coll., 2000), pratiquement tous les sujets ont un double déficit. Enfin, une faible proportion d'entre eux n'a aucun déficit, tout au moins d'après la précision de la réponse (16 sur les 283 dyslexiques), ce qui confirme que la plupart souffrent d'une déficience des procédures

d'identification des mots écrits. C'est le cas pour tous quand la classification est effectuée sur la base de la précision et de la rapidité (Sprenger-Charolles et coll., 2000).

Figure 9.2 : Différents profils de dyslexie en comparaison avec des normolecteurs de même âge chronologique (scores à 1 écart-type en lecture de mots irréguliers et/ou de pseudo-mots)

* Cité dans Manis et coll. (1996) ; ** communication personnelle de Stanovich

Dans la mesure où la méthode classique (score à un écart-type) ne fait ressortir qu'une très faible proportion de dyslexiques ayant un profil dissocié, une autre méthode, qui s'appuie sur la présence d'un déficit relatif de l'une des procédures de lecture par rapport à l'autre a été développée. Cette méthode prend comme référence les performances des normolecteurs en lecture de mots irréguliers, en regard de celles pour les pseudo-mots, ou l'inverse, ce qui permet de tracer deux droites de régression avec leurs intervalles de confiance (IC). La première droite permet de repérer les enfants qui ont un déficit de la procédure phonologique de lecture, c'est-à-dire ceux dont les performances en lecture de pseudo-mots sont hors de l'IC et la seconde ceux qui ont un déficit de la procédure lexicale, en l'occurrence ceux dont les performances sont hors de l'IC pour les mots irréguliers. Les enfants qui se situent, dans les deux cas, hors de l'IC présentent un double déficit alors que ceux qui sont uniquement hors de l'IC dans l'une des comparaisons présentent une dyslexie phonologique ou de surface. Dans 4 des 5 études examinées, la comparaison entre dyslexiques et normolecteurs de même niveau de lecture a été effectuée avec cette méthode mais en ne tenant compte que

de la précision de la réponse (Castles et Coltheart, 1993 ; Manis et coll., 1996 ; Stanovich et coll., 1997 ; Génard et coll., 1998). Cette comparaison permet de cerner si la dyslexie correspond à un simple retard développemental. Les résultats sont présentés dans le tableau 9.IV.

Tableau 9.IV : Différents profils de dyslexie en comparaison avec des normolecteurs de même niveau de lecture (méthode des régressions : précision de la réponse)

Études	Dyslexiques phonologiques (%)	Dyslexiques de surface (%)	Profils mixtes (%)	Absence de déficit (%)	Intervalle de confiance (%)
Castles et Coltheart, 1993	37,5*	5,0*	0,0*	57,5*	90
Manis et coll., 1996	29,4	2,0	0,0	68,6	95
Stanovich et coll., 1997	25,0	1,5	0,0	73,5	90
Génard et coll., 1998	8,0	0,0	0,0	92,0	95

*Analyse effectuée par Stanovich et coll. (1997) incluant 40 des 56 dyslexiques

Dans les 4 études examinées, les profils de type surface disparaissent presque complètement (4 cas au total), mais pas ceux de type phonologique (53 cas). De plus, la proportion des dyslexiques phonologiques, qui varie de 38 % à 25 % pour les études anglaises, est très faible en français (8 %, Génard et coll., 1998). La majeure partie des dyslexiques (177 cas, soit 75,5 %) se comporte donc comme les normolecteurs plus jeunes qu'eux mais de même niveau de lecture. La trajectoire développementale de la plupart des dyslexiques apparaît donc comme n'étant pas déviante, au moins quand il n'est tenu compte que de la précision de la réponse.

Dans l'étude de Sprenger-Charolles et coll. (2000), la précision et le temps de traitement ont été évalués. Il est à signaler que tous les enfants de 21 classes de grande section de maternelle qui répondaient aux critères exclusionnaires classiques ont été intégrés dans cette étude. L'accord parental a été obtenu pour environ 400 enfants, 373 ont pu être suivis jusqu'à 8 ans. Les dyslexiques sont issus d'un groupe de 52 enfants qui avaient à 8 ans des scores de lecture à plus de 1 écart-type de la norme (d'après la Batelem ; Savigny, 1974). La plupart de ces enfants en difficulté de lecture (45) ont pu être revus à 10 ans. Les 33 enfants de 10 ans dits dyslexiques sont ceux qui présentaient alors un déficit sévère en lecture (plus de 2 écarts-types de la norme d'après l'Analec A2 ; Inizan, 1995). Cette population peut donc être supposée représentative de ce qu'est un dyslexique français « tout-venant ».

Ces dyslexiques ont été appariés à des normolecteurs plus jeunes (8 ans) de même niveau de lecture. Les résultats indiquent la proportion de dyslexiques

de surface (souffrant d'un déficit sélectif de la procédure lexicale de lecture évalué par la lecture de mots irréguliers fréquents), celle de dyslexiques phonologiques (ayant un déficit sélectif de la procédure sublexicale de lecture évalué par la lecture de pseudo-mots), ainsi que celle des dyslexiques ayant un double déficit ou une absence de déficit de l'une ou l'autre des deux procédures de lecture (figure 9.3). Les performances sont dites déficitaires quand elles se situent à moins de 1 écart-type (pour la précision) ou à plus de 1 écart-type (pour la rapidité de la latence de la réponse vocale) de celles des normolecteurs plus jeunes mais de même niveau de lecture.

Figure 9.3 : Différents profils de dyslexie en comparaison avec des normolecteurs de même niveau de lecture (méthode classique : scores à 1 écart-type de ceux des normolecteurs pour la lecture de mots irréguliers et/ou de pseudo-mots)

Quand seulement un des deux indicateurs de l'efficience des procédures de lecture est examiné, la majorité des dyslexiques se comporte comme les normolecteurs plus jeunes (entre 60 et 70 % d'entre eux pour la précision ou la rapidité). Ce n'est le cas que pour un peu plus d'un tiers d'entre eux quand il est tenu compte d'un déficit sur l'une ou l'autre de ces mesures. Toutefois, quelle que soit la mesure, la proportion des dyslexiques présentant un profil de type surface est faible (moins de 10 %). En revanche, la proportion des dyslexiques phonologiques est élevée. Un déficit de la procédure phonologique

de lecture est même relevé dans plus de la moitié des cas de dyslexie lorsque les analyses s'appuient à la fois sur la précision et sur la rapidité. Partant de ce constat, on peut supposer que les études qui n'ont pas examiné le temps de traitement ont sous-estimé la proportion des dyslexiques ayant des troubles sévères de la procédure phonologique de lecture.

Discussion sur les études de groupe et de séries de cas

Les études de groupe indiquent que les performances en lecture des dyslexiques sont particulièrement détériorées quand ils ne peuvent pas s'appuyer sur leurs connaissances lexicales pour lire, en l'occurrence en lecture de pseudomots. Ce déficit est systématiquement observé dans les comparaisons avec des enfants plus jeunes mais de même niveau de lecture, ce qui suggère que le développement des compétences phonologiques de lecture est déviant chez les dyslexiques (par exemple, en anglais : Rack et coll., 1992 ; Van Ijzendoorn et Bus, 1994 ; Snowling et coll., 1996a ; en français : Casalis, 1995 ; Grainger et coll., 2003 ; en allemand : Wimmer, 1993 et 1995 ; Landerl et coll., 1997 ; Ziegler et coll., 2003 ; en espagnol : Jimenez-Gonzalez et Valle, 2000). En outre, ce déficit est plus notable quand les dyslexiques sont confrontés à une écriture peu transparente, comme c'est le cas en anglais (Lindgren et coll., 1985 ; Landerl et coll., 1997 ; Paulesu et coll., 2001) comparativement au français (Paulesu et coll., 2001), à l'allemand (Landerl et coll., 1997), ou à l'italien (Lindgren et coll., 1985 ; Paulesu et coll., 2001). Toutefois, quand l'orthographe est transparente, le déficit de la procédure sublexicale des dyslexiques se note principalement par leur lenteur en lecture de pseudomots (en allemand : Wimmer, 1993 et 1995 ; Ziegler et coll., 2003 ; en espagnol : Jimenez-Gonzalez et Valle, 2000 ; en français : Sprenger-Charolles et coll., 2000).

Quelques chercheurs postulent que les problèmes typiques de fluence des dyslexiques non-anglophones s'expliqueraient par leurs difficultés à mémoriser la forme visuelle des mots, alors que le déficit de précision de la réponse des dyslexiques anglophones proviendrait d'une déficience phonologique (par exemple, pour l'allemand, Wimmer et Mayringer, 2002 ; Hutzler et Wimmer 2004 ; pour l'italien, De Luca et coll., 1999 et 2002 ; Zoccolotti et coll., 1999 ; Judica et coll., 2002). En d'autres termes, les dyslexiques non-anglophones souffriraient d'une dyslexie de surface et les anglophones d'une dyslexie phonologique. Il est toutefois difficile d'imaginer que le phénotype de la dyslexie puisse fortement différer en fonction de la transparence de l'orthographe et de la mesure utilisée. Les évidences à l'appui de l'hypothèse d'une spécificité des déficits des dyslexiques non anglophones viennent principalement de l'examen des mouvements oculaires au cours de tâche de lecture (en italien : De Luca et coll., 1999 et 2002 ; Judica et coll., 2002 ; en allemand : Hutzler et Wimmer, 2004 ; Hawelka et Wimmer, 2005). Comme Rayner l'expliquait dans une revue de la littérature (1998), il est difficile

d'affirmer que le patron atypique des mouvements oculaires le plus souvent observé chez les dyslexiques soit la cause plutôt que la conséquence de leurs difficultés de lecture. Le poids de cette remarque est d'autant plus fort que, dans ces études, à la différence de celles qui ont mis en relief les déficits phonologiques, les performances des dyslexiques ont été comparées à celles de normolecteurs de même âge chronologique. En plus, comme Hutzler et Wimmer le signalent (2004), certains résultats relevés dans ces études sont compatibles avec l'hypothèse phonologique. C'est le cas, par exemple, pour l'impact négatif de l'opacité de l'orthographe, tout comme pour celui de la lexicalité, sur la durée des fixations oculaires (les différences les plus notables entre dyslexiques et normolecteurs concernent la lecture de pseudomots). C'est également ce que suggère la présence, avant l'apprentissage de la lecture chez les futurs dyslexiques comparativement aux futurs normolecteurs, de déficits dans des tâches impliquant des traitements phonologiques (répétition de pseudomots, détection de rimes et dénomination rapide, cf. Hawelka et Wimmer, 2005).

Les études de séries de cas indiquent qu'un déficit des deux procédures d'identification des mots écrits se retrouve chez la plupart des dyslexiques comparativement à des enfants de même âge chronologique. Ainsi, dans 5 études de ce type, trois avec des enfants anglophones (Castles et Coltheart, 1993 ; Manis et coll., 1996 ; Stanovich et coll., 1997) et deux avec des francophones (Génard et coll., 1998 ; Sprenger-Charolles et coll., 2000) par rapport aux témoins de même âge, la méthode classique a mis en relief surtout des profils mixtes, avec un double déficit, concernant à la fois la procédure phonologique de lecture et la procédure lexicale. C'est quasi-systématiquement le cas quand il est tenu compte de la précision et du temps de latence des réponses correctes (Sprenger-Charolles et coll., 2000).

La proportion des profils dissociés est donc très faible. En plus, elle varie en fonction des études. Ainsi, il y a moins de dyslexiques phonologiques que de dyslexiques de surface en français, tout au moins quand on ne tient compte que de la précision (Génard et coll., 1998 ; Sprenger-Charolles et coll., 2000). Par contre, quand la classification des dyslexiques français est élaborée sur la base de la rapidité (Sprenger-Charolles et coll., 2000), on observe autant de dyslexiques phonologiques que dans les études anglaises s'appuyant sur la précision (Castles et Coltheart, 1993 ; Manis et coll., 1996 ; Stanovich et coll., 1997). Les différences entre les études francophones et anglophones sont probablement dues à des facteurs linguistiques. Les correspondances grapho-phonémiques étant plus régulières en français, les dyslexiques francophones peuvent plus facilement que les anglophones surmonter les difficultés de mise en œuvre de la procédure sublexicale. Ces données, comme celles relevées dans les études de groupes, suggèrent que les dyslexiques francophones pourraient utiliser à peu près correctement les correspondances grapho-phonémiques, leur déficit phonologique se manifestant surtout par la lenteur de cette opération.

La seule étude qui a pris en compte la précision et le temps de réponse (Sprenger-Charolles et coll., 2000), suggère en plus que presque tous les dyslexiques ont un déficit phonologique sévère, qui se manifeste systématiquement quand ils doivent lire des mots nouveaux sur l'une ou l'autre, voire sur les deux mesures. Partant de ce constat, on peut supposer que, dans les études qui n'ont pas examiné le temps de traitement, la proportion des dyslexiques présentant des troubles phonologiques sévères est sous-estimée (Zabell et Everatt, 2002).

Les résultats précédents portaient sur des enfants de même âge. En comparaison avec des normolecteurs de même niveau de lecture, quand seulement un des deux indicateurs de l'efficience des procédures de lecture est examiné (précision ou temps), la majorité des dyslexiques se comporte comme les normolecteurs. Ce n'est le cas que pour un tiers d'entre eux quand il est tenu compte d'un déficit de précision et/ou de rapidité. Quels que soient l'étude ou l'indicateur considérés, la proportion des dyslexiques présentant un profil de type surface est faible. Par contre, toujours quels que soit l'étude ou l'indicateur, la proportion des dyslexiques phonologiques reste élevée. Un déficit de la procédure phonologique de lecture est même relevé dans plus de la moitié des cas de dyslexie lorsque les analyses s'appuient à la fois sur la précision et sur la rapidité. Il est possible de rendre compte de ce phénomène par un chassé-croisé entre précision et rapidité, certains dyslexiques privilégiant la précision au détriment du temps, d'autres adaptant la stratégie inverse.

Dans l'ensemble, les résultats des études de cas multiples anglophones (Seymour, 1986 ; Castles et Coltheart, 1993 ; Manis et coll., 1996 ; Stanovich et coll., 1997 ; Zabell et Everatt, 2002), francophones (Génard et coll., 1998 ; Sprenger-Charolles et coll., 2000 ; voir également pour des résultats en espagnol Jimenez-Gonzalez et Ramirez-Santana, 2002) indiquent que le déficit de la procédure phonologique de lecture est prévalent dans la dyslexie. Ce déficit est aussi sévère puisqu'il se retrouve chez la plupart des dyslexiques dans la comparaison avec des enfants plus jeunes mais de même niveau de lecture, tout au moins quand il est tenu compte de la précision et de la rapidité. Comme le soulignait Seymour lui-même (1986), les 21 dyslexiques de sa cohorte présentaient tous des troubles phonologiques qui se manifestaient en lecture de pseudo-mots par la faible précision et/ou la lenteur de leurs réponses ainsi que par les effets de longueur, ce pattern dominant étant parfois accompagné de quelques signes des déficiences visuelles (voir également Sprenger-Charolles et coll., sous presse ; Ziegler et Goswami, 2005).

Compétences déficitaires hors lecture chez les dyslexiques

Les difficultés sévères et spécifiques rencontrées par les dyslexiques en lecture de mots nouveaux sont généralement expliquées par la faiblesse de leurs

habilités phonologiques en dehors de la lecture, entre autres, en analyse phonémique et en mémoire à court terme phonologique. Des déficits dans ces domaines peuvent en effet entraver la mise en place de la procédure phonologique de lecture vu que, pour utiliser cette procédure, il faut d'abord mettre en correspondance les unités sublexicales de l'écrit, les graphèmes, avec les unités correspondantes de l'oral, les phonèmes. Il faut ensuite assembler les unités résultant du décodage pour accéder aux mots. La première opération nécessite des habiletés d'analyse phonémique, la seconde implique la mémoire phonologique à court terme. Un enfant incapable d'extraire les phonèmes et souffrant en plus d'un déficit mnésique va difficilement pouvoir utiliser cette procédure (Liberman et coll., 1982 ; Mann et Liberman, 1984 ; McDougall et coll., 1994 ; Scarborough, 1998a et b).

Plus récemment, il a été mis en relief des déficits de précision, et surtout de rapidité, dans l'accès au lexique chez les dyslexiques (Wolf et Bowers, 1999 ; Wolf et coll., 2000 ; Wolf et coll., 2002). Partant de ce constat, certains auteurs assument qu'il y aurait deux sources indépendantes expliquant les déficits en lecture des dyslexiques, l'une reliée aux compétences d'analyse et de mémoire phonologique, l'autre reliée à l'accès lexical, généralement évaluée par le temps de réponse dans des tâches de dénomination rapide (*Rapid Automatic Naming*, ou RAN) impliquant des items très fréquents : images d'objet (une table, un ballon…), ou de couleur (rouge, bleu…), suites de nombres ou de lettres. Deux principales preuves ont été apportées à l'appui de cette hypothèse. D'une part, la réussite aux tâches de dénomination rapide permet d'expliquer une part unique de la variance en lecture, en plus de celle expliquée par les tâches d'analyse et de mémoire phonologique. D'autre part, les capacités d'analyse phonologique et de dénomination rapide ne sont pas reliées aux mêmes compétences de lecture, la première expliquant la précision de la réponse, la seconde le temps de traitement. Cette interprétation a été fortement critiquée (Wagner et coll., 1997 ; Vellutino et coll., 2004) dans la mesure où ces résultats peuvent s'expliquer aussi bien par le type de mesure utilisé (précision pour les tâches phonologiques, rapidité pour les autres), que par le type de tâche. En plus, la tâche de dénomination le plus souvent utilisée implique des lettres, et donc des capacités directement liées à la lecture. En fait, quand le niveau de pré-lecture est contrôlé, le pouvoir prédictif des habiletés de dénomination rapide diminue, pas celui des capacités d'analyse phonémique (Wagner et coll., 1997).

Dans la section suivante sont examinées les études de groupes indifférenciés de dyslexiques, ainsi que celles portant sur des dyslexiques présentant des profils dissociés de dyslexie, qui ont mis en relief des déficits des dyslexiques dans ces différents domaines de compétence. Une attention particulière est portée aux études dans lesquelles les capacités phonologiques hors lecture de dyslexiques ont été comparées à leurs capacités dans des domaines n'impliquant pas la phonologie. La dernière partie porte sur les prédicteurs de la dyslexie.

Études de groupes indifférenciés de dyslexiques

Dans deux des études déjà citées (Lindgren et coll., 1985 ; Paulesu et coll., 2001), il a été noté que ce sont principalement les capacités verbales qui différencient les dyslexiques des normolecteurs de même âge. Ainsi, dans l'étude de Lindgren et coll. (1985), les capacités d'analyse phonémique, de répétition de phrases et de dénomination permettent de rendre compte de la plupart des différences entre dyslexiques et normolecteurs dans chaque groupe linguistique (anglais et italiens), mais pas les capacités visuelles (perception visuo-spatiale et capacités visuo-motrices), au moins dans ce dernier cas pour les dyslexiques italiens. De même, et toujours quel que soit leur groupe linguistique (anglais, français, italiens), les dyslexiques adultes examinés par Paulesu et coll. (2001) diffèrent des témoins de même âge dans des tâches impliquant des traitements phonologiques (analyse phonémique, mémoire phonologique à court terme et dénomination rapide), mais pas, par exemple, dans des épreuves de compréhension. Partant de ce constat, Paulesu et coll. (2001) soulignent qu'un déficit dans les traitements phonologiques est un problème « universel » dans la dyslexie.

Dans les deux études précédentes, les comparaisons ont porté sur des sujets de même âge chronologique. Étant donné que le niveau de lecture a une incidence sur les capacités phonologiques en dehors de la lecture, ces résultats pourraient n'être que la conséquence du faible niveau de lecture des dyslexiques. Cela ne semble pas être le cas. En effet, les mêmes tendances ont été observées dans des comparaisons avec des normolecteurs plus jeunes mais de même niveau de lecture que les dyslexiques, les déficits les plus robustes concernant toutefois les compétences d'analyse phonémique. C'est ce qui ressort de l'étude de Pennington et coll. (2001) qui a porté sur 70 enfants (de 7 à 12 ans) et adolescents (de 12 à 18 ans) dyslexiques. Quel que soit le groupe de dyslexiques, leurs scores sont plus faibles que ceux des normolecteurs de même niveau de lecture dans les tâches impliquant la manipulation de phonèmes. En revanche, seuls les dyslexiques adolescents les plus atteints ont des scores inférieurs aux témoins de même niveau de lecture pour les tâches de mémoire. Ce n'est le cas pour aucun des deux groupes de dyslexiques pour les tâches de dénomination. Les analyses de régression indiquent en plus que les compétences en analyse phonémique rendent compte de la majeure partie de la variance en lecture, y compris après avoir contrôlé les effets de l'âge et du QI verbal, les compétences en dénomination rapide n'expliquant dans ce contexte qu'une modeste part additionnelle de variance.

Des résultats similaires ont été rapportés par Chiappe et coll. (2002) dans une étude intensive (5 heures d'observation par sujet) qui a porté sur 40 adultes dyslexiques et autant de normolecteurs de même niveau de lecture. Les scores des dyslexiques ne sont inférieurs à ceux des témoins que dans les tâches qui requièrent des compétences en analyse phonémique.

Comme dans l'étude précédente, la majeure partie de la variance en lecture (plus de 50 %) est expliquée par les capacités d'analyse phonémique et, dans une moindre mesure, par celles de dénomination rapide. Comme le soulignent les auteurs, ces résultats signalent que les déficits des compétences d'analyse phonémique sont au cœur de la dyslexie, ces déficits étant persistants.

Des déficits d'analyse phonémique ont été rapportés dans d'autres études impliquant des dyslexiques et des témoins de même niveau de lecture en anglais (entre autres, Swan et Goswami, 1997a ; Joanisse et coll., 2000), ainsi que dans d'autres langues (en allemand, Landerl et coll., 1997). Toutefois, certaines études suggèrent que quand l'orthographe est transparente, les déficits d'analyse phonémique se retrouvent uniquement dans les étapes précoces de l'apprentissage de la lecture (Landerl et Wimmer, 2000).

Enfin, certaines études indiquent que les dyslexiques réussissent moins bien les tâches d'analyse phonémique qui impliquent des pseudo-mots que celles qui utilisent des mots (Bruck et Treiman, 1990 ; Bruck, 1992) ce qui signale que leurs déficits dans ce domaine sont plus importants quand ils ne peuvent pas s'aider sur leurs compétences lexicales (voir aussi Swan et Goswami, 1997a). Les mêmes tendances ont été relevées dans des épreuves impliquant la mémoire phonologique à court terme (Snowling et coll., 1986b) ou les capacités de dénomination (Swan et Goswami, 1997b).

Ainsi, dans l'étude de Swan et Goswami (1997b), le niveau de vocabulaire a été évalué par des tâches de dénomination d'images de mots courts et longs qui étaient fréquents ou rares. Les mêmes items ont été présentés dans une tâche de désignation d'images (4 images : une qui représente le mot correct, plus un intrus visuel, un intrus phonologique et un intrus sémantique). Les enfants ont également passé un test classique de vocabulaire (en désignation d'images). Dans l'épreuve de dénomination, les scores des dyslexiques sont plus faibles que ceux des normolecteurs plus jeunes mais de même niveau de lecture pour les mots rares, pas pour les mots fréquents. Surtout, les dyslexiques sont les seuls à être négativement affectés par la longueur des items, quelle que soit leur fréquence. En plus, ils produisent de nombreuses erreurs phonologiques, ce qui témoigne de l'imprécision de leurs représentations phonologiques. En revanche, dans les deux tâches de désignation d'images, les scores des dyslexiques ne diffèrent pas de ceux des témoins, y compris ceux de même âge chronologique. Selon les auteurs, ces résultats indiquent que les dyslexiques ont des difficultés de récupération des codes phonologiques des mots.

Les études de groupes indifférenciés de dyslexiques ont également mis en relief l'existence de déficits dans des tâches impliquant des traitements phonologiques avant l'apprentissage de la lecture chez de futurs dyslexiques comparativement à de futurs normolecteurs. C'est le cas, par exemple, pour la répétition de pseudo-mots, la détection de rimes et la dénomination

rapide dans l'étude de Hawelka et Wimmer (2005 ; voir aussi Wimmer, 1996).

Études de groupes de dyslexiques présentant un profil contrasté de dyslexie

Les résultats des études dans lesquelles ont été comparés des groupes de dyslexiques présentant un profil différent de dyslexie sont contradictoires. En effet, dans certaines études, seuls les dyslexiques phonologiques ont des déficits de nature phonologique (Manis et coll., 1996 ; Stanovich et coll., 1997 ; Bosse et Valdois, 2003 ; Bailey et coll., 2004), et pas dans d'autres (Sprenger-Charolles et coll., 2000 ; Jimenez-Gonzalez et Ramirez-Santana, 2002 ; Zabell et Everatt, 2002).

Ainsi, dans l'étude de Manis et coll. (1996), les capacités d'analyse phonémique de dyslexiques phonologiques et de surface ont été évaluées. Par rapport à des normolecteurs de même niveau de lecture, seuls les dyslexiques phonologiques ont des scores inférieurs. Les mêmes résultats ont été retrouvés dans l'étude de Bailey et coll. (2004) et dans celle de Stanovich et coll. (1997) dans des tâches impliquant, entre autres, la manipulation de phonèmes. De plus, dans l'étude de Stanovich et coll. (1997), les dyslexiques ayant un profil mixte se comportent comme les dyslexiques phonologiques. En particulier, leurs scores dans des tâches de manipulation de syllabes ou de phonèmes sont équivalents, et inférieurs à ceux de normolecteurs de même niveau de lecture. Une des rares études dans lesquelles les performances de dyslexiques ayant un profil mixte, et donc un double déficit, ont été examinées, indique donc que les capacités phonologiques de ces deux groupes de dyslexiques sont également détériorées. Comme les profils de type surface sont très peu fréquents, ces résultats suggèrent que la plupart des dyslexiques ont des troubles phonologiques en dehors de la lecture.

En revanche, dans d'autres études, aucune différence n'a été relevée entre des dyslexiques de surface et des dyslexiques phonologiques dans les compétences phonologiques en dehors de la lecture. Ainsi, dans l'étude de Zabell et Everatt (2002), les performances des dyslexiques de surface ne se différenciaient pas de celles des dyslexiques phonologiques dans quatre tâches phonologiques (par exemple, en dehors de la lecture de pseudo-mots, dans des tâches de fluence phonologique et de dénomination rapide d'images ou de chiffres), quelle que soit la mesure utilisée : précision ou rapidité. De même, dans l'étude par Jimenez-Gonzalez et Ramirez-Santana (2002), aucune différence n'a été observée entre dyslexiques de surface et dyslexiques phonologiques dans des épreuves d'analyse phonologique.

Des résultats similaires ont été relevés en français dans une étude (Sprenger-Charolles et coll., 2000) qui a permis de mettre en relief, à partir du temps

de latence des réponses vocales en lecture de pseudo-mots et de mots irréguliers fréquents, un groupe de dyslexiques phonologiques et un groupe de dyslexiques de surface. Les examens ont porté sur la mémoire phonologique et visuelle à court terme, un déficit en mémoire phonologique étant attendu chez les dyslexiques phonologiques et un déficit de la mémoire visuelle, qui ne leur permettrait pas de fixer l'image orthographique des mots, chez les dyslexiques de surface. Dans le test visuel utilisé (le Corsi), les enfants devaient reproduire une trajectoire entre plusieurs points (de 2 à 7). Le test phonologique était similaire (rappel de pseudo-mots de 3 à 6 syllabes). Les résultats sont présentés dans le tableau 9.V.

Aucune différence entre les deux groupes de dyslexiques n'est relevée, pas plus en mémoire phonologique qu'en mémoire visuelle. Toutefois, dans l'épreuve de mémoire phonologique, les deux groupes de dyslexiques ont des scores inférieurs à ceux d'enfants plus jeunes mais de même niveau de lecture.

Tableau 9.V : Mémoire à court-terme phonologique et visuelle (d'après Sprenger-Charolles et coll., 2000)

Empan de mémoire à court terme (MCT)	NLAC[1] (n = 19)	NLAL[1] (n = 19)	Dyslexiques de surface[2] (n = 10)	Dyslexiques phonologiques[2] (n = 16)
MCT phonologique (/6)	4,95 (ET = 0,97)	4,84 (ET = 0,83)	3,40 (ET = 1,17)	3,75 (ET = 0,77)
MCT visuelle (/7)	5,16 (ET = 0,76)		4,90 (ET = 0,88)	4,88 (ET = 0,96)

Moyenne et écart-type (ET) pour des dyslexiques et des normolecteurs de même âge (NLAC) et de même niveau de lecture (NLAL)
[1] Les deux groupes témoins comportent les mêmes enfants, testés à 10 ans (NLAC) et à 8 ans (NLAL) ; [2] Dyslexiques âgés de 10 ans

Les enfants de cette étude ont également passé avant et après l'apprentissage de la lecture (à 5 ans et 7 ans) une épreuve d'analyse phonémique. Ils devaient supprimer le premier phonème de 20 pseudo-mots, 10 « consonne-voyelle » (nan, zon, ja…) et 10 « consonne-voyelle-consonne » (vour, buf, nol, bap…). Une épreuve d'analyse musicale leur a aussi été proposée aux mêmes époques. Ils devaient juger si deux mélodies de trois notes étaient ou non identiques. Parmi les 18 paires présentées, 6 se différenciaient par le contour, 6 par le registre et 2 par les deux. Les résultats sont présentés dans la figure 9.4. Avant l'apprentissage de la lecture, les scores des futurs dyslexiques phonologiques ne différaient pas de ceux des futurs dyslexiques de surface et étaient inférieurs à ceux des futurs normolecteurs dans l'épreuve d'analyse phonémique, mais pas dans celle d'analyse musicale.

Figure 9.4 : Comparaison des performances en analyse phonémique et musicale des dyslexiques phonologiques, de surface et normolecteurs (d'après Sprenger-Charolles et coll., 2000)

De plus, dans l'épreuve d'analyse phonémique, les performances de la plupart des futurs dyslexiques étaient égales à zéro avant l'apprentissage de la lecture (0/20 pour 23 des 33 futurs dyslexiques, soit 70 %), et cela quel que soit leur futur profil de dyslexie. Seuls 3 des futurs normolecteurs étaient, à la même époque, incapables de réaliser cette tâche. Toutefois, les scores de 3 d'entre eux étaient très faibles (1 ou 2 sur 20). Si les enfants qui ont des scores entre 0 et 3 pour l'apprentissage de la lecture sont dits être « à risque », c'est le cas pour 73 % des futurs dyslexiques contre 32 % des futurs normolecteurs. Ces données indiquent, qu'avec une épreuve du type de celle utilisée, il est possible de repérer dès cette époque de façon relativement fiable les enfants à risque pour l'apprentissage de la lecture.

Les compétences déficitaires chez les dyslexiques sont donc principalement les compétences d'analyse phonémique, celles de mémoire phonologique à court terme, de dénomination rapide et le niveau de connaissance des lettres. Ce sont également ces compétences qui, comme l'indiquaient les études présentées dans le chapitre sur l'apprentissage de la lecture, sont les prédicteurs les plus fiables du futur niveau de lecture des enfants. En comparaison, le poids des habiletés non verbales, tout comme celui des facteurs socioculturels, est moindre.

Dans la section suivante, sont examinés les prédicteurs des difficultés de lecture chez des enfants dits « à risque » pour cet apprentissage, à savoir ceux qui sont issus de milieux défavorisés et de familles de dyslexiques. Les enfants dysphasiques, qui souffrent de troubles spécifiques du langage oral, sont également inclus dans cette catégorie.

Prédicteurs des difficultés de lecture dans les populations « à risque »

Comme le notent Elbro et Scarborough (2003) dans leur synthèse de la littérature, les résultats de plusieurs études montrent que les indicateurs qui prédisent le devenir en lecture sont identiques, quelle que soit la population : par exemple, chez des enfants « tout-venant » *versus* ceux qui sont supposés « à risque » pour l'apprentissage de la lecture, que ce risque soit d'origine linguistique ou sociologique (voir par exemple, Snow et coll., 1991). Dans la suite, nous examinerons les études qui ont porté sur des familles de dyslexiques ainsi que celles incluant des enfants dysphasiques (voir le chapitre 2 pour les études portant sur des enfants tout-venant).

Enfants de familles de dyslexiques

Le risque de devenir dyslexique pour un enfant issu d'une famille dans laquelle l'un des parents proches est dyslexique est multiplié par 4, voire plus (Gilger et coll., 1991). Ainsi, selon Scarborough (1998a), environ 40 % des enfants de telles familles deviennent dyslexiques alors que des difficultés spécifiques de lecture sont relevées dans moins de 10 % des cas dans des familles sans dyslexiques. Scarborough (1989, 1990 et 1991) a suivi entre 2 ans et demi et 8 ans des enfants issus ou non de familles de dyslexiques. Les groupes étaient appariés en fonction du milieu socioculturel et du niveau d'intelligence des enfants. Une partie de ces enfants a été revue à l'âge de 14 ans (66 sur 78 ; Scarborough, 1998b). À la fin de la 2e année du primaire, 22 des 34 enfants de famille à risque avaient un an ou plus de retard en lecture. Le même résultat n'est relevé que pour 2 des 44 autres enfants des familles de témoin. Les différences de niveau de lecture en fonction du « risque » familial ont également été retrouvées en 8e année.

Scarborough a examiné de façon rétrospective les données recueillies avant l'entrée à l'école. Dès 2 ans et demi, alors que les enfants des deux groupes ont des compétences non-verbales similaires, ils diffèrent pour la compréhension, et surtout pour la production du langage. Plus précisément, bien qu'à 2 ans et demi les futurs dyslexiques utilisent dans la conversation un vocabulaire aussi étendu que celui des futurs normolecteurs, ils font plus d'erreurs de prononciation et produisent des phrases moins longues et moins complexes. À partir de 3 ans et demi, les futurs lecteurs dyslexiques ont des performances significativement inférieures à celles du groupe témoin pour le vocabulaire et la dénomination d'images. À 5 ans, ils ont davantage de difficultés dans des tâches d'analyse phonologique ainsi que dans des épreuves de connaissance des lettres, tout comme dans celles impliquant la manipulation des correspondances grapho-phonologiques.

Des résultats identiques sont rapportés par Gallagher et coll. (2000) dans une étude qui a porté sur 59 familles avec au moins un parent dyslexique. Comme dans l'étude précédente, les critères exclusionnaires classiques ont été pris en compte (en particulier, problèmes visuels, émotionnels et

médicaux). Les enfants ont été suivis de 4 ans à 6 ans. À 4 ans, les évaluations ont porté sur les compétences non verbales (test de dessin du bonhomme), le niveau de vocabulaire (en désignation et en dénomination), la qualité de la syntaxe (longueur des phrases produites) et de la compréhension du langage (rappel d'une histoire). La maîtrise des aspects phonologiques du langage a été évaluée par la qualité de l'articulation, les compétences en répétition de pseudo-mots et par la sensibilité aux rimes. Dans ce dernier cas, les enfants devaient, d'une part, réciter des « *nursery rhymes* » et, d'autre part, corriger les erreurs produites par l'expérimentateur quand il récitait ces petites poésies en les modifiant. Les évaluations à 6 ans ont porté sur les capacités de lecture et d'écriture, incluant la compréhension.

Sur les 63 enfants du groupe à risque, 36 (soit 57 %) ont effectivement des difficultés de lecture à 6 ans : leurs scores sont à plus de 1 écart-type de ceux des témoins. C'est le cas pour 4 enfants (sur 34, soit 12 %) du groupe témoin. Les analyses ont comparé le groupe témoin et les deux groupes d'enfants qui étaient « à risque », ceux qui ont effectivement rencontré des difficultés de lecture et les autres. Aucune différence entre les 3 groupes n'est relevée pour le milieu socioculturel, le sexe et les habiletés non verbales. En revanche, les performances des enfants en difficultés de lecture diffèrent de celles des enfants du groupe témoin dans pratiquement toutes les mesures impliquant le langage. Sauf dans les évaluations de la qualité de l'articulation, les enfants en difficultés de lecture se différencient également de leurs pairs à risque qui ont normalement appris à lire sur presque toutes les mesures impliquant le traitement du langage. Enfin, les analyses de régression indiquent que les prédicteurs du niveau de lecture sont, par ordre décroissant : le niveau de connaissance des lettres ; la maîtrise des aspects phonologiques du langage (évaluée par la précision de l'articulation et la répétition de pseudo-mots) ; et les autres capacités langagières (évaluées par le niveau de vocabulaire, les capacités syntaxiques et le rappel d'histoire).

Les résultats de ces deux études ont été reproduits dans d'autres études impliquant des enfants anglais (par exemple Pennington et coll., 1999 ; Pennington et Lefly, 2001), mais également des enfants danois (Petersen et Elbro, 1999) et finlandais (Lyytinen et coll., 1994). Dans toutes ces études, alors que les groupes ne diffèrent pas pour les habiletés non verbales, les enfants issus de familles de dyslexiques souffrent de troubles spécifiques et précoces du langage oral. Dans l'étude finlandaise, un dysfonctionnement dans l'activité neurale suscitée par l'écoute de sons de la parole a même été observé très précocement chez eux, à 6 mois (Leppanen et coll., 1999 ; Leppanen et coll., 2002).

Enfants dysphasiques

La dysphasie est un trouble spécifique du langage oral qui se manifeste en l'absence de troubles sensori-moteurs avérés. Une partie de ces enfants ont

également des difficultés de lecture (Baker et Cantwell, 1987 ; Aram et Hall, 1989 ; Bishop et Adams, 1990 ; Catts, 1993 ; Billard et coll., 1994 ; Stothard et coll., 1998 ; Snowling et coll., 2000).

Tous les dysphasiques ne deviennent cependant pas dyslexiques. Ainsi, dans une étude longitudinale qui a concerné un groupe de 68 enfants dysphasiques suivis depuis l'âge de 4 ans, Bishop et Adams (1990) n'ont relevé que 4 dyslexiques à 8 ans et demi (6 %), 2 ayant également des difficultés de compréhension en lecture, plus 2 autres enfants qui n'étaient déficitaires que dans ce dernier domaine.

Sept ans plus tard toutefois, le niveau de lecture des dysphasiques s'est considérablement détérioré (Snowling et coll., 2000). Les résultats sont présentés dans le tableau 9.VI. La proportion des dyslexiques passe de 6 % à 43 %, 25 % d'entre eux souffrant uniquement de troubles spécifiques de lecture. De même, celle des enfants ayant des problèmes de compréhension écrite augmente de 6 à 23 %, parmi lesquels 5,4 % ne sont en difficultés que dans ce domaine. D'après ces données, approximativement la moitié des dysphasiques ont donc également des difficultés sévères de lecture.

Tableau 9.VI : Catégorisation en fonction des performances en lecture pour des enfants dysphasiques et des témoins de 15 ans (d'après Snowling et coll., 2000)

Catégorisation à 15 ans	Résultats tenant compte du QI performance	
	Dysphasiques (%)	groupe témoin (%)
Déficit spécifique en lecture	25,0	5,7
Déficit de compréhension en lecture	5,4	3,8
Double déficit (capacités spécifiques à la lecture et compréhension en lecture)	17,8	0
Lecteurs en retard (problèmes additionnels d'intelligence)	0	5,7
Normolecteurs	51,7	84,6

Comme le signalent Elbro et Scarborough (2003), les prédicteurs des futures difficultés de lecture sont les mêmes dans cette population que dans les autres. Il s'agit principalement des capacités d'analyse et de mémoire phonologique, ainsi que des compétences en dénomination rapide. Toutefois, le niveau cognitif des enfants dysphasiques a une forte incidence sur leur futur niveau de lecture, probablement parce que ceux qui ont une intelligence supérieure à la normale sont plus aptes que les autres à mettre en œuvre des stratégies compensatoires (Snowling et coll., 2000).

Discussion sur les compétences déficitaires en dehors de la lecture chez les dyslexiques

Les dyslexiques ont des compétences particulièrement déficitaires dans des tâches qui impliquent des traitements phonologiques en dehors de la lecture : en analyse phonémique, en mémoire à court terme phonologique ainsi que dans des épreuves qui permettent d'évaluer la précision et la rapidité de l'accès au lexique. Comme pour la lecture, ces déficits sont observés y compris par rapport à des sujets plus jeunes mais de même niveau de lecture, ce qui signale une nouvelle fois que la dyslexie correspond à une déviance développementale. De plus, ces déficits sont prévalents : ils se retrouvent en effet chez la plupart des dyslexiques, y compris avant l'apprentissage de la lecture. Enfin, les compétences dans ces différents domaines sont les prédicteurs les plus fiables du futur niveau de lecture des enfants. En comparaison, le poids des habiletés non verbales, tout comme celui des facteurs socioculturels, est moindre. Ces résultats ont été relevés aussi bien dans des populations « tout-venant » que chez des enfants « à risque » pour l'apprentissage de la lecture, que ce risque se justifie par leur milieu socioéconomique, la présence de difficultés de lecture chez leurs parents, ou le fait qu'ils souffrent de troubles développementaux du langage oral (enfants dysphasiques).

Comment rendre compte des résultats ?

Différents types d'études, effectuées dans diverses langues, ont été examinés afin d'évaluer la fiabilité et la prédominance des déficits relevés en lecture, ainsi que dans les compétences reliées à la lecture, chez les dyslexiques ainsi que les profils de dyslexie. Cette partie examine le poids des déficiences phonologiques et non phonologiques dans la dyslexie, ainsi que le rôle que peuvent avoir les stratégies compensatoires.

Déficits phonologiques dans la dyslexie du développement

Les difficultés sévères rencontrées par les dyslexiques en lecture de mots nouveaux proviennent en général de la faiblesse de leurs habilités phonologiques en dehors de la lecture, en particulier, en analyse phonémique, en mémoire à court terme phonologique et en dénomination. Des déficits dans ces domaines peuvent entraver la mise en place de la procédure sublexicale de lecture. En effet, pour utiliser cette procédure, il faut d'abord mettre en correspondance les unités sublexicales de l'écrit, les graphèmes, avec les unités correspondantes de l'oral, les phonèmes. Il faut ensuite assembler les unités résultant du transcodage pour accéder aux mots. La première opération nécessite des habiletés d'analyse phonémique, la seconde implique la mémoire phonologique à court terme ainsi que la précision et la rapidité de

l'accès au lexique oral. Un enfant incapable d'extraire les phonèmes et souffrant en plus d'un déficit mnésique et/ou d'une déficience dans l'accès à son lexique, va difficilement pouvoir utiliser cette procédure d'identification des mots écrits. Ce type de dyslexie proviendrait donc d'un déficit cognitif spécifique, de nature phonologique. Le fait que la plupart des dyslexiques ont aussi des images orthographiques peu spécifiées (et donc un double déficit) s'explique parfaitement si on accepte que la mise en place du lexique orthographique dépend de l'efficience de la procédure phonologique de lecture. En conséquence, pratiquement tous les dyslexiques ont un double déficit en lecture, leur déficit phonologique étant toutefois le plus sévère puisqu'il est relevé y compris par rapport à des enfants plus jeunes qu'eux mais de même niveau de lecture.

Profils de type surface et déficits visuels dans la dyslexie du développement

Des déficits dans des domaines n'impliquant pas les traitements phonologiques ont été relevés dans des cas de dyslexie de surface. Ce type de déficit a principalement été étudié dans deux domaines. D'une part, partant du constat qu'un déficit de mémoire phonologique à court terme est fréquemment associé à la dyslexique phonologique, des chercheurs ont fait l'hypothèse qu'un déficit mnésique de même nature affectant la modalité visuelle pourrait être lié à la dyslexie de surface. Les difficultés orthographiques de ces dyslexiques s'expliqueraient donc par des difficultés de mémorisation de la forme visuelle des mots. Si cette explication est séduisante, comme le souligne Snowling (2000), elle n'a pas reçu, au moins jusqu'à présent, de larges confirmations. En effet, en dehors de l'étude de Goulandris et Snowling (1991), des déficits mnésiques visuels n'ont pas été relevés chez des dyslexiques de surface.

Une autre hypothèse pouvant expliquer les déficits spécifiques de certains dyslexiques est une déficience des traitements séquentiels visuels. Une telle déficience a été rapportée dans certaines études de cas unique, par exemple, chez Allan (Hanley et coll., 1992), tout comme dans des études de séries des cas, par exemple, chez RO, MF et AR (Seymour, 1986). Toutefois, comme dans les études de groupes (Hutzler et Wimmer, 2004), les résultats des études publiées ne permettent pas de soutenir l'hypothèse que ce déficit est à l'origine de la dyslexie, ou d'une forme particulière de dyslexie, pour trois raisons. D'une part, les déficits visuels relevés chez les dyslexiques peuvent simplement être la conséquence de leurs difficultés de lecture, vu que pratiquement toutes les études dans ce domaine ont comparé des dyslexiques à des normolecteurs de même âge chronologique, à la différence des études qui ont mis en relief les déficits phonologiques (excepté celles de Paulesu et coll., 2001 et de Lindgren et coll., 1985). D'autre part, ce type de déficit est toujours plus marqué sur les pseudo-mots que sur des mots ou des suites de

lettres non prononçables (Seymour, 1986 ; Hanley et coll., 1992). Enfin, dans la plupart des études signalant des déficits visuels spécifiques, les habiletés visuelles des dyslexiques, mais pas leurs habiletés phonologiques, ont été évaluées en tenant compte de la vitesse de traitement et/ou avec des tâches comportant des contraintes temporelles (par exemple, durée très brève d'exposition des stimuli). Il est donc difficile d'affirmer que les habiletés phonologiques de ces dyslexiques étaient préservées. Dans quelques rares études, les habiletés phonologiques et visuelles ont été examinées en utilisant des méthodologies comparables (par exemple, Seymour, 1986). Or, sur les 21 cas de dyslexie examinés par ce chercheur, un déficit supposé spécifique aux traitements visuels n'a été relevé que chez 3 sujets (RO, MF et AR). Ils avaient cependant tous des performances plus fortement affectées par les effets de longueur en lecture de pseudo-mots qu'en lecture de mots ou dans des tâches purement visuelles de comparaison de chaînes de lettres. En plus, ces trois dyslexiques avaient tous une histoire de troubles phonologiques.

Une autre hypothèse est que les dyslexiques de surface seraient en fait des dyslexiques phonologiques qui ont un sévère déficit de leur procédure lexicale de lecture s'expliquant par des facteurs environnementaux défavorables (Stanovich et coll., 1997). Ainsi, des enfants issus de milieux moins favorisés peuvent avoir été moins souvent confrontés à l'écrit et moins aidés pour dépasser leur handicap que des dyslexiques qui évoluent dans un environnement susceptible de les motiver à apprendre à lire en dépit de la difficulté de cet apprentissage. Cette explication peut rendre compte du fait que le déficit phonologique des dyslexiques de surface est moins marqué que leur déficit orthographique, l'acquisition des représentations orthographiques nécessitant une bonne confrontation avec l'écrit. Elle est confortée par des données suggérant que les déficits orthographiques s'expliqueraient par des facteurs environnementaux, alors que l'origine des déficits phonologiques pourrait être génétique (Castles et coll., 1999 ; Olson et coll., 1999).

Rôle des stratégies compensatoires

Chez le lecteur habile, l'identification des mots écrits est un acte quasi réflexe, qui n'est pas influencé par les informations contextuelles. En fait, les effets du contexte sur cette identification baissent en fonction de l'augmentation de l'âge et du niveau de lecture (West et Stanovich, 1978 ; Perfetti et coll., 1979 ; Raduege et Swantes, 1987), les lecteurs les moins habiles, et particulièrement les dyslexiques, utilisant plus le contexte que les bons lecteurs (Bruck, 1990).

C'est probablement grâce à de telles stratégies compensatoires que les dyslexiques arriveraient à surmonter leur déficit phonologique. Des données à l'appui de cette interprétation ont été relevées dans les études longitudinales. Par exemple, comme le soulignent les auteurs (Hulme et Snowling, 1992), le cas JM développe progressivement des stratégies compensatoires.

C'est ce qu'indiquent les effets facilitateurs d'un amorçage sémantique en lecture de pseudo-mots (le pseudo-mot « *sawce* » présenté après le mot « *tomato* ») observés chez lui quand il avait 13 ans, mais pas auparavant.

Le très fort effet de la lexicalité relevé chez les dyslexiques n'est probablement que le résultat de stratégies compensatoires, les dyslexiques utilisant plus que les normolecteurs l'information lexicale contenue dans les mots, probablement pour suppléer la déficience de leurs habiletés phonologiques. C'est ce que signale le fait que, dans l'étude de Seymour (1986), les performances de la plupart des dyslexiques ayant un déficit phonologique sévère sont meilleures quand les pseudo-mots se prononcent comme des mots de la langue. C'est également ce que suggère le fait qu'ils réussissent mieux les tâches phonologiques hors lecture quand elles impliquent des mots simples et fréquents (Snowling et coll., 1986a ; Bruck et Treiman, 1990 ; Bruck, 1992 ; Swan et Goswami, 1997a et b).

D'autres évidences indirectes de la mise en place progressive de stratégies compensatoires proviennent des données longitudinales publiées par Seymour (1986), les trois adolescents ne présentant pas de déficit phonologique majeur lors des observations effectuées alors qu'ils avaient entre 14 et 17 ans ayant tous présenté antérieurement un trouble phonologique, soit un retard de développement du langage oral (RO and MF), soit un déficit phonologique en lecture (AR, Seymour et Porpodas, 1980).

En conclusion, les études passées en revue indiquent que la présence de déficits sévères et spécifiques de la procédure phonologique de lecture, accompagnée de déficits phonologiques hors lecture également sévères et spécifiques, est la caractéristique majeure de la dyslexie développementale, de tels déficits ayant systématiquement été relevés dans les études de groupes, et ayant systématiquement été observés chez la plupart des dyslexiques examinés dans les études de séries de cas. Le fait que ces déficits émergent y compris par rapport à des enfants plus jeunes mais de même niveau de lecture est le signe d'une déviance développementale. En outre, l'opacité de l'orthographe est un facteur environnemental aggravant. Enfin, un fort consensus se dégage des différentes études sur le fait que les prédicteurs les plus fiables de l'apprentissage de la lecture sont des compétences de nature phonologique (capacités d'analyse phonémique, de mémoire phonologique à court terme et de dénomination rapide). En comparaison, le poids des habiletés non verbales, tout comme celui des facteurs socioculturels, est moindre.

Comme le signalent Ziegler et Goswami (2005 ; voir également Sprenger-Charolles et coll., sous presse), le fait que les mêmes déficits aient été relevés chez les dyslexiques dans différents contextes linguistiques (en anglais, en allemand, en hollandais, en français, en italien, en espagnol…) dans des tâches impliquant des traitements phonémiques en lecture (faible maîtrise des correspondances graphème-phonème attestées par des scores particuliè-

rement déficitaires en lecture de pseudo-mots, quand il n'est pas possible de s'appuyer sur des compétences lexicales pour lire) et hors lecture (en particulier, en analyse phonémique) est difficile à concilier avec l'idée qu'il puisse y avoir des sous-types de dyslexie fortement contrastés. Ce constat s'applique aux études de groupes et les résultats d'études de série de cas de dyslexiques vont dans le même sens. Ainsi, comme le soulignait Seymour (1986), qui est un des rares chercheurs a avoir examiné finement les déficits phonologiques et visuo-attentionnels avec des méthodologies comparables, tous les dyslexiques de sa cohorte présentaient des troubles phonologiques qui se manifestaient en lecture de pseudomots par la faible précision et/ou la lenteur de leurs réponses ainsi que par les effets de longueur, ce pattern dominant étant parfois accompagné de quelques signes des déficiences visuelles. En l'état de la recherche, les preuves à l'appui d'un déficit visuel à l'origine de la dyslexie (ou de certaines formes de dyslexie) sont fragiles.

BIBLIOGRAPHIE

ANS B, CARBONNEL S, VALDOIS S. A connectionist multiple-trace memory model for polysyllabic word reading. *Psychol Rev* 1998, **105** : 678-723

ARAM DM, HALL NE. Longitudinal follow-up of children with preschool communication disorders: treatment implications. *School Psychology Review* 1989, **18** : 487-501

BACKMAN J, BRUCK M, HEBERT M, SEIDENBERG MS. Acquisition and use of spelling sound correspondances in reading. *Journal of Experimental Child Psychology* 1984, **38** : 114-133

BADDELEY AD, ELLIS NC, MILES TR, LEWIS VJ. Developmental and acquired dyslexia: A comparison. *Cognition* 1982, **11** : 185-196

BAILEY CE, MANIS FR, PEDERSEN WC, SEIDENBERG MS. Variation among developmental dyslexics: evidence from a printed-word-learning task. *J Exp Child Psychol* 2004, **87** : 125-154

BAKER L, CANTWELL DP. A prospective psychiatric follow-up of children with speech/language disorders. *J Am Acad Child Adolesc Psychiatry* 1987, **26** : 546-553

BEAUVOIS MF, DEROUESNÉ J. Phonologica alexia: Three dissociations. *Journal of Neurology, Neurosurgery and Psychiatry* 1979, **42** : 1115-1124

BEECH JR, HARDING LM. Phonemic processing and the poor reader from a developmental lag viewpoint. *Reading Research Quarterly* 1984, **19** : 357-366

BILLARD C, TOUTAIN A, LOISEL ML, GILLET P, BARTHEZ MA, MAHEUT J. Genetic basis of developmental dysphasia. Report of eleven familial cases in six families. *Genet Couns* 1994, **5** : 23-33

BISHOP DV, ADAMS C. A prospective study of the relationship between specific language impairment, phonological disorders and reading retardation. *J Child Psychol Psychiatry* 1990, **31** : 1027-1050

BODER E. Developmental dyslexia: a diagnostic approach based on three atypical reading-spelling patterns. *Developmental Medicine and Child Neurology* 1973, **15** : 663-687

BOSSE ML, VALDOIS S. Patterns of developmental dyslexia according to a multi-trace memory model of reading. *Current Psychology Letters*, Special Issue on Language Disorders and Reading Acquisition 2003, 10 (1). http://cpl.revues.org/document92.html

BRUCK M. The word recognition and spelling of dyslexic children. *Reading Research Quarterly* 1988, **23** : 51-69

BRUCK M. Word-recognition skills of adults with childhood diagnoses of dyslexia. *Developmental Psychology* 1990, **26** : 439-454

BRUCK M. Persistence of Dyslexics' Phonological Awareness Deficits. *Developmental Psychology* 1992 ; **28** : 874-886

BRUCK M, TREIMAN R. Phonological awareness and spelling in normal children and dyslexics: the case of initial consonant clusters. *J Exp Child Psychol* 1990, **50** : 156-178

BRYANT PE, IMPEY L. The similarities between normal readers and developmental and acquired dyslexic children. *Cognition* 1986, **24** : 121-137

CASALIS S. Lecture et dyslexies de l'enfant. Paris, Septentrion, 1995

CASALIS S. The delay-type in developmental dyslexia: Reading processes. *Current Psychology Letters: Behavior, Brain and Cognition* 2003, **10**, http://cpl.revues.org/document95.html.

CASTLES A, COLTHEART M. Varieties of developmental dyslexia. *Cognition* 1993, **47** : 149-180

CASTLES A, DATTA H, GAYAN J, OLSON RK. Varieties of reading disorder: genetic and environmental influences. *Journal of Experimental Child Psychology* 1999, **72** : 73-94

CATTS HW. The relationship between speech-language impairments and reading disabilities. *Journal of Speech and Hearing Research* 1993, **36** : 948-958

CHIAPPE P, STRINGER N, SIEGEL LS, STANOVICH K. Why the timing deficit hypothesis does not explain reading disability in adults. *Reading and Writing: An Interdisciplinary Journal* 2002, **15** : 73-107

COHEN J. Statistical power analysis for the behavioural sciences. Lawrence Erlbaum Associates, Inc., Hillsdale, New Jersey, 1988

COLTHEART M. Lexical access in simple reading tasks. *In* : Strategies of information processing. UNDERWOOD G (ed). London, Academic Press, 1978 : 151-216

COLTHEART M. Are there lexicons? *Q J Exp Psychol A* 2004, 57 :1153-1171

COLTHEART M, MASTERSON J, BYNG S, PRIOR M, RIDDOCH J. Surface dyslexia. *Quarterly Journal of Experimental Psychology* 1983, **35** : 469-595

COLTHEART M, CURTIS B, ATKINS P, HALLER M. Models of reading aloud: Dual route and parallel processing approaches. *Psychological Review* 1993, **100** : 589-608

COLTHEART M, RASTLE K, PERRY C, LANGDON R, ZIEGLER J. DRC: A dual route cascaded model of visual word recognition and reading aloud. *Psychological Review* 2001, **108** : 204-256

COSSU G, SHANKWEILER D, LIBERMAN IY, GUGLIOTTA M. Visual and phonological determinants of misreadings in a transparent orthography. *Reading and Writing: An Interdisciplinary Journal* 1995, **7** : 235-256

CRITCHLEY M. The dyslexic child. London, Heinemann Medical Book, 1970

DE LUCA M, BORRELLI M, JUDICA A, SPINELLI D, ZOCCOLOTTI P. Reading words and pseudowords: An eye movement study of developmental dyslexia. *Brain and Language* 2002, **80** : 617-626

DE LUCA M, DI PACE E, JUDICA A, SPINELLI D, ZOCCOLOTTI P. Eye movement patterns in linguistic and non linguistic tasks in developmental surface dyslexia. *Neuropsychologia* 1999, **37** : 1407-1420

ELBRO C, SCARBOROUGH HS. Early identification. *In*: Handbook of Children's reading. BRYANT P, NUNES T (eds). Kluwer Academic Press, Dordrecht, 2003 : 361-381

FISCHER FW, LIBERMAN IY, SHANKWEILER D. Reading reversals and developmental dyslexia: a further study. *Cortex* 1978, **14** : 496-510

FRITH U, SNOWLING MJ. Reading for meaning and reading for sound in autistic and dyslexic children. *British Journal of Developmental Psychology* 1983, **1** : 329-342

FRITH U. A developmental framework for developmental dyslexia. *Annals of Dyslexia* 1986, 69-81

FRITH U. Beneath the surface of developmental dyslexia. *In* : Surface dyslexia: Neuropsychological and cognitive studies of phonological reading. PATTERSON KE, MARSHALL JC, COLTHEART M (eds). London, Erlbaum, 1985 : 301-330

GALLAGHER A, FRITH U, SNOWLING MJ. Precursors of literacy delay among children at genetic risk of dyslexia. *J Child Psychol Psychiatry* 2000, **41** : 203-213

GÉNARD N, MOUSTY P, CONTENT A, ALEGRIA J, LEYBAERT J, MORAIS J. Methods to establish subtypes of developmental dyslexia. *In* : Problems and interventions in literacy development. REITSMA P, VERHOEVEN L (eds). Dordrecht, The Netherlands, Kluwer, 1998 : 163-176

GILGER JW, BRUCE F, PENNINGTON BF, DEFRIES JC. Risk for reading disability as a function of parental history in three family studies. *Reading and Writing* 1991, **3** : 205-217

GOULANDRIS N, SNOWLING MJ. Visual memory deficits: A plausible cause of developmental dyslexia? Evidence from a single case study. *Cognitive Neuropsychology* 1991, **8** : 127-154

GRAINGER J, BOUTTEVIN S, TRUC C, BASTIEN M, ZIEGLER J. Word superiority, pseudoword superiority, and learning to read: A comparison of dyslexic and normal readers. *Brain and Language* 2003, **87** : 432-440

HANLEY JR, HASTIE K, KAY J. Developmental surface dyslexia and dysgraphia: an orthographic processing impairment. *Quarterly Journal of Experimental Psychology* 1992, **44A** : 285-320

HARRIS M, COLTHEART M. Language processing in children and adults: An introduction. London: Routledge and Kegan, 1986

HAWELKA S, WIMMER H. Impaired visual processing of multi-element arrays is associated with increased number of eye movements in dyslexic reading. *Vision Res* 2005, **45** : 855-863

HULME C, SNOWLING M. Phonological deficits in dyslexia: a reappraisal of the verbal deficit hypothesis. *In* : Current perspectives in learning disabilities. SINGH N, BEALE I (eds). New York, Springer-Verlag, 1992 : 270-331

HUTZLER F, WIMMER, H. Eye movements of dyslexic children when reading in a regular orthography. *Brain and Language* 2004, **89** : 235-242

INIZAN A. Analyse de la compétence en lecture (ANALEC). Issy-les-Moulineaux, EAP, 1995

INTERNATIONAL DYSLEXIA ASSOCIATION. Frequently Asked Questions (FAQ): What is dyslexia ? 2005, http://www.interdys.org/

JARED D. Spelling-sound consistency affects the naming of high-frequency words. *Journal of Memory and Language* 1997, **36** : 687-715

JASTAK S, WILKINSON GS. The wide range achievement test-Revised. Wilmington, DE, Jastak Associates, 1984

JIMENEZ-GONZALEZ JE, VALLE IH. Word identification and reading disorders in the Spanish language. *Journal of Learning Disabilities* 2000, **33** : 44-60

JIMENEZ-GONZALEZ JE, RAMIREZ-SANTANA G. Identifying subtypes of reading disability in a transparent orthography. *The Spanish Journal of Psychology* 2002, **5** : 3-19

JOANISSE MF, MANIS FR, KEATING P, SEIDENBERG MS. Language deficits in dyslexic children: speech perception, phonology, and morphology. *J Exp Child Psychol* 2000, **77** : 30-60

JUDICA A, DE LUCA M, SPINELLI D, ZOCCOLOTTI P. Training of developmental surface dyslexia improves reading performance and shortens eye fixation during reading. *Neuropsychological Rehabilitation* 2002, **12** : 177-197

LANDERL K, WIMMER H. Deficits in phoneme segmentation are not the core problem of dyslexia: evidence from german and anglish children. *Applied psycholinguistics* 2000, **21** : 243-262

LANDERL K, WIMMER H, FRITH U. The impact of orthography consistency on dyslexia: A German-English comparison. *Cognition* 1997, **63** : 315-334

LEPPÄNEN PHT, PIHKO E, EKLUND KM, LYYTINEN H. Cortical responses of infants with and without a genetic risk for dyslexia: II. Group effects. *NeuroReport* 1999, **10** : 901-905

LEPPÄNEN PHT, RICHARDSON U, PIHKO E, EKLUND KM, GUTTORM TK, et coll. Brain responses to changes in speech sound durations differ between infants with and without familial risk for dyslexia. *Developmental Neuropsychology* 2002, **22** : 407-422

LIBERMAN IY, MANN VA, WERFELMAN M. Children's memory for recurring linguistic and non-linguistic material in relation to reading ability. *Cortex* 1982, **18** : 367-375

LIBERMAN IY, SHANKWEILER D, ORLANDO C, HARRIS KS, BERTI FB. Letter confusions and reversals of sequence in the beginning reader: Implications for Orton's theory of developmental dyslexia. *Cortex* 1971, **7** : 127-142

LINDGREN SD, DE RENZI E, RICHMAN LC. Cross-national comparisons of developmental dyslexia in Italy and the United States. *Child Development* 1985, **56** : 1404-1417

LYYTINEN H, AHONEN T, RÄSÄNEN P. Dyslexia and dyscalculia in childrenRisks, early precursors, bottlenecks and cognitive mechanisms. *Acta Paedopsychiatrica (special issue)* 1994, **56** : 179-192

MANIS FR, SEIDENBERG MS, DOI LM, MCBRIDE-CHANG C, PETERSON A. On the basis of two subtypes of developmental dyslexia. *Cognition* 1996, **58** : 157-195

MANIS FR, SZESZULSLI PA, HOLT LK, GRAVES K. Variation in component word recognition and spelling skills among dyslexic children and normal readers. *In* : Reading and its development: Component skills approaches. CARR TH, LEVY BA (eds). Academic Press, New York, 1990 : 207-259

MANN VA, LIBERMAN IY. L'apprenti lecteur : Recherches empiriques et implications pédagogiques. *In* : Textes de base en psychologie. RIEBEN L, PERFETTI CH (eds). Delâchaux et Niestlé, Lausanne, 1984 : 222

MARSH G, FRIEDMAN M, WELCH V, DESBERG P. A Cognitive developmental theory of reading acquisition. *In* : Reading research: Advances in theory and practice. MACKINNON GE, WALLER TG (eds). Vol. 3. Hillsdale: Erlbaum, 1981 : 199-221

MCDOUGALL P, BOROWSKY R, MACKINNON GE, HYMEL S. Process dissociation of sight vocabulary and phonetic decoding in reading: A new perspective on surface and phonological dyslexias. *Brain and Language* 2004, **92** : 185-203

METSALA JL, STANOVICH KE, BROWN GDA. Regularity effects and the phonological deficit model of reading disabilities: A meta-analytic review. *Journal of Educational Psychology* 1998, **90** : 279-293

MILNE RD, NICHOLSON T, CORBALLIS MC. Lexical access and phonological decoding in adult dyslexic subtypes. *Neuropsychology* 2003, **17** : 362-368

MORTON J. An information-processing account of reading acquisition. *In* : From reading to neurons. GALABURDA AM (ed). M.I.T. Press, Cambridge, MA, 1989 : 43-66

MOUSTY P, LEYBAERT J. Évaluation des habiletés de lecture et d'orthographe au moyen de la BELEC : données longitudinales auprès d'enfants francophones testés en 2e et 4e années. *Revue Européenne de Psychologie Appliquée* 1999, **49** : 325-342

MURPHY L, POLLATSEK A. Developmental dyslexia: heterogeneity without discrete subgroups. *Annals of dyslexia* 1994, **44** : 120-146

OLSON RK, DATTA H, GAYAN J, DEFRIES JC. A behavioural-genetic analysis of reading disabilities and component processes. *In* : Converging methods for understanding reading and dyslexia. KLEIN R, MCMULLEN P (eds). MIT Press, Cambridge, MA, 1999 : 33-152

OLSON RK, FORSBERG H, WISE B, RACK J. Measurement of word recognition, orthographic and phonological skills. *In* : Frames of reference for the assessment of learning disabilities: New views on measurement issues. LYON GR (ed). Paul H. Brookes, Baltimore/London/Toronto/Sydney, 1994 : 243-275

OLSON RK, KLIEGL R, DAVIDSON B, FOLTZ G. Individual and developmental differences in reading disability. *In* : Reading research: Advances in theory and practice. MACKINNON GE, WALLER TG (eds). Academic Press Inc, CA, 1985, vol.4 : 1-64

ORTON MD, SAMUEL T. Reading, writing and speech problems in children. W. W. Norton & Co, New-York, 1937

PAULESU E, DÉMONET JF, FAZIO F, MCCRORY E, CHANOINE V. Dyslexia, Cultural diversity and Biological unity. *Science* 2001, **291** : 2165-2167

PENNINGTON BF, LEFLY DL. Early reading development in children at family risk for dyslexia. *Child Development* 2001, **72** : 816-833

PENNINGTON BF, LEFLY D, BOADA R. Phonological development and reading outcomes in children at family risk for dyslexia. *In* : Longitudinal studies of children at family risk for dyslexia: Results from four countries. PENNINGTON BF (ed) Symposium conducted at the meeting of the Society for Research in Child Development, Albuquerque, NM, 1999

PERFETTI CA, GOLDMAN SR, HOGABOAM TW. Reading skill and the identification of words in discourse context. *Memory and Cognition* 1979, **4** : 273-282

PERFETTI CA. Reading ability. Oxford University Press, New-York, 1985

PETERSEN DK, ELBRO C. Pre-school prediction and prevention of dyslexia: A longitudinal study with children of dyslexic parents. *In* : Learning to read: An integrated view from research and practice. NUNES T (ed). Dordrecht, Kluwer, 1999 : 133-154

PLAUT DC, MCCLELLAND JL, SEIDENBERG MS, PATTERSON KE. Understanding normal and impaired word reading: Computational principles in quasi-regular domain. *Psychological Review* 1996, **103** : 56-115

RACK JP, SNOWLING MJ, OLSON RK. The nonword reading deficit in developmental dyslexia: A review. *Reading Research Quarterly* 1992, **27** : 29-53

RADUEGE TA, SCHWANTES FM. Effects of rapid word recognition training on sentence context effects in children. *Journal of Reading Behavior* 1987, **4** : 395-414

RAYNER K. Eye movements in reading and information processing: 20 years of research. *Psychological Bulletin* 1998, **3** : 372-422

SAVIGNY M. Bat-Elem. Editions de Psychologie Appliquée, Issy-les-Moulineaux, 1974

SCARBOROUGH HS. Prediction of reading disability from familial and individual differences. *Journal of Educational Psychology* 1989, **81** : 101-108

SCARBOROUGH HS. Antecedents to reading disability: Preschool language development and literacy experiences of children from dyslexic families. *Reading and Writing* 1991, **3** : 219-233

SCARBOROUGH HS. Predicting the future achievement of second graders with reading disabilities: Contributions of phonemic awareness, verbal memory, rapid serial naming, and IQ. *Annals of Dyslexia* 1998a, **48** : 115-136

SCARBOROUGH HS. Early identification of children at risk for reading disabilities: Phonological awareness and some other promising predictors. *In* : Specific reading disability: A view of the spectrum. *In*: SHAPIRO BK, ACCARDO PJ, CAPUTE AJ (eds). MD, York Press, Timonium, 1998b : 75-119

SCARBOROUGH HS. Very early language deficits in dyslexic children. *Child Development* 1990, **61** : 1728-1743

SEYMOUR PHK. A cognitive analysis of dyslexia. Routledge and Kegan Paul, London, 1986

SEYMOUR PHK, PORPODAS CD. Lexical and non-lexical processing of spelling in dyslexia. *In* : Cognitive processes in spelling. FRITH U (ed). Academic Press, London, 1980 : 443-473

SHAYWITZ SE, SHAYWITZ BA. Dyslexia (Specific Reading Disability). *Biological Psychiatry* 2005, **57** : 1301-1309

SIEGEL LS, RYAN EB. Development of grammatical sensitivity, phonological, and short-term memory skills in normally achieving and learning disabled children. *Developmental Psychology* 1988, **24** : 28-37

SNOW CE, BARNES WS, CHANDLER J, GOODMAN JR, HEMPHILL L. Unfulfilled expectations: Home and school influences on literacy. Cambridge, MA, Harvard University Press, 1991

SNOWLING MJ. Phonemics deficits in developmental dyslexia. *Psychological Research* 1981, **43** : 219-234

SNOWLING MJ. Dyslexia. Blackwell, Oxford, 2000

SNOWLING MJ, STACKOUSE J, RACK J. Phonological dyslexia and dysgraphia: A developmental analysis. *Cognitive Neuropsychology* 1986a, **3** : 309-339

SNOWLING M, GOULANDRIS N, BOWLBY M, HOWELL P. Segmentation and speech perception in relation to reading skill: a developmental analysis. *J Exp Child Psychol* 1986b, **41** : 489-507

SNOWLING MJ, GOULANDRIS N, DEFTY N. A longitudinal study of reading development in dyslexic children. *Journal of Educational Psychology* 1996a, **88** : 653-669

SNOWLING MJ, BRYANT P, HULME C. Theoretical and methodological pitfalls in making comparisons between developmental and acquired dyslexia: Some comments on A. Castles and M. Coltheart (1993). *Reading and Writing: An Interdisciplinary Journal* 1996b **8** : 443-451

SNOWLING M, BISHOP DV, STOTHARD SE. Is preschool language impairment a risk factor for dyslexia in adolescence? *J Child Psychol Psychiatry* 2000, **41** : 587-600

SPRENGER-CHAROLLES L, SIEGEL LS. A longitudinal study of the effects of syllabic structure on the development of reading and spelling skills in French. *Applied psycholinguistics* 1997, **18** : 485-505

SPRENGER-CHAROLLES L, COLE P, LACERT P, SERNICLAES W. On Subtypes of Developmental Dyslexia: Evidence from Processing Time and Accuracy Scores. *Canadian Journal of Experimental Psycholog* 2000, **54** : 88-104

SPRENGER-CHAROLLES L, SIEGEL LS, BECHENNEC D, SERNICLAES W. Development of phonological and orthographic processing in reading aloud, in silent reading, and in spelling: A four-year longitudinal study. *J Experimental Child Psychology* 2003, **84** : 194-217

SPRENGER-CHAROLLES L, COLÉ P, BÉCHENNEC D, KIPFFER-PIQUARD A. French normative data on reading and related skills: from EVALEC, a new computarized battery of tests. *European Review of Applied Psychology* 2005, **55** : 157-186

SPRENGER-CHAROLLES L, COLÉ P, SERNICLAES W. Reading Acquisition and developmental dyslexia. Psychology Press, London, 2006

STANOVICH KE, NATHAN RG, ZOLMAN JE. The developmental lag hypothesis in reading: Longitudinal and matched reading-level comparisons. *Child Development* 1988, **59** : 71-86

STANOVICH KE, SIEGEL LS, GOTTARDO A. Converging evidence for phonological and surface subtypes of reading disability. *Journal of Educational Psychology* 1997, **89** : 114-127

STOTHARD SE, SNOWLING MJ, BISHOP DV, CHIPCHASE BB, KAPLAN CA. Language-impaired preschoolers: a follow-up into adolescence. *J Speech Lang Hear Res* 1998, **41** : 407-418

STUEBING KK, FLETCHER JM, LEDOUX JM, LYON GR, SHAYWITZ SE, SHAYWITZ BA. Validity of IQ-discrepancy classifications of reading disabilities: A meta-analysis. *American Educational Research Journal* 2002, **2** : 469-518

SWAN D, GOSWAMI U. Picture naming deficits in developmental dyslexia: the phonological representations hypothesis. *Brain Lang* 1997a, **56** : 334-353

SWAN D, GOSWAMI U. Phonological awareness deficits in developmental dyslexia and the phonological representations hypothesis. *Journal of Experimental Child Psychology* 1997b, **66** : 8-41

SZESZULSKI PA, MANIS FR. A comparison of word recognition processes in dyslexic and normal readers at two reading-age levels. *Journal of Experimental Child Psychology* 1987, **3** : 364-76

TALLAL P. Auditory temporal perception, phonics and reading disabilities in children. *Brain and Language* 1980, **9** : 182-198

TEMPLE CM, MARSHALL JC. A case study of developmental phonological dyslexia. *British Journal of Psychology* 1983, **74** : 517-533

THORNDIKE RL. Reading comprehension education in fifteen countries: An empirical study. Halsted, New York, 1973

TREIMAN R, HIRSH-PASEK K. Are there qualitative differences in reading behaviour between dyslexics and normal readers? *Memory and Cognition* 1985, **13** : 357-364

VAN IJZENDOORN MH, BUS AG. Meta-analytic confirmation of the non-word reading deficit in developmental dyslexia. *Reading Research Quarterly* 1994, **29** : 266-275

VELLUTINO FR. Dyslexia: Theory and research. Cambridge, Mass, MIT Press, 1979

VELLUTINO FR, FLETCHER JM, SNOWLING MJ, SCANLON DM. Specific reading disability (dyslexia): what have we learned in the past four decades? *J Child Psychol Psychiatry* 2004, **45** : 2-40

VELLUTINO FR, SCANLON DM, LYON GR. Differentiating between difficult-to-remediate and readily remediated poor readers: More evidence against the IQ-achievement discrepancy definition of reading disability. *Journal of Learning Disabilities* 2000, **33** : 223-238

WAGNER RK, TORGESEN JK, RASHOTTE CA, HECHT SA, BARKER TA, et coll. Changing relations between phonological processing abilities and word-level reading as children develop from beginning to skilled readers: A five year longitudinal study. *Developmental Psychology* 1997, **33** : 468-479

WATERS GS, SEIDENBERG MS, BRUCK M. Children's and adults' use of spelling sound information in three reading task. *Memory and Cognition* 1984, **12** : 293-305

WEST RF, STANOVICH KE. Automatic contextual facilitation in readers of three ages. *Child Development* 1978, **49** : 717-727

WIMMER H. Characteristics of developmental dyslexia in a regular writing system. *Applied Psycholinguistics* 1993, **14** : 1-33

WIMMER H. The nonword deficit in developmental dyslexia: Evidence from German children. *Journal of Experimental Child Psychology* 1995, **61** : 80-90

WIMMER H. The early manifestation of developmental dyslexia: Evidence from German children. *Reading and Writing: An Interdisciplinary Journal* 1996, **8** : 171-188

WIMMER H, MAYRINGER H. Dysfluent reading in the absence of spelling difficulties: A specific disability in regular orthographies. *Journal of Educational Psychology* 2002, **94** : 272-277

WOLF M, BOWERS P. The question of naming speed deficits in developmental reading disabilities: An introduction to the double-deficit hypothesis. *Journal of Educational Psychology* 1999, **19** : 1-24

WOLF M, BOWERS PG, BIDDLE K. Naming-speed processes, timing, and reading: A conceptual review. *Journal of Learning Disabilities* 2000, **33** : 387-407

WOLF M, GOLDBERG O'ROURKE A, GIDNEY C, LOVETT M, CIRINO P, MORRIS R. The second deficit: An investigation of the independence of phonological and naming-speed deficits in developmental dyslexia. *Reading and Writing: An Interdisciplinary Journal* 2002, **15** : 43-72

WOODCOCK RW. Woodcock Reading Mastery Tests-Revised. Circle Pines, MN, American Guidance Service, 1987

WORLD HEALTH ORGANIZATION. The international classification of diseases. Classification of mental and behavioural disorders (Vol. 10). World Health Organization Publications, Switzerland, 1993

ZABELL C, EVERATT J. Surface and phonological subtypes of adult developmental dyslexia. *Dyslexia* 2002, **8** : 160-177

ZIEGER J, GOSWAMI U, ZIEGLER J, GOSWAMI U. Reading acquisition, developmental dyslexia and skilled reading accross languages: A psycholinguistic grain size theory. *Psychological Bulletin* 2005, **13** : 3-29

ZIEGLER JC, PERRY C, MA-WYATT A, LADNER D, SCHULE-KÖRNE D. Developmental dyslexia in different languages: Language-specific or Universal? *Journal of Experimental Child Psychology* 2003, **86** : 169-193

ZOCCOLOTTI P, DE LUCA M, DI PACE E, JUDICA A, ORLANDI M, SPINELLI D. Marker of developmental surface dyslexia in a language (Italian) with high grapheme-phoneme correspondence. *Applied Psycholinguistics* 1999, **20** : 191-216

10

Dysorthographie

Ce chapitre traite des troubles de l'apprentissage et de l'utilisation de l'orthographe et, plus généralement, de certains aspects de la production verbale écrite. Nous avons essayé non pas de viser une revue complète des travaux mais de fournir un aperçu des connaissances et des méconnaissances – de loin les plus nombreuses – en ce domaine.

Caractéristiques des données

Avant d'en venir à la présentation des données, trois points doivent être soulignés.

Premièrement, la production verbale écrite (ci-après PE) en général et la production orthographique (ci-après PO) en particulier n'ont pas fait l'objet de recherches aussi nombreuses et approfondies que, d'une part, la production verbale orale et, d'autre part, la lecture. Il suffit pour s'en convaincre de consulter l'une des plus importantes synthèses portant sur le langage : l'ouvrage de Gernsbacher (1994), essentiellement consacré aux performances adultes, comporte quatre chapitres portant sur la lecture, mais aucun sur la production verbale écrite. Relativement aux troubles de l'apprentissage, Lussier et Flessas (2001) intègrent les troubles de l'orthographe dans le chapitre relatif à la dyslexie, la dysorthographie n'occupant que cinq (pages 182-186) des vingt pages du chapitre. Même Temple (1997) ne rédige qu'un relativement bref chapitre sur les « *Spelling disorders* ». C'est seulement récemment que le nombre de recherches s'est accru et que des synthèses ont commencé à paraître (Perfetti et coll., 1997 ; Hulme et Joshi, 1998 ; Alamargot et Chanquoy, 2001 ; Berninger et Richards, 2002 ; Fayol, 2002a et b).

Cette relative désaffection pour la PE et la PO tient à un ensemble de facteurs. D'une part, la linguistique dans son ensemble s'intéresse à l'oral : les travaux théoriques portant sur l'écrit sont apparus plus tard (Catach, 1986) et ne jouissent pas du même prestige. D'autre part, l'orthographe est intimement liée aux disciplines scolaires : elle apparaît comme relevant de la

norme et son apprentissage est perçu comme dépendant quasi uniquement du temps et des efforts qui lui sont consacrés. Enfin, des difficultés méthodologiques ont longtemps empêché l'étude de la PE et de la PO, les chercheurs devant s'en tenir à l'analyse des produits (textes, mots, phrases) (Olive et Levy, 2002). Depuis environ une décennie, le statut de la PE et de la PO a changé et les recherches se développent, même si leur nombre reste limité, ce qui a des conséquences sur les travaux consacrés aux troubles : à la fois les modèles théoriques et les données empiriques font assez souvent défaut, par exemple pour situer les performances d'un individu.

Deuxièmement, l'orthographe relève en fait de deux domaines d'activité : la lecture d'une part à travers la reconnaissance des mots, l'écriture d'autre part, comme récupération et rappel des lettres et de leur succession. Ces deux domaines présentent à la fois de fortes similitudes – tous deux reposent sur la transcription de la parole, et donc sur la phonologie – et d'importantes différences. En lecture, les signes (lettres...) sont écrits, concrets, permanents et (relativement) faciles à définir quant à leurs caractéristiques physiques. En revanche, en production, les configurations sonores de départ sont moins concrètes, plus évanescentes et donc sans doute plus difficiles à isoler, discriminer et identifier. En général, la lecture va d'un nombre donné de lettres à un nombre plus limité de sons. L'écriture présente le plus souvent une tendance inverse, allant d'un nombre limité de sons vers un nombre plus élevé de suites graphiques. Il s'ensuit qu'il existe des homophones plus ou moins nombreux selon les systèmes orthographiques qui induisent des difficultés de détermination des configurations des mots orthographiques. La prononciation présente et tolère une grande variabilité, à la fois individuelle et dialectale. Ses variations passent le plus souvent inaperçues et sont acceptées sans problème. En revanche, l'orthographe actuelle ne supporte pas la variation : elle est rigide et repose sur une norme sociale valorisée. En conséquence, la correspondance allant de configurations de lettres aux configurations de sons s'accommode sans problème des variations dialectales. Par contraste, les correspondances allant des configurations de sons aux configurations de lettres peuvent considérablement affecter l'orthographe. Cette absence de réversibilité rend l'orthographe particulièrement complexe et nécessite un curriculum spécifique pour l'instruction.

La lecture et la PO ne sont donc pas exactement assimilables : écrire est généralement plus difficile que lire (Bosman et Van Orden, 1997). En termes de traitements, les chercheurs ont été conduits à s'interroger sur l'existence d'un lexique orthographique unique ou, au contraire, dépendant de l'activité (lecture *versus* PO). Sans être complètement tranché, le débat semble avoir abouti à considérer que les individus recourent à un seul lexique, en perception comme en production. En revanche, les processus d'accès et de mise en œuvre diffèrent. La lecture peut s'accommoder d'une prise d'information relativement sommaire. Comme il s'agit de reconnaître un

mot parmi de nombreux autres stockés en mémoire, la ressemblance joue un rôle essentiel. Toutefois, il suffit assez souvent d'un nombre réduit d'indices pour que l'identification puisse se réaliser. Par contraste, en PO, toutes les lettres constitutives du mot doivent être retrouvées et transcrites dans un ordre strict. La charge attentionnelle n'est évidemment pas la même qu'en lecture. Comme, par ailleurs, la PE impose en elle-même une charge, même chez les adultes (Bourdin et Fayol, 1994 et 2002), les performances en PO sont presque inévitablement inférieures à celles relevées en lecture. Ce constat vaut pour le tout-venant des adultes, et plus encore pour les enfants chez lesquels, d'une part, le lexique orthographique n'est que partiellement constitué et consolidé et, d'autre part, la maîtrise de la graphie est faible, imposant de ce fait une charge attentionnelle très élevée lors de la PO.

Les remarques ci-dessus conduisent à soulever une série de problèmes importants pour l'interprétation des données qui seront rapportées. Premièrement, les épreuves utilisées pour évaluer les connaissances orthographiques sont tantôt des tests de PO (dictée de mots ou production à partir d'images) tantôt des épreuves de choix : déterminer de deux items celui qui correspond à l'orthographe correcte d'un mot. Ces deux types d'épreuves ne donnent pas toujours des résultats congruents, notamment avec les enfants. Leur application à des individus présentant des troubles de l'écriture devrait également aboutir à des performances différentes. Deuxièmement, l'impact (négatif) de la charge attentionnelle de la PE et de la PO induit la survenue d'erreurs qui ne traduisent pas nécessairement la mauvaise qualité des représentations orthographiques. De là, les difficultés rencontrées pour coter les transcriptions (Moats, 1995) et l'incidence de ces cotations sur l'affectation de tel ou tel individu à telle ou telle catégorie de déficit. Enfin, il n'est pas exclu que les différences de processus impliqués expliquent au moins en partie les variations des performances en lecture et PO chez les dyslexiques. La difficulté vient de ce que rares sont les études qui ont utilisé conjointement des épreuves de PO et de jugement.

Troisièmement, comme dans d'autres domaines relevant des troubles de l'apprentissage, la collecte des données s'effectue dans un cadre extrêmement variable. Ainsi, les dénominations changent d'un auteur à un autre. Temple (1997) utilise les termes de dysgraphies (de surface *versus* phonologique) pour décrire, classer et interpréter les troubles de l'orthographe. Elle s'inspire en cela des modèles dits à deux voies (assemblage *versus* adressage) issus de la neuropsychologie de l'adulte (troubles acquis) et étendus à l'étude des troubles du développement. Nous nous référerons peu à cette approche, notamment parce qu'elle porte sur des études de cas en nombre limité et qu'elle est difficilement compatible avec les travaux portant sur des groupes. Concernant ces groupes, les dénominations sont tantôt « *spelling disorders* » tantôt « *spelling disabilities* » sans qu'on puisse déterminer sur quels critères reposent ces différences. Dans tous les cas, des problèmes apparaissent, qui ont trait aux critères de sélection des populations. De manière générale, les

troubles de la PO y sont postulés continus : les auteurs n'envisagent pas et ne recherchent pas de syndrome. Ils recourent à des épreuves qui leur permettent de retenir les individus se situant en deça du 20e, du 25e ou du 35e centile dans des épreuves standardisées. Selon le seuil choisi, les pourcentages retenus sont évidemment variables. Cela n'a toutefois pas la même incidence que dans d'autres champs relevant des troubles de l'apprentissage du fait qu'aucune étude de prévalence n'a, à notre connaissance, été publiée relativement à la seule PO. Les troubles de la PO sont étudiés soit en association avec des troubles généraux de l'apprentissage (les individus à faible QI ont majoritairement des difficultés importantes d'acquisition de l'orthographe) soit, le plus souvent, en liaison avec un autre trouble spécifique, la dyslexie, soit de manière spécifique. Dans ce dernier cas, les troubles spécifiques de l'orthographe sont définis comme correspondant à un niveau de performance en PO significativement inférieur à celui qui serait attendu compte tenu d'un niveau d'intelligence (QI) normal, d'un milieu socioculturel et d'une instruction non problématiques et d'un niveau de lecture (code et compréhension, selon les recherches) congruent avec le QI. Comme en général, les bons lecteurs (BL) sont aussi bons (mais moins) en PO (BO), et que les faibles lecteurs (FL) sont faibles en PO (FO), l'essentiel des travaux porte sur les associations entre lecture et écriture, notamment chez les dyslexiques. Toutefois, une sous-population a particulièrement retenu l'attention, celles des « *unexpectedly poor spellers* » (Frith, 1980 et 1985) (ci-après BLFO), qui précisément ont un niveau en PO significativement inférieur à celui que leur performance en lecture conduit à attendre. En revanche, hormis dans les études de cas neuropsychologiques, aucune étude de groupe ne porte sur des FLBO, peut-être parce qu'il s'agit d'individus très rares, voire n'existant que dans les troubles acquis.

Production orthographique

Il ne paraît pas réaliste de décrire les troubles, d'étudier leur origine et d'envisager leur évolution sans avoir préalablement défini ce que sont la production orthographique (PO) et les composantes qu'elle mobilise. La première partie de ce sous-chapitre décrit les procédures susceptibles d'être impliquées dans la PO.

Comment écrire les mots ?

Deux cas extrêmes se présentent (Margolin, 1984 ; Frith, 1980 et 1985 ; Ehri, 1997 ; Temple, 1997). Dans le premier, le mot est connu et fréquemment pratiqué. Il est donc disponible en mémoire. L'écrire, sous dictée ou à partir d'une image ou d'une représentation événementielle, nécessite que sa

forme orthographique soit remémorée (par adressage dans le lexique orthographique), maintenue dans une mémoire temporaire (un « buffer graphémique ») le temps que s'effectue la transcription, et éventuellement relue et contrôlée pour tester sa conformité à la forme présente en mémoire (Simon et Simon, 1973). Dans le second cas, l'item est inconnu. Il peut d'ailleurs s'agir d'un pseudo-mot utilisé pour les nécessités de l'étude. Sa présentation s'effectue nécessairement sous dictée. La forme sonore doit être temporairement stockée le temps qu'elle fasse l'objet d'une segmentation en « configurations phonologiques » pouvant aller du phonème à la syllabe, voire à des « unités » plus larges. À chaque segment doit être associée une configuration de lettres. Ces configurations, une fois construites ou remémorées, sont maintenues en mémoire temporaire graphémique le temps de leur transcription. Cette dernière n'a pas besoin pour commencer d'attendre que l'intégralité des mises en relation entre segments phonologiques et graphémiques ait eu lieu. La PO s'effectue ici par assemblage.

Les deux cas ci-dessus opposent la récupération directe en mémoire à la construction (ou invention ; Ehri, 1997) de l'orthographe d'un item. Toutefois, des situations intermédiaires existent, qui participent des deux possibilités. Ainsi, il est possible de transcrire un item en se référant partiellement à un mot disponible en mémoire. Une telle situation relève à la fois de la récupération en mémoire et de la construction : le mot connu est segmenté de manière à en conserver (au moins) une partie et ce qui subsiste de l'item à transcrire fait l'objet d'une ou plusieurs autres segmentations jusqu'à ce que l'item entier soit écrit. Cet item est traité à la fois par adressage et assemblage.

La PO des mots et mots potentiels mobiliserait donc deux procédures, l'une lexicale, l'autre sous-lexicale. Cette dernière pourrait porter sur des segments de tailles variables – graphonème associant un phonème et un graphème, bigrammes, trigrammes, voire morphèmes – dépendant du niveau d'expertise des individus. Certains vont même jusqu'à considérer que les mots ne sont pas stockés en mémoire mais sont en quelque sorte reconstitués à partir des unités sous-lexicales. Les données neuropsychologiques et celles recueillies auprès d'adultes sains et d'enfants attestent l'intervention de processus sous-lexicaux (Rey et coll., 2000 ; Bonin, 2003). Une question délicate a trait à la coordination en temps réel des apports respectifs des dimensions lexicale et sous-lexicale (Bonin et coll., 2001).

La conception dominante de la PO permet d'envisager plusieurs sources potentielles de difficultés. Les représentations lexicales elles-mêmes peuvent être erronées ou simplement imprécises (Perfetti, 1992), suffisantes pour lire mais non pour écrire. Les processus d'accès sont susceptibles d'être affectés, par exemple par une trop grande lenteur ou par l'inattention. Ces facteurs interviennent peut-être différemment sur les voies lexicale et sous-lexicale, conduisant à des types différents de performance. Les mémoires temporaires, phonologique ou graphémique, imposent des limites fortes aux nombre,

taille et durée du maintien des informations. Enfin, les processus dits périphériques qui assurent la sortie motrice – écriture (minuscule, majuscule…), épellation orale, dactylographie – imposent leurs propres contraintes, dont le coût peut rejaillir sur les performances en PO. Cette description sommaire éclaire la nature des épreuves utilisées (ou qui devraient l'être) pour dresser un bilan des performances en PO : épreuves testant les voies lexicale et sous-lexicale, en perception et en production ; épreuves de vitesse de réaction, de dénomination, d'écriture ; épreuves évaluant les capacités de mémoire temporaire...

Manifestations des troubles

Rares sont les études portant systématiquement sur les erreurs commises, leur fréquence et leurs caractéristiques. En particulier, à notre connaissance, seuls Lucci et Millet (1994) ont abordé la question de la production orthographique chez l'adulte tout-venant en décrivant soigneusement (mais encore partiellement) les erreurs les plus fréquentes. Bien que très différentes dans l'esprit et portant sur une population d'enfants, les données rapportées par Pothier et Pothier (2003) fournissent elles aussi une source précieuse d'informations, portant sur quelques 50 000 enfants de l'école élémentaire et 11 000 termes qui leur ont été dictés, permettant d'établir une échelle de difficulté. Le fait que seules les réussites soient rapportées, et non les erreurs commises, limite malheureusement l'exploitation potentielle de ces données. Le bilan de ces travaux, réalisés sans perspective normative, met clairement en évidence l'existence de « zones de fragilité » induisant en quelque sorte les erreurs. Il faudrait que les psycholinguistes reprennent ces données pour étudier les processus cognitifs contribuant à la survenue de ces erreurs.

Types d'erreurs

Les erreurs de PO se répartissent en quatre grandes catégories. Premièrement, certaines erreurs sont de type phonétique. La transcription effectuée ne permet pas, lorsqu'elle est relue, de retrouver la forme phonologique des mots. Par rapport à cette dernière, se manifestent des omissions, des substitutions ou des modifications de l'ordre des graphonèmes (« orde » pour « ordre » ; « pidon » pour « bidon » ; « sèche » pour « chaise » ; Girolami-Boulinier, 1984 ; Zesiger et de Parz, 1997). Ces erreurs sont particulièrement fréquentes chez les débutants. Elles se perpétuent aux niveaux scolaires supérieurs, mais leur fréquence diminue. Contrairement à ce que suggère l'intuition, la catégorisation des erreurs dans cet ensemble ne va pas de soi. Certaines formes orthographiques estimées non phonétiquement recevables par des auteurs sont acceptées par d'autres, cela de manière théoriquement justifiée (« *fegr* » refusé par Frith, 1980, comme transcription de « *finger* » est

accepté par Read, 1975). Ce constat fragilise une large partie des données (voir Moats, 1995 pour une classification précise en anglais) et a conduit les chercheurs à se référer non pas à la transcription adulte normée mais à celle d'individus de même niveau en lecture et/ou en PO.

Deuxièmement, d'autres erreurs sont phonétiquement acceptables mais ne respectent pas l'orthographe conventionnelle (Alegria et Mousty, 1996). Plusieurs distinctions ont été introduites parmi ces erreurs. Les unes portent sur des formes lexicales que rien, hormis la mémorisation, ne permet de transcrire par analogie ou en recourant à des régularités sous-lexicales (« foulard » ; « femme »). Les autres ne respectent pas des régularités dont on sait qu'elles sont précocement extraites et utilisées. Par exemple « achopper », probablement inconnu de nombreux enfants de l'école élémentaire, pourrait néanmoins être correctement orthographié par certains avec le doublet « pp » parce que celui-ci est fréquent dans la configuration « oppe » (Pacton et coll., 2001 ; Lehtonen et Bryant, 2005). D'autres au contraire ne s'appuieraient pas sur cette régularité, soit parce qu'ils ne l'ont pas acquise soit parce que sa mise en œuvre leur pose problème. Les erreurs phonétiquement acceptables sont relativement fréquentes, même chez les adultes, car elles reposent pour les premières sur des connaissances lexicales non toujours disponibles et, pour les secondes, sur des régularités probabilistes, qui ne peuvent donc être systématiquement appliquées.

Troisièmement, des erreurs peuvent être prévenues si des connaissances morphologiques sont disponibles et appliquées. Ainsi, le « -d » final de « retard » est « calculable » du fait des dérivations possibles. Les PO « retar » ou « retart » ou « retars » traduisent soit l'ignorance de cette dérivation soit l'absence de son exploitation. Ce type d'erreurs est à la fois spécifique des items (il est sensible aux effets de fréquence) mais aussi partiellement transférable : les apprenants peuvent l'étendre à des items pour lesquels les dérivations induisent des erreurs (numéro transcrit « numérot » par dérivation en « numéroter »). De telles erreurs, « positives », comme l'utilisation de pseudo-mots « dérivables » permettent d'évaluer la disponibilité et la productivité de la dérivation.

Quatrièmement, les erreurs d'accord, en genre et en nombre se manifestent soit par des omissions (« les table ») soit par des substitutions (« les tablent »). Elles surviennent normalement et fréquemment au cours de l'apprentissage (entre la 2e et la 4e primaires ; Totereau et coll., 1998) puis diminuent sans totalement disparaître, même chez l'adulte cultivé, notamment lorsque les noms ont des homophones verbaux (« timbre », « ferme »…) (Fayol et coll., 1994 ; Largy et coll., 1996).

Erreurs relevées dans les troubles de la production orthographique

Une importante question a concerné, d'une part, la fréquence des erreurs et, d'autre part, leur distribution chez les individus ayant un trouble de la PO.

Erreurs phonologiques

De manière générale, les enfants qui peinent à apprendre à lire présentent des habiletés phonologiques faibles (Bradley et Bryant, 1978). Comme l'écriture nécessite la segmentation des mots en phonèmes, on peut s'attendre à ce que la faiblesse phonologique se traduise encore plus dans la PO que dans la lecture. Les recherches abordant l'apprentissage de l'orthographe confirment l'impact de la conscience phonologique : celle-ci prédit la performance orthographique mieux qu'elle ne prédit la performance en lecture (Perin, 1983). Elle a même un poids plus important que la lecture dans le développement précoce de l'orthographe. Les données portant sur les élèves plus âgés vont dans le même sens. Les faibles en orthographe (FO) de cinquième année primaire, appariés à la fois à des groupes de même âge chronologique et de même niveau orthographique (donc plus jeunes), manifestent une conscience phonologique plus faible que les autres et des performances plus faibles en orthographe, notamment de mots réguliers et de pseudo-mots. Ils commettent aussi plus d'erreurs attestant d'inexactitudes phonologiques (Rohl et Tunmer, 1988).

Si l'écriture s'appuie sur la phonologie, le niveau en orthographe des enfants dyslexiques devrait être approximativement le même que celui des enfants qui leur sont appariés sur le niveau phonologique. Bruck et Treiman (1990) puis Cassar et coll. (2005) ont confirmé que les dyslexiques et les enfants plus jeunes ont des performances très proches en segmentation et en ce qui concerne la fréquence et la nature des erreurs.

Les travaux portant sur les adultes faibles en orthographe (FO) ont détecté chez beaucoup d'entre eux, mais pas chez tous (Holmes et Castles, 2001) des déficits d'ordre phonologique (Bruck et Waters, 1990 ; Burden, 1992). Cette thèse est étayée par le constat que les individus ayant une histoire de dyslexiques restent FO, même lorsqu'ils ont dominé ou compensé leurs difficultés de lecture. Leurs représentations orthographiques seraient suffisantes pour leur permettre de lire à partir d'indices partiels, mais elles rendraient très difficile voire impossible une production orthographique parfaite (Holmes et Carruthers, 1998 ; Poncelet et coll., 2003).

Erreurs orthographiques

Il se pourrait que les dyslexiques compensent leur faiblesse phonologique en s'appuyant plus que les tout-venant sur les caractéristiques orthographiques des items. Leurs performances orthographiques devraient alors être supérieures à celles attendues compte tenu de leur niveau phonologique. La plupart des travaux montrent que les performances des dyslexiques en orthographe correspondent à celles de leur niveau phonologique (Nelson, 1980 ; Moats, 1983 ; Pennington et coll., 1986). Ils possèdent des connaissances orthographiques relatives aux mots et aux lettres qui sont au moins du niveau de leur capacité de lecture et d'écriture (Bourassa et Treiman, 2003). Toutefois, leurs performances dans les tâches phonologiques ne sont pas influencées par les

connaissances orthographiques comme le sont celles des tout-venant (Bruck, 1992 ; Landerl et coll., 1996). Certains résultats, notamment chez les sujets plus âgés, rapportent un niveau supérieur en orthographe (Olson et coll., 1985 ; Manis et coll., 1993 ; Siegel et coll., 1995), qui pourrait être lié à la durée de la pratique de l'écrit. Les données issues des études de cas neuropsychologiques attestent l'existence d'individus, adultes mais aussi enfants présentant des atteintes spécifiques de la PO sans pour autant manifester de troubles de la phonologie (Moats, 1995 ; Temple, 1997). Il se pourrait que certains parviennent à mémoriser des configurations de lettres sans transiter par la phonologie, et à manifester ainsi des effets de régularité orthographique. L'utilisation d'épreuves de choix orthographiques (choisir entre « filv » et « fild » ou entre « fkan » et « flan » le pseudo-mot qui pourrait être un mot anglais ; Majeres, 2005 ; Siegel et coll., 1995) tend à montrer que les performances orthographiques des dyslexiques ou des FO sont supérieures à ce que laisse attendre leur niveau aux épreuves phonologiques. Toutefois, les caractéristiques du matériel, notamment le fait que de nombreuses séquences sont illégales (« fkan ») conduit à s'interroger sur les résultats.

Les données n'étayent pour l'instant pas clairement la thèse selon laquelle les dyslexiques compenseraient leur déficit phonologique en faisant plus que les autres référence à l'orthographe. Il se pourrait toutefois qu'ils le fassent d'autant plus que leur habileté et leur expérience orthographiques augmentent.

Erreurs morphologiques

Il est clair que la phonologie joue un rôle fondamental mais qu'elle ne suffit pas à assurer l'apprentissage de la PO. Les conventions orthographiques doivent également être acquises et posent des problèmes spécifiques. Une partie de ceux-ci provient de ce que des formes phonologiquement semblables (« e » en français) peuvent se transcrire de différentes manières (« é » (és, ée, ées), « er », « et »…). Trouver la forme seule acceptable peut dépendre de règles morphologiques, relatives à la dérivation (« poulet » ; « poulette ») ou à la flexion (« ils ont chanté » *versus* « ils vont chanter »). De là l'intérêt (encore modeste) porté à l'acquisition de la morphologie, à l'évolution de la conscience morphologique (Muter et Snowling, 1997 ; Sénéchal, 2000) et à la mobilisation de ces connaissances en PE et PO. Les données les plus nombreuses et précises relèvent de la morphologie flexionnelle, notamment des accords en nombre du nom et de l'écriture du prétérite en anglais. La découverte que la morphologie régit l'écriture demande du temps aux enfants (Waters et coll., 1984 ; Carlisle, 1988). Certains adultes faibles scripteurs peuvent même ne jamais parvenir à la maîtrise de cette dimension de l'écrit (Waters et coll., 1984). Des élèves de la troisième à la sixième année primaire ont des difficultés à écrire « *sign* » alors que le rapprochement de « signal » permet cette transcription. Sterling (1983) rapporte des erreurs de même type chez des élèves de 12 ans, écrivant « *closlay* » au lieu de

« *closely* ». Ils ne mettent pas en relation *close* et *closely*. Plusieurs auteurs ont noté que la connaissance de la morphologie et son emploi à l'oral ne garantissent pas sa mise en œuvre en PE, particulièrement chez les FL. Smith-Lock (1991) rapporte ainsi que des élèves de deuxième primaire tous capables d'utiliser sans erreur la morphologie en production orale omettaient les inflexions en PE, cela d'autant plus qu'ils étaient FL. Hauervas et Walker (2003) confirment ce résultat. Ils comparent les performances en PO chez des élèves de la 6e à la 8e années scolaires présentant des déficits en lecture et PO à celles de normolecteurs de 2e et 3e années primaires. Tous ont des performances verbales orales normales. Dans une épreuve nécessitant d'accorder les verbes soit présentés isolément soit insérés dans des phrases, les élèves déficitaires omettaient les inflexions, mais significativement plus fréquemment lorsque ces verbes étaient en contexte (17 %) qu'isolés (7 %). Ces résultats suggèrent que la disponibilité de connaissances morphologiques ne suffit pas à assurer leur mise en œuvre, celle-ci variant de manière complexe en fonction des tâches à effectuer (Carlisle, 1987).

Au total, les erreurs en PO relevées chez les FO correspondent à celles qu'on rencontre chez des élèves plus jeunes appariés sur le niveau de lecture et d'orthographe, au moins en ce qui concerne les erreurs de type phonologique (Invernizzi et Worthy, 1989 ; Treiman et Bourassa, 2000). Cette conclusion est moins assurée relativement aux erreurs portant sur les conventions orthographiques. Il n'est pas exclu que la pratique de la lecture permette à certains individus d'acquérir des patrons orthographiques de niveau supérieur à celui que laisse attendre leurs performances phonologiques (Lennox et Siegel, 1996 ; Bourassa et Treiman, 2003). Enfin, les (rares) données portant sur la morphologie flexionnelle suggèrent que les erreurs, presque toujours des omissions, tiennent aux conditions de mise en œuvre plus qu'à des méconnaissances de marques ou de conditions d'emploi de celles-ci.

Comorbidité

À notre connaissance, aucune étude n'a jamais étudié la prévalence des troubles de la PO (ou de la PE) indépendamment de ceux de la lecture (dyslexie). En conséquence, pratiquement tous les travaux postulent implicitement le caractère indissociable des troubles de la PO et de ceux de la lecture. C'est si vrai que Frith (1980 et 1985) peut évoquer les « *unexpectedly poor spellers* » : c'est l'existence même d'un groupe dans lequel les performances en PO ne sont pas aussi bonnes que celles relevées en lecture qui est inattendue. En d'autres termes, même si quelques études de cas neuropsychologiques rapportent des atteintes en PO sans troubles de la lecture, toutes les recherches portant sur l'apprentissage et le développement considèrent que les troubles de la PO sont systématiquement associés à ceux de la lecture, et notamment à la dyslexie.

La question de la comorbidité avec les troubles du langage est, elle aussi, presque toujours envisagée en relation avec la lecture. Nous ne reprenons donc pas ici ce qui est abordé dans le chapitre consacré à la dyslexie. Le seul sous-domaine dans lequel la question des relations entre performances à l'oral et à l'écrit ait été soulevée de manière plus explicite relativement à la PO a trait à la morphologie. Windsor et coll. (2000) ont cherché à établir si les erreurs rencontrées en production orale par les enfants présentant au cours de la période préscolaire des troubles spécifiques du langage (*Language Learning Disabled*, LLD) se retrouvaient encore au cours de leur scolarité élémentaire, à l'oral comme à l'écrit. Les erreurs étudiées portaient sur la morphologie du verbe (prétérit) et du nom (pluriel) ainsi que sur la copule (*to be*). Au total, 20 enfants LLD de 11 ans et 5 mois présentant globalement 2 ans de retard en langage (au moins un écart-type inférieur en production et pour certains un écart-type en réception) ont été appariés sur l'âge (groupe témoin âge : 20 enfants de 11 ans et 6 mois), sur le niveau de langage (groupe témoin langage ; 20 enfants de 8 ans et 11 mois) ainsi que sur le sexe et le statut socioéconomique. Tous ces enfants produisaient chacun quatre textes, deux à l'oral, deux à l'écrit, une narration et une description. Les productions (4 688 énoncés à l'oral contre 2 430 à l'écrit) ont été transcrites et cotées en ce qui concerne les accords des noms et des verbes. À l'oral, les erreurs de morphologie portant sur les noms et les verbes étaient proches de zéro, chez les « tout-venant », groupe témoin âge et groupe temoin langage, comme chez les LLD. À l'écrit, les choses étaient très différentes. Les erreurs – toutes des omissions – étaient plus nombreuses dans les trois groupes. Mais la différence était surtout importante chez les LLD et plus élevée avec les verbes qu'avec les noms. Ces données recoupent celles de Hauervas et Walker (2003). Elles suggèrent que les difficultés rencontrées initialement à l'oral par les LLD sont devenues inapparentes : les enfants connaissent les marques, leurs conditions d'utilisation et savent les mobiliser à bon escient. Pourtant, lorsque la tâche devient plus difficile, notamment en PE, les mêmes erreurs ré-apparaissent, essentiellement des omissions, pour lesquelles la méconnaissance des marques, des règles ou des conditions ne peut être invoquée. Il faut probablement chercher en direction des mécanismes de l'attention ou de la mémoire de travail pour tenter de rendre compte de ces résultats. Il reste que ces derniers conduisent à soupçonner, mais encore de manière limitée, une comorbidité entre troubles de la morphologie à l'oral et à l'écrit.

Quelques travaux rapportent des comorbidités plus spécifiques, parfois difficiles à interpréter du fait de flottements dans les dénominations. Ainsi, Shalev et coll. (1998) ont suivi pendant six ans (du 5e au 11e grades) 140 dyscalculiques d'intelligence normale (QI>80), en évaluant à trois reprises leurs performances en calcul, lecture et écriture. Ces auteurs rapportent que la persistance de la dyscalculie (le fait d'avoir des performances à un niveau n qui justifient d'être considéré comme dyscalculique alors qu'on l'était déjà à un niveau n-1) est associée à un faible QI, à l'inattention, mais

aussi à une faible performance en écriture. Shalev et coll. (1998) évoquent la possibilité que l'association de l'écriture avec les troubles arithmétiques tienne à un facteur commun : l'inattention. Malheureusement, les recherches portant sur la relation entre écriture et attention d'une part ou entre PO et attention d'autre part sont rares même si l'existence d'une telle liaison est signalée par Bouvard et coll. (2002). Toutefois, la formulation de Shalev et coll. (1998) est ambiguë. Le terme *writing* est utilisé dans le résumé et les tableaux, mais le terme *spelling* apparaît dans le corps du texte : il est difficile de déterminer si l'évaluation porte sur la PE ou la PO faute de disposer des épreuves. Or la question n'est pas inutile.

Siegel et Feldman (1983), et plus précisément, Ostad (1998), observent une comorbidité entre troubles de l'arithmétique (*mathematics difficulties*, MD) et troubles de l'orthographe (*spelling difficulties*, SD). Environ 50 % des MD présentent des difficultés en PO. La comorbidité s'élèverait à 4-6,5 % de la population scolaire. La mise en relation avec les performances au WISC-R (*Weschler Intelligence Screening*) suggère que la capacité cognitive générale pourrait en partie, mais pas totalement, expliquer cette comorbidité. Siegel et Feldman évoquent les troubles de la coordination mains-yeux pour rendre compte de la présence de troubles conjoints en arithmétique et PO.

S'il n'est pas exclu qu'un facteur général, le QI ou l'attention, intervienne dans la survenue de comorbidités entre écriture ou orthographe et arithmétique, notamment parce que, comme le souligne Ostad, ces activités mobilisent à la fois des procédures et des faits mémorisés et donc, sont susceptibles d'être conjointement affectées lorsqu'une de ces deux dimensions pose problème. Toutefois, la littérature rapporte que des troubles de l'arithmétique peuvent être associés à des troubles de l'écriture (dysgraphie), de la latéralité et des gnosies digitales dans le syndrome de Gerstmann (1940). Il n'est pas exclu que cette association existe aussi chez le tout-venant et qu'elle se manifeste dans des troubles de moindre intensité que le syndrome de Gerstmann.

Au total, la comorbidité des troubles de la PO avec ceux de la lecture (dyslexie) est considérée comme allant de soi. Les choses sont moins claires avec le langage oral, mais là encore c'est par le biais de la dyslexie que s'établirait le lien. Par contraste, les associations avec l'écriture d'une part et le calcul d'autre part ne peuvent sans doute pas s'expliquer de la même manière. L'intervention de facteurs généraux (QI, attention) est possible, mais également celle de facteurs spécifiques, tels ceux impliqués dans le syndrome de Gerstmann.

Héritabilité

Peu d'études ont envisagé la question de l'héritabilité des troubles de la PO en la distinguant de celle de la dyslexie. Pourtant, la question se pose du fait

que, même si les capacités phonologiques et les capacités orthographiques sont fortement corrélées, notamment chez l'enfant, elles sont aussi dissociables. Les variations des capacités orthographiques ne peuvent entièrement s'expliquer par celles des capacités phonologiques. Ce constat justifie que Shulte-Körne (2001) ait conduit la seule investigation d'envergure portant sur l'héritabilité comparée de la dyslexie et des troubles de la PO sur les mêmes individus et en s'appuyant sur les données issues de recherches portant sur les familles, les jumeaux et les études moléculaires.

Les études de familles montrent que la probabilité de présenter une dyslexie est plus élevée lorsqu'un parent a ce trouble, encore plus si les deux le présentent. Les probabilités seraient les mêmes pour la lecture et pour l'orthographe. Les études des jumeaux sur la cohorte de Londres (Stevenson et coll., 1987) rapportent que l'héritabilité des troubles de l'orthographe est de 0,53 et qu'elle atteint 0,75 quand l'intelligence est contrôlée. Ainsi, ajoutées à celles de la cohorte du Colorado, on en arrive à considérer que 50 à 60 % des performances en lecture et orthographe seraient expliquées par les facteurs génétiques. Les contributions respectives des facteurs phonologiques (évalués par la lecture de pseudo-mots), conscience phonologique (segmentation et délétion de phonèmes) et orthographe (choix de l'orthographe exacte des mots ; « rane » et « rain ») ont été évaluées. Olson et coll. (1994) rapportent une héritabilité à la fois en phonologie, conscience phonologique et orthographe. Il reste qu'une part importante de la variance dépend de facteurs environnementaux. Les études moléculaires suggèrent l'implication de deux chromosomes : 6 (en lecture et écriture, mais sans qu'on sache comment il intervient), et surtout 15, notamment avec les troubles de l'orthographe (Nöthen et coll., 1999).

En conclusion, alors que l'orthographe est socialement valorisée et défendue, peu d'études approfondies existent sur les difficultés qu'elle soulève et sur les troubles qui l'affectent. En l'absence de données précises portant sur les erreurs commises par le tout-venant des enfants ou des adultes, il est difficile de déterminer dans quelle mesure le nombre et la nature des erreurs relèvent de performances normales nécessitant par exemple une pratique plus fréquente et régulière de certains exercices ou, au contraire conduisent à soupçonner un trouble nécessitant alors une prise en charge spécifique. C'est peut-être là que réside la cause de l'absence de toute étude de prévalence des troubles d'apprentissage de l'orthographe et celle de l'étude presque systématiquement conjointe des troubles de la lecture et de la production orthographique.

En d'autres termes, il apparaît urgent de développer des recherches portant sur l'apprentissage de l'orthographe, dans les perspectives longitudinale et transversale, prenant en compte les enseignements et entraînements dispensés. Ces recherches devraient aborder la question de l'acquisition de l'ortho-

graphe lexicale, sans doute le domaine le plus méconnu quant aux déterminants des réussites et des échecs. Elles devraient aussi traiter de l'apprentissage et de la mise en œuvre des morphologies dérivationnelle (« chat » ; « chatte » ; « grand » ; « grande ») et flexionnelle (participe passé *versus* infinitif ; accords en genre et en nombre des noms et adjectifs). Là encore, les enseignements dispensés devraient être contrôlés et leur impact soigneusement étudié, à court et à moyen termes.

Si l'on admet que l'orthographe du français doit rester ce qu'elle est, et donc qu'elle continuera à présenter les difficultés d'apprentissage que l'on sait, alors il convient de se donner les moyens, d'une part, d'étudier quelles approches seraient les plus efficaces pour assurer à la plupart des enfants la maîtrise de leur système orthographique et, d'autre part, de construire des instruments de dépistage et d'intervention visant les populations susceptibles de présenter des troubles.

BIBLIOGRAPHIE

ALAMARGOT D, CHANQUOY L. Through the models of writing. Kluwer Academic Publishers Dordrecht, Boston, New York, 2001

ALEGRIA J, MOUSTY P. On the development of lexical and non-lexical spelling procedures of french speaking, normal and disabled children. *In* : Handbook of spelling. BROWN GDA, ELLIS NC (eds). Chichester, USA, John Wiley and sons, 1996 : 211-227

BERNINGER VW, RICHARDS TL. Brain literacy for educators and psychologists. Academic Press, San Diego, CA, 2002

BONIN P, PEEREMAN R, FAYOL M. Do phonological codes constraint the selection of orthographic codes in written picture naming? *Journal of Memory and Language* 2001, **45** : 688-720

BONIN P. La production verbale de mots. De Boeck, Bruxelles, 2003

BOSMAN AMT, VAN ORDEN GC. Why spelling is more difficult than reading. *In* : Learning to spell. PERFETTI CA, RIEBEN L, FAYOL M (eds). Mahwah, NJ, Lawrence Erlbaum Associates, 1997 : 173-194

BOURASSA D, TREIMAN R. Spelling in children with dyslexia: Analyses from the Treiman–Bourassa Early Spelling Test. *Scientific Studies of Reading* 2003, **7** : 309–333

BOURDIN B, FAYOL M. Even in adults, written production is still more costly than oral production. *International Journal of Psychology* 2002, **37** : 219-222

BOURDIN B, FAYOL M. Is written production more difficult than oral production: A working memory approach. *International Journal of Psychology* 1994, **29** : 591-620

BOUVARD M, LE HEUZEY MF, MOUREN-SIMEONI MC. L'hyperactivité de l'enfance à l'âge adulte. Doin, Paris, 2002

BRADLEY L, BRYANT PE. Difficulties in auditory organisation as a possible cause of reading backwardness. *Nature* 1978, **271** : 746–747

BRUCK M. Persistence of dyslexics' phonological awareness deficits. *Developmental Psychology* 1992, **28** : 874–886

BRUCK M, TREIMAN R. Phonological awareness and spelling in normal children and dyslexics: The case of initial consonant clusters. *Journal of Experimental Child Psychology* 1990, **50** :156–178

BRUCK M, WATERS G. Ananalysis of the component spelling skills of good readers poor spellers. *Applied Psycholinguistics* 1990, **11** : 425-437

BURDEN V. Why are some normal readers such poor spellers? *In* : Psychology, spelling, and education. STERLING CM, ROBSON C (eds). Clevedon, UK, Multilingual Matters, 1992

CARLISLE JF. The use of morphological knowledge in spelling derived forms by learning-disabled and normal students. *Annals of Dyslexia* 1987, **37** : 90-108

CARLISLE JF. Knowledge of derivational morphology and spelling ability in fourth, sixth and eighth graders. *Applied Psycholinguistics* 1988, **9** : 247-266

CASSAR M, TREIMAN R, MOATS L, POLLO TC, KESSLER B. How do the spelling of children with dyslexia compare with those on nondyslexic children. *Reading and Writing* 2005, **18** : 27-49

CASTALDO S, ELLIS N. Interactions in the development of spelling, reading and phonological skills. *Journal of Research in Reading* 1988, **11** : 86-109

CATACH N. L'orthographe française. Traité théorique et pratique. Paris, Nathan, 1986

EHRI LC. Learning to read and learning to spell are one and the same, almost. *In* : Learning to spell. PERFETTI C, RIEBEN L, FAYOL M (eds). Mahwah, NJ, Lawrence Erlbaum, 1997 : 237-269

FAYOL M, LARGY P, LEMAIRE P. Subject- verb agreeement errors in French. *Quarterly Journal of Experimental Psychology* 1994, **47A** : 437-464

FAYOL M. L'apprentissage de l'accord en genre et en nombre en Français écrit. Connaissances déclaratives et connaissances procédurales. Faits de Langue, 2002a

FAYOL M. La production du langage. Hermès, Paris, 2002b

FAYOL M. La production du langage. Paris, Hermès, 2002

FRITH U. Beneath the surface of dyslexia. *In* : Surface dyslexia : Neuropsychological and cognitive studies of phonological reading. PATTERSON KE, MARSHALL JC, COLTHEART M (eds). Hillsdale, NJ, Lawrence Erlbaum, 1985 : 301-330

FRITH U. Unexpected spelling problems. *In* : Cognitive processes in spelling. FRITH U (ed). Academic Press, London, 1980

GERNSBACHER MA. Handbook of psycholinguistics. New York, Academic Press, 1994

GERSTMANN J. Syndrome of finger agnosia, disorientation for right and left, agraphia, and acalculia. *Archives of Neurology and Psychiatry* 1940, **44** : 398-408

GIROLAMI-BOULINIER A. Les niveaux actuels dans la pratique du langage oral et écrit. Paris, Masson, 1984

HAUERWAS LB, WALKER J. Spelling of inflected verb morphology in children with spelling deficits. *Learning Disabilities Research and Practice* 2003, **18** : 25-35

HOLMES VM, CARRUTHERS J. The relation between reading and spelling in skilled adult readers. *Journal of Memory and Language* 1998, **39** : 264-289

HOLMES VM, CASTLES AE. Unexpectedly poor spelling in university students. *Scientific Studies of Reading* 2001, **5** : 319-350

HULME C, JOSHI RM. Reading and spelling. Developement and disorders. Mahwah, NJ, Lawrence Erlbaum, 1998

INVERNIZZI M, WORTHY MJ. An orthographic-specific comparison of the spelling errors of learning disabled and normal children across four grade levels of spelling achievement. *Reading Psychology* 1989, **10** : 173–188

LANDERL K, FRITH U, WIMMER H. Intrusion of orthographic knowledge on phoneme awareness: strong in normal readers, weak in dyslexic children. *Applied Psycholinguistics* 1996, **17** : 1-14

LARGY P, FAYOL M, LEMAIRE P. The homophone effect in written French: The case of verb-noun inflection errors. *Language and Cognitive Processes* 1996, **11** : 217-255

LEHTONEN A, BRYANT P. Doublet challenge : Form comes before function in children's understading of their orthography. *Developmental Science* 2005, **8** : 211-221

LENNOX C, SIEGEL LS. The development of phonological rules and visual strategies in average and poor spellers. *Journal of Experimental child Psychology* 1996, **62** : 60-83

LUCCI V, MILLET A. L'orthographe de tous les jours. Champion, Paris, 1994

LUSSIER F, FLESSAS J. Neuropsychologie de l'enfant. Paris, Dunod, 2001

MAJERES RL. Phonological and orthographic coding skills in adult readers. *The Journal of Genetic Psychology* 2005, **132** : 267-280

MANIS FR, SEIDENBERG MS, DOI LM, MCBRIDGE-CHANG C, PETERSEN A. On the basis of two subtypes of developmental dyslexia. *Cognition* 1993, **58** : 157-195

MARGOLIN DI. The neuropsychology of writing and spelling: Semantic, phonological, motor and perceptual processes. *Quarterly journal of Experimental Psychology* 1984, **34** : 459-489

MOATS LC. A comparison of the spelling errors of older dyslexic and second-grade normal children. *Annals of Dyslexia* 1983, **33** : 121–140

MOATS LC. Spelling. Development, disbility, and instruction. Timonium, MA, York Press, 1995

MUTER V, SNOWLING M. Grammar and phonology predict spelling in middle childhood. *Reading and Writing* 1997, **9** : 407-425

NELSON HE. Analysis of spelling errors in normal and dyslexic children. *In* : Cognitive processes in spelling. FRITH U (ed). Academic Press, London, 1980 : 475–493

NOTHEN MM, SCHULTE-KORNE G, GRIMM T, CICHON S, VOGT IR, et coll. Genetic linkage analysis with dyslexia: evidence for linkage of spelling disability to chromosome 15. *Eur Child Adolesc Psychiatry* 1999, **8** : 56-9

OLIVE T, LEVY CM. Contemporary tools and techniques for studying writing. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, 2002

OLSON R, FORSBERG H, WISE B. Genes, environment, and the development of orthographic skills. *In* : The varieties of orthographic knowledge. Theoretical and developmental issues. BERNINGER VW (ed). Dordrecht, the Netherland, Kluwer Academic 1994 : 27-71

OLSON RK, KLIEGEL R, DAVIDSON BJ, FOLTZ G. Individual and developmental differences in reading disability. *In* : Reading Research: Advances in Theory and Practice. MACKINNON GE, WALLER TG (eds). Vol 4, Academic Press, New York, 1985 : 1-64

OSTAD SE. Comorbidity between mathematics and spelling difficulties. *Logopedics Phoniatrics Vocology* 1998, **23** : 145–154

PACTON S, PERRUCHET P, FAYOL M, CLEEREMANS A. Implicit learning out of the lab: The case of orthographic regularities. *Journal of Experimental Psychology General* 2001, **130** : 401-426

PENNINGTON BF, MCCABE LL, SMITH SD, LEFLY DL, BOOKMAN, MO, et coll. Spelling errors in adults with a form of familial dyslexia. *Child Development* 1986, **57** : 1001-1013

PERFETTI C, RIEBEN L, FAYOL M. Learning to spell. Lawrence Erlbaum Ass, Mahwah, NJ, 1997

PERFETTI CA. The representation problem in reading acquisition. *In* : Reading acquisition. GOUGH PB, EHRI LC, TREIMAN R (eds). Erlbaum, Hillsdale, NJ, 1992 : 145–174

PERIN D. Phonemic segmentation in spelling. *British Journal of Psychology* 1983, **74** : 129-144

PONCELET M, SCHYNS T, MAJERUS S. Further evidence for persisting difficulties in orthographic learning in highly educated adults with a history of developmental dyslexia. *Brain and Language* 2003, **87** : 145-146

POTHIER B, POTHIER P. Échelle d'acquisition de l'orthographe. Paris, Retz, 2003

READ C. Children's categotization of speech sounds in english. Urbana-Champaign, IL, National Council of Teachers of English, 1975

REY A, ZIEGLER J, JACOBS AM. Graphemes are perceptual reading units. *Cognition* 2000, **74** : 1-12

ROHL M, TUNMER WE. Phonemic segmentation skill and spelling acquisition. *Applied Psycholinguistics* 1988, **9** : 335-350

SCHULTE-KÖRNE G. Annotation : Genetics of reading and spelling disorders. *Journal of Child Psychology and Psychiatry* 2001, **42** : 985-997

SÉNÉCHAL M. Morphological effects in children's spelling of french words. *Canadian Journal of Experimental Psychology* 2000, **54** : 76-85

SHALEV RS, MANOR O, AUERBACH J, GROSS-TSUR V. Persistence of developmental dyscalculia : What counts ? *Journal of Pediatrics* 1998, **133** : 358-362

SIEGEL LS, FELDMAN W. Nondyslexic children with combined writing and arithmetic difficulties. *Clinical Pediatrics* 1983, **22** : 241-244

SIEGEL LS, SHARE D, GEVA E. Evidence for superior orthographic skills in dyslexics. *Psychological Science* 1995, **6** : 250–254

SIEGEL LS. The modularity of reading and spelling : Evidence from hyperlexia. *In* : Handbook of spelling. BROWN GDA, ELLIS NC (eds). Chichester, USA, John Wiley and sons, 1994 : 227-248

SIMON DP, SIMON HA. Alternative uses of phonemic information in spelling. *Review of Educational Research* 1973, **43** : 115-137

SMITH-LOCK KM. Errors of inflection in the writing of normal and poor readers. *Language and Speech* 1991, **34** : 341-350

STERLING CM. Spelling errors in context. *British Journal of Psychology* 1983, **74** : 353-364

STEVENSON J, GRAHAM P, FREDMAN G, MCLOUGHLIN V. A twin study of genetic influences on reading and spelling ability and disability. *J Child Psychol Psychiatry* 1987, **28** : 229-247

TEMPLE C. Developmental cognitive neuropsychology. Psychology Press, London, 1997

TOTEREAU C, BARROUILLET P, FAYOL M. Overgeneralizations of number inflections in the learning of written French: The case of nouns and verbs. *British Journal of Developmental Psychology* 1998, **16** : 447-464

TREIMAN R, BOURASSA DC. The development of spelling skill. *Topics in Language Disorders* 2000, **20** : 1-18

WATERS GS, SEIDENBERG MS, BRUCK M. Children's and adults'use of spelling sound information in three reading tasks. *Memory and Cogntiion* 1984, **12** : 293-305

WINDSOR J, SCOTT CM, STREET CK. Verb and noun morphology in the spoken and written language of children with language learning disabilities. *J Speech Lang Hear Res* 2000, **43** : 1322-1336

ZESIGER P, DE PARTZ MP. The cognitive neuropsychology of spelling. *In* : Learning to spell. PERFETTI CA, RIEBEN L, FAYOL M (eds). Mahwah, NJ, Erlbaum, 1997

11

Dyscalculie et troubles de l'apprentissage de l'arithmétique

Ce chapitre recense les études ayant trait aux troubles des apprentissages affectant les activités numériques connus sous le nom de dyscalculie. Une recension totalement exhaustive des études abordant ce sujet est probablement impossible pour plusieurs raisons. D'une part, comme nous le verrons, ces troubles sont désignés de plusieurs manières différentes, sans que les divers vocables recouvrent par ailleurs de réelles différences, ce qui rend l'exhaustivité difficile à atteindre. D'autre part, ces troubles intéressent un grand nombre de disciplines (didactique des mathématiques, sciences de l'éducation, psychologie, neuropsychologie, neurologie, psychiatrie, génétique) ne partageant pas les mêmes normes et habitudes de publication. Toutefois, nous nous sommes efforcés de recenser les travaux les plus importants dans le domaine et pensons y être parvenus. Parmi les troubles affectant les habiletés numériques, nous avons écarté les études portant sur les troubles acquis suite à des traumatismes, des lésions ou des dégénérescences pour nous concentrer sur les troubles dits développementaux affectant les apprentissages d'enfants réputés ne souffrir d'aucune atteinte organique identifiée. Toutefois, en raison de leur intérêt théorique et de l'éclairage qu'elles peuvent apporter à la compréhension de la dyscalculie de développement, nous mentionnerons les études portant sur la dyscalculie chez des enfants atteints de certaines maladies chromosomales ou syndromes neurologiques.

L'objectif de ce chapitre est de présenter l'état actuel de la recherche dans le domaine de la dyscalculie développementale en ce qui concerne la définition et les critères diagnostiques du trouble, la nature de ses manifestations, les facteurs causaux qui le sous-tendent, son évolution avec l'âge ainsi que ses liens avec d'autres troubles des apprentissages. Disons tout de suite que la recherche dans le domaine de la dyscalculie n'en est qu'à ses débuts et qu'elle est beaucoup moins avancée que ne l'est par exemple la recherche sur la dyslexie. La dyscalculie est ainsi fréquemment présentée comme un trouble négligé (Sutaria, 1985 ; Geary, 1993 et 1994 ; Noël, 2000 ; Van Hout, 2001 ; Butterworth, 2005) et nous tenterons dans la discussion d'en dégager les raisons.

Il n'existe pas de définition et encore moins de critères diagnostiques unanimement acceptés de la dyscalculie. Le terme même de dyscalculie n'est pas universellement utilisé pour désigner le trouble. Le terme de « dyscalculie de développement », introduit par Kosc (1974), est utilisé par Badian (1983), Shalev et Gross-Tsur (1993 et 2001) ainsi que par Butterworth (2005). D'autres auteurs parlent de difficultés en arithmétique (*arithmetic difficulties*) comme Lewis et coll. (1994) ou encore de troubles des apprentissages en mathématiques (*learning disabilities in mathematics*) comme Geary et Hoard (2005). Ce même auteur emploie souvent les termes de handicap en mathématiques (*mathematic disabilities*, MD, ou *mathematically disabled children*) de même que Rourke (*arithmetic disabilities*, Rourke, 1993) ou Silver et coll. (1999). Jordan emploie pour sa part le terme de difficultés en mathématiques (*mathematic difficulties*, Jordan et coll., 2003b). Ces auteurs parlent-ils de la même chose ? Pour Butterworth (2005), il convient de distinguer les études sur la dyscalculie développementale des études expérimentales sur les causes des difficultés d'apprentissage des mathématiques. En effet, les secondes adoptent comme limite d'inclusion, le 20e, le 25e, parfois le 35e centile sur des épreuves standardisées de mathématiques alors que les études de prévalence font état de 5 à 7 % d'enfants dyscalculiques. Toutefois, les études épidémiologiques portant sur la dyscalculie développementale utilisent elles aussi des épreuves de performance en arithmétique pour classer les individus, le taux de 5 à 7 % dépendant seulement de critères fixés a priori (par exemple, avoir deux ans de retard dans une échelle standardisée de performance).

Ceci est lié au fait que la définition usuelle de la dyscalculie est très grandement circulaire. Le premier, Kosc (1974) la définit comme « un trouble structurel des habiletés mathématiques dont l'origine est génétique ou liée à un problème congénital affectant les aires cérébrales qui sont le substrat anatomo-physiologique direct de la maturation des habiletés mathématiques sans trouble simultané des fonctions mentales plus générales ». Pour Temple (1992), il s'agit « d'un trouble des compétences numériques et des habiletés arithmétiques qui se manifeste chez des enfants d'intelligence normale qui ne présentent pas de déficits neurologiques acquis ». En dehors du fait que ces définitions écartent les problèmes liés à un faible niveau intellectuel ou à des troubles apparaissant suite à des problèmes de type neurologique venant perturber un développement jusque-là normal, le seul critère d'inclusion demeure la faiblesse des acquisitions numériques et arithmétiques. Conscient de ce problème et du fait que, dès lors, les problèmes de prévalence se résument à la définition de critères a priori, l'un d'inclusion portant sur le niveau de performance en arithmétique en dessous duquel on parlera de dyscalculie, l'autre d'exclusion portant sur un niveau intellectuel minimal requis (en terme de QI), Butterworth (2005) suggère une approche alternative reposant sur des critères qualitatifs et l'adoption de la définition proposée par le *UK Department for Education and Skills*. Selon cet organisme, la dyscalculie serait « un état qui affecte la capacité à acquérir des habiletés arithmétiques. Les élèves dyscalculiques peuvent avoir des difficultés à comprendre les concepts numériques simples, une

absence de compréhension intuitive des nombres, et ont des difficultés pour apprendre les faits numériques et les procédures. Même s'ils produisent la réponse correcte ou utilisent une méthode correcte, ce serait de manière mécanique et sans confiance en eux-mêmes ». Cette définition a le mérite de ne pas se limiter au symptôme (une difficulté d'apprentissage) mais d'aborder les causes (un état ou condition qui affecte les capacités d'apprentissage elles-mêmes). Toutefois, l'absence de confiance ou le caractère mécanique de la réponse, pour ne pas parler de la compréhension « intuitive » des « concepts » numériques, semblent bien difficiles à établir objectivement. Ainsi, nous considèrerons ici provisoirement que les travaux se rapportant aux *learning disabilities in mathematics* ou *mathematical disabilities* concernent la dyscalculie dans la mesure où il n'est pas établi que les populations visées par cette littérature diffèrent qualitativement de celles que d'autres auteurs désignent par le terme de dyscalculie développementale, toutes étudiant des enfants présentant des difficultés d'apprentissage de l'arithmétique et des performances nettement inférieures à la normale dans des épreuves standardisées. Il est en effet extrêmement fréquent que les études portant sur les *mathematical disabilities* prennent en compte l'intelligence des sujets, soit en en contrôlant les effets (Jordan et coll., 2003b), soit en excluant les enfants ayant des QI trop faibles (Geary et coll., 2004). En outre, ces études fournissent des données essentielles sur la nature des troubles, le plus souvent en fonction de l'existence ou non de troubles associés en lecture, données sans lesquelles il semble impossible de comprendre ce qu'est la dyscalculie et quels sont ses déterminants.

Une première partie sera consacrée aux données épidémiologiques concernant la prévalence dans la population générale et l'héritabilité du trouble, ainsi que les données concernant la comorbidité. Une seconde partie sera consacrée aux manifestations de la dyscalculie. Seront abordés les travaux relatifs à la nature des déficits observés, aux diverses classifications en sous-types qui ont été proposées (on verra qu'elles sont nombreuses), aux facteurs causaux qui ont été invoqués pour expliquer ces déficits et à leur évolution avec l'âge au cours de la scolarité. Cette seconde partie se terminera par l'évocation des toutes premières et récentes études sur les programmes de remédiation. Enfin, une conclusion synthétisera les points de consensus ainsi que les désaccords entre chercheurs concernant la dyscalculie.

Données épidémiologiques et prévalence

En ce qui concerne l'estimation de la prévalence de la dyscalculie dans la population scolaire, on dispose de cinq études ayant porté sur de larges populations. Il s'agit des études de Kosc (1974), Badian (1983), Lewis et coll. (1994), Gross-Tsur et coll. (1996) et Desoete et coll. (2004). L'étude d'Ostad (1998) parfois retenue parmi les études sur la prévalence est avant tout une étude sur la comorbidité entre troubles du calcul et de l'orthographe qui sera évoquée plus

loin. Comme l'indique le tableau 11.I, ces études font état d'un taux de prévalence allant de 3,6 à 7,7 %. Bien que ces différences puissent paraître mineures, elles ont de quoi frapper, de même d'ailleurs que certaines absences de différence. Par exemple, Badian (1983) observe approximativement le même taux de dyscalculiques que Gross-Tsur et coll. (1996), ce qui est fort étonnant : la première étude adopte en effet un critère d'inclusion laxiste (score inférieur au 20e percentile au *Stanford achievement test*) et pas de critère d'exclusion alors que la seconde adopte un critère d'inclusion plus strict (deux années de retard scolaire) auquel s'ajoute en outre un critère d'exclusion (QI inférieurs à 80). Kosc observe approximativement le même taux en utilisant un critère d'exclusion plus strict (QI inférieur à 90). Les taux observés par ces deux études sont proches de ceux relevés par Desoete et coll. (2004) qui utilisent un critère d'inclusion se rapprochant de celui de Shalev et coll. (1993) (2 écarts-types en dessous de la moyenne à un test standardisé) mais pas de critère d'exclusion. Si l'on compare deux des études les plus récentes qui sont les mieux contrôlées (Lewis et coll., 1994 ; Gross-Tsur et coll., 1996), la prévalence varie pratiquement du simple au double. Ceci est sans doute dû au fait que l'évaluation du niveau intellectuel des enfants par Gross-Tsur et coll. (1996) ne reflète pas leurs capacités réelles. En effet, sur une population de 3 029 enfants de CM1, les auteurs sélectionnent les 600 enfants les plus faibles en arithmétique parmi lesquels ils ne conservent que 188 enfants dont les scores à une batterie standardisée de tests mathématiques reflètent un retard de deux années scolaires. Parmi ces 188 enfants, 143 peuvent être vus pour des examens psychologiques complémentaires dont le test d'intelligence WISC-R (*Weschler Intelligence Screening*). On peut sans risque de se tromper penser qu'une telle population a toutes les chances de présenter un QI moyen inférieur à celui de la population générale. Or, le critère d'exclusion retenu par les auteurs (un QI inférieur à 80) les conduit à écarter 3 enfants seulement. Rappelons que dans une population tout-venant, les scores à la WISC-R ont par construction une moyenne de 100 et un écart-type de 15. Ceci signifie que la population testée par Gross-Tsur et coll. (1996) devrait contenir au moins 9 % d'enfants ayant un QI<80, ceci en considérant que l'intelligence et les performances en mathématiques sont deux variables indépendantes, ce qui n'est évidemment pas le cas. En d'autres termes, le taux d'enfants écartés par les auteurs est très nettement inférieur à ce qu'il devrait être et il est certain que le groupe d'enfants retenus comme dyscalculiques par Gross-Tsur et coll. (1996) contient un nombre important d'enfants dont le QI réel est inférieur à 80[25]. Ceci est probablement dû à l'utili-

25. Le QI moyen des 140 enfants finalement retenus par les auteurs serait de 98,2 (QI verbal 94,7 ; QI performance 102,4). Ces valeurs sont totalement non plausibles si l'on songe que seuls 3 enfants ont été écartés parmi les 143 les plus faibles en arithmétique dans une cohorte de quelques 3 000 enfants. Pour fixer les idées, le score standardisé moyen aux *Progressive Matrices* des enfants en difficulté en arithmétique identifiés par Lewis et coll. (1994) qui représentent les 11 % les plus faibles en arithmétique de la population étudiée est de 75,3, soit 27 points d'écart avec le score non verbal moyen de la WISC-R rapporté par Gross-Tsur et coll (1996).

sation d'un test d'intelligence dont l'étalonnage remontait à plus de 20 ans au moment de l'étude.

Le travail de Lewis et coll. (1994) ne peut souffrir de ce défaut dans la mesure où la population d'étude, compte tenu de son ampleur, est en même temps utilisée par les auteurs comme population d'étalonnage. Pour cela, les auteurs procèdent à une normalisation des scores bruts (m=10, σ=15) de 1 056 enfants de 9 à 10 ans à des épreuves d'arithmétique et de lecture, ainsi qu'à un test d'aptitude intellectuelle non verbale (les *Coloured Progressive Matrices* de Raven, CPM, considérées comme un test d'intelligence saturé en facteur g). Sont retenus comme présentant des difficultés spécifiques en arithmétique les enfants présentant un score normalisé inférieur à 85 (soit au moins un écart-type en dessous de la moyenne) avec des scores d'aptitude non verbale et de lecture au moins égaux à 90 (qui ne se trouvent pas dans le quartile le plus faible). Les auteurs identifient selon les mêmes principes les enfants présentant des difficultés spécifiques en lecture ainsi que ceux qui ont des difficultés dans les deux domaines alors que leur score d'aptitude non verbale est normal (au moins 90). Comme l'indique le tableau 11.I, cette procédure conduit à identifier 38 enfants sur 1 056 qui présentent des difficultés en arithmétique. Cependant, 63 % d'entre eux présentent aussi des difficultés en lecture, les enfants présentant des difficultés spécifiques en arithmétique étant 14, soit 1,3 % de la population totale. Ici encore, les résultats contrastent avec ceux de Gross-Tsur et coll. (1996) qui relevaient seulement 17 % d'enfants dyslexiques dans leur population de dyscalculiques avec toutefois un critère extrêmement conservateur puisque les enfants devaient avoir des performances en lecture inférieures au percentile 5 pour être considérés dyslexiques. Il est intéressant de remarquer que dans l'étude de Lewis et coll. (1994), les enfants qui présentent des difficultés spécifiques en lecture sont trois fois plus nombreux que ceux qui présentent des difficultés spécifiques en arithmétique. Ainsi, dans la population présentant des difficultés en lecture malgré un score normal aux CPM, 36 % seulement présentent aussi un trouble de l'arithmétique.

D'autres données, non analysées par Lewis et coll. (1994) mais disponibles dans l'article, présentent un intérêt particulier. Les auteurs donnent en effet les effectifs d'enfants qui ont des difficultés d'apprentissage accompagnées de faibles capacités non verbales (score CPM<90). Il est ainsi possible de calculer que 58 % des enfants présentant des difficultés spécifiques en arithmétique et 70 % des enfants présentant à la fois des difficultés en arithmétique et en lecture se révèlent avoir de faibles capacités aux CPM. À l'inverse, seuls 33% des enfants ayant des difficultés spécifiques en lecture (non accompagnées de difficultés en arithmétique) sont dans ce cas. Une indépendance totale des scores conduirait à un taux de 25 % d'enfants ayant moins de 90 aux CPM. Ainsi, les difficultés en arithmétique, qu'elles soient spécifiques ou non, tendent à être liées à de faibles scores à l'épreuve d'intel-

ligence retenue, alors que les difficultés spécifiques en lecture ne le sont pratiquement pas.

Ainsi, la conclusion de Gross-Tsur et coll. (1996) selon laquelle le nombre d'enfants affectés par la dyscalculie est comparable à celui des enfants atteints de dyslexie est loin d'être garantie. Il semble au contraire que les rapports décrivant la dyscalculie comme une difficulté d'apprentissage peu fréquente ou en tous cas moins fréquente que les troubles d'apprentissage de la lecture soient plus près de la vérité (O'Hare et coll., 1991 ; *American Psychiatric Association*, 2004).

Une autre différence apparaît entre les populations présentant des difficultés spécifiques en arithmétique et en lecture concernant le sexe des enfants. Alors que Lewis et coll. (1994) observent, conformément à ce que l'on sait de la dyslexie, que le *ratio* garçons/filles est de 3,2/1 en ce qui concerne les difficultés spécifiques en lecture, les enfants souffrant de déficits spécifiques en arithmétique sont équitablement répartis entre les sexes (*sex ratio* 1/1) de même que le sont les enfants présentant des difficultés en arithmétique et en lecture (*ratio* 0,8/1). Le même phénomène est observé par Gross-Tsur et coll. (1996) ainsi que par Von Aster (1994). On ne sait quel crédit doit être apporté à Badian (1983) qui observe pour sa part un *ratio* garçons/filles de 1,7/1 pour les troubles isolés de la lecture, 2,2/1 pour ceux du calcul et 3/1 pour des troubles en arithmétique et en lecture. Il est probable que la dyscalculie affecte aussi fréquemment les garçons que les filles. De manière peu surprenante, Gross-Tsur et coll. (1996) rapportent que les enfants atteints de dyscalculie sont en général issus de classes sociales moins favorisées que les autres.

Tableau 11.I : Caractéristiques et résultats des principales études de prévalence de la dyscalculie sur d'importantes populations d'enfants d'âge scolaire

Étude	N	Âges (années)	Critère d'inclusion	Critère d'exclusion	Dyscalculie (Taux en %)
Kosc, 1974	375	10-12	Batterie de tests *ad hoc*	QI < 90	6,4
Badian, 1983	1 476	7-14	Score < centile 20 *Stanford Achievement*	Aucun	6,4
Lewis et coll., 1994	1 056	9-10	Score standardisé < 85 *Group Mathematics Test*	Test PM Raven < 90	3,6
Gross-Tsur et coll., 1996	3 029	10-11	2 ans de retard Batterie de tests *ad hoc*	QI< 80	6,5
Desoete et coll., 2004	3 978	8-11	2 écarts-types de la moyenne Batterie de tests	Aucun	2,3 à 7,7 selon l'âge

Comorbidité

Le terme comorbidité réfère à la co-occurrence d'au moins deux troubles différents chez un même individu. Deux types de comorbidité ont été particulièrement étudiés en ce qui concerne la dyscalculie : la comorbidité avec d'autres difficultés d'apprentissage, et plus particulièrement avec la lecture et l'écriture d'une part, la comorbidité avec des atteintes chromosomales et des syndromes neurologiques d'autre part.

Dyscalculie et troubles de l'apprentissage du langage écrit et oral

Les données issues des études de prévalence permettent d'écarter l'hypothèse jadis émise de la dyscalculie comme trouble attribuable à un déficit général des processus langagiers (Cohn, 1971). Même s'ils sont peu nombreux, il existe des enfants qui ont de faibles scores en arithmétique alors que leurs performances en lecture sont normales. Toutefois, comme nous l'avons vu, la dyscalculie est fréquemment associée à des difficultés d'apprentissage en lecture. Gross-Tsur et coll. (1996) identifient 17 % d'enfants atteints de dyslexie dans une population d'enfants dyscalculiques, mais adoptent un critère extrêmement strict (score inférieur au 5e percentile en lecture). Lewis et coll. (1994), pour leur part, relèvent 64 % de difficultés d'apprentissage de la lecture associées. Ostad (1998) relève quant à lui 51 % d'enfants présentant des difficultés en orthographe dans une population d'enfants dyscalculiques. Il est à noter que cette observation n'est pas isolée : Shalev et coll. (2005) identifient les difficultés en écriture comme un facteur de persistance de la dyscalculie au cours du développement. Dans bien des études, un examen approfondi des données fait souvent apparaître que les groupes présentés comme atteints spécifiquement de dyscalculie s'avèrent en réalité obtenir de faibles performances en lecture (Landerl et coll., 2004). En résumé, nombre d'enfants d'intelligence normale présentant des difficultés d'apprentissage de l'arithmétique présentent aussi des difficultés d'apprentissage du langage écrit. Toutefois, la dyscalculie existe aussi à titre de trouble isolé. Comme on le verra par la suite, il semble que les enfants présentant des difficultés spécifiques en arithmétique se distinguent de ceux présentant des difficultés dans les deux domaines. La plupart des études distinguant les deux populations font état de différences dans l'étendue et l'importance des troubles. Les enfants qui présentent une comorbidité avec des troubles de la lecture présentent un handicap plus important en arithmétique ainsi que dans les tests neurologiques que les enfants atteints de dyscalculie seule (Jordan et Montani, 1997 ; Shalev et coll., 1997 ; Jordan et Hanich, 2000 ; Fuchs et Fuchs, 2002). À l'exception notoire de Butterworth (2005) dans sa récente revue de question sur la dyscalculie développementale, tous les auteurs semblent partager ce constat. Les raisons de la fréquente comorbidité entre troubles de l'arithmétique et de la lecture demeurent cependant obscures. À l'issue de son étude

sur la comorbidité entre dyscalculie et problèmes en orthographe, Ostad (1998) conclut que le principal facteur expliquant la comorbidité observée est ce qu'il appelle une capacité générale (*general ability*), évaluée en utilisant 6 des 12 sub-tests de la WISC-R, c'est-à-dire le niveau intellectuel. De fait, dans de nombreuses études, les groupes présentant une comorbidité manifestent un niveau intellectuel inférieur (au moins de manière descriptive et parfois statistiquement significative) à celui des groupes présentant un déficit simple (Lewis et coll., 1994 ; Gross-Tsur et coll., 1996 ; Alarcon et coll., 1997 ; Fuchs et Fuchs, 2002).

On peut aussi supposer, ce qui n'est pas exclusif de l'hypothèse précédente, que troubles de l'apprentissage de l'arithmétique et troubles de la lecture peuvent dans certains cas être liés au même facteur de risque. Comme le fait remarquer Ostad (1998), il n'est par exemple pas déraisonnable de penser que des troubles du langage peuvent accroître les risques de difficultés d'apprentissage de l'arithmétique. On dispose justement d'une étude sur les acquisitions en arithmétique des enfants présentant un trouble développemental du langage (*developmental language disorder*). Manor et coll. (2000) ont comparé 45 enfants de 6 ans admis dans un programme visant à intégrer les enfants d'intelligence normale atteints de troubles du langage en classes maternelles à 45 enfants témoins appariés sur l'âge, le sexe, et la classe sociale. Les deux groupes sont soumis aux mêmes épreuves concernant la compréhension des principes régissant le dénombrement, les habiletés de comptage, la compréhension, la lecture et l'écriture des nombres, ou encore la résolution d'opérations. Sur toutes les épreuves, les enfants présentant des troubles du langage obtiennent de plus faibles performances que les enfants du groupe témoin. Lorsque l'effet du QI sur les scores en arithmétique est contrôlé, il apparaît que les enfants avec troubles du langage présentent une déficience en arithmétique qui va au-delà de ce qui pourrait être attendu à partir de leur QI.

En résumé, la comorbidité observée entre dyscalculie et difficultés d'apprentissage du langage écrit est importante. Ses causes ne sont pas clairement établies et pourraient comprendre entre autres l'impact du niveau intellectuel et l'existence d'éventuels troubles du langage.

Dyscalculie, troubles développementaux, syndromes neurologiques et atteintes chromosomales

De nombreuses études rapportent qu'en dehors des troubles des apprentissages, divers troubles, atteintes et syndromes s'accompagnent par ailleurs d'une dyscalculie. Parmi les syndromes les plus souvent évoqués, le trouble de déficit de l'attention/hyperactivité (TDAH) semble présenter une comorbidité particulière avec la dyscalculie. Shalev et son équipe ont à plusieurs reprises observé ce lien. Lors de l'étude princeps de Gross-Tsur et coll. (1996), les

auteurs observent que parmi les 140 dyscalculiques qu'ils ont isolés, un diagnostic probable de TDAH peut être porté pour 36 d'entre eux (26 %) dont 21 garçons à partir des réponses données par les parents et les enseignants au questionnaire comportemental de Conners. Lors des études de suivi de cette cohorte, les auteurs constateront que les troubles attentionnels sont un facteur de persistance de la dyscalculie (Shalev et coll., 2005), les problèmes attentionnels étant plus sévères chez les enfants dont la dyscalculie perdure au fil des années (Shalev et coll., 1998). Shalev et coll. (1995) ont comparé leur population de dyscalculiques, alors âgés en moyenne de 11 ans, avec un groupe d'enfants normaux et un groupe d'enfants présentant des troubles psychiatriques. Les enfants dyscalculiques présentent plus de troubles attentionnels que ceux des autres groupes bien que leur niveau d'anxiété et de dépression soit normal. Les troubles de l'attention constituent d'ailleurs un des sous-types de la classification des dyscalculies proposée par Badian (1983). Corrélativement, il a aussi été montré que les enfants présentant un TDAH ont un risque élevé de difficultés en arithmétique (Ackerman et coll., 1986). Les enfants suivant un traitement médical peuvent voir leurs performances en arithmétique s'améliorer. Toutefois, comme le notent Gross-Tsur et coll. (1996), on ne sait pas si la médication a pour effet d'aider les enfants à apprendre et récupérer les faits arithmétiques ou plus simplement à éviter les erreurs dues à l'inattention et l'impulsivité. En outre, on ne sait pas si la dyscalculie est causée par le TDAH ou si tous les deux sont des symptômes d'un dysfonctionnement cérébral sous-jacent.

Un autre désordre développemental dans lequel la dyscalculie serait une caractéristique majeure est le syndrome de l'hémisphère droit. Gross-Tsur et coll. (1993) rapportent une étude de Weintraub et Mesulam (1983) décrivant un syndrome comportemental qui débute tôt dans l'enfance et se caractérise par des difficultés émotionnelles et interpersonnelles, des troubles visuo-spatiaux et des signes de dysfonctionnement de l'hémisphère droit, le tout associé à des difficultés d'apprentissage en arithmétique. De même, Rourke (1993) décrit à plusieurs reprises des cas d'enfants atteints spécifiquement de dyscalculie et qui auraient par ailleurs des troubles liés à un dysfonctionnement de l'hémisphère droit entraînant des déficiences perceptivo-tactiles et psychomotrices ainsi que des difficultés d'organisation spatiale. Selon Rourke (1993), certains enfants dyscalculiques présenteraient ainsi un syndrome de déficience des apprentissages non verbaux (*Non verbal Learning Disabilities syndrom* : NLD) s'étendant à la formation de concepts ou encore à des déficits adaptatifs dans le domaine socio-émotionnel (adaptation à la nouveauté, compétences sociales, stabilité émotionnelle). Nichelli et Venneri (1995) rapportent le cas d'un jeune adulte de 22 ans présentant des difficultés en arithmétique, des déficits visuo-spatiaux et des difficultés émotionnelles alors que les aspects verbaux sont remarquablement préservés. La tomographie par émission de positron révèle des anomalies de fonctionnement de l'hémisphère droit.

Deux désordres génétiques sont connus pour avoir des phénotypes cognitifs associés à des difficultés d'apprentissage des mathématiques : les syndromes de Turner et de l'X fragile. Le syndrome de Turner résulte de l'absence partielle ou complète de l'un des deux chromosomes X normalement présents chez les filles. Bien que ses effets sur le niveau intellectuel global soient minimes, les scores de QI verbal sont de 8 à 24 points supérieurs aux scores performance (Ballotin et coll., 1998). Dans une étude comparant les acquisitions scolaires de filles atteintes ou non du syndrome de Turner, Rovet (1993) relève que les premières obtiennent de plus faibles scores que les secondes en lecture mais que les différences sont encore plus marquées en arithmétique : 55 % des filles atteintes du syndrome se situent dans le quartile inférieur d'une épreuve standardisée contre 7 % du groupe témoin. Le retard affecte à la fois les opérations, la résolution de problèmes et la compréhension des concepts liés au nombre (Rovet et coll., 1994). L'existence d'un déficit en géométrie est moins sûre, certaines études en faisant état (Mazocco, 2001) alors que d'autres ne le retrouvent pas (Rovet et coll., 1994). Pour l'heure, il est impossible d'affirmer qu'il existe certains aspects des activités numériques qui seraient spécifiquement affectés alors que d'autres seraient préservés chez les filles atteintes du syndrome de Turner (Mazocco et McCloskey, 2005). Bien que dyscalculie et troubles de la lecture soient fréquemment associés comme nous l'avons vu précédemment, les filles atteintes du syndrome de Turner n'ont pas davantage de difficultés en lecture que l'ensemble de la population. De même, on ne relève pas de problèmes de langage, à l'exception toutefois de la tâche de dénomination rapide (*Rapid Automatized Naming*, RAN) dans laquelle les filles avec un syndrome de Turner sont plus lentes (Temple et Sherwood, 2002). Ce point est intéressant à souligner parce qu'on a par ailleurs montré que cette même vitesse de dénomination est corrélée avec les performances en arithmétique dans une population tout-venant (Mazzocco et Myers, 2003) et qu'elle l'est aussi avec les performances en lecture. Dans leur revue de questions sur le sujet, Mazocco et McCloskey (2005) relèvent que parmi les fonctions cognitives liées aux activités numériques, le syndrome de Turner s'accompagne d'un déficit des fonctions exécutives et du traitement en continu de l'information en mémoire de travail, alors que les déficits en mémoire à court terme sont moins clairs, certaines études en faisant état (Rovet, 1993), d'autres non (Temple et Sherwood, 2002). De même, plus que d'un déficit de la mémoire visuelle ou spatiale en elle-même, les sujets souffriraient plutôt d'une faible capacité en mémoire de travail visuo-spatiale. En outre, on observe les déficits visuo-perceptif et visuo-moteur (Mazzocco, 2001).

À l'inverse du syndrome de Turner, le syndrome de l'X fragile s'accompagne d'un retard mental sans différence notable entre les QI verbal et performance. Alors que ce retard mental affecte 100 % des garçons porteurs du syndrome, il n'affecte que 50 % des filles. Les filles sans retard mental présentent un phénotype cognitif proche de celui des enfants atteints du syn-

drome de Turner, avec des performances en arithmétique inférieures aux performances en lecture, beaucoup de filles X-fragile sans retard mental ne présentant pas de difficultés en lecture. Selon Bennetto et coll. (2001), un déficit des fonctions exécutives est à la base de leur phénotype cognitif. Il est à noter que les déficits visuo-perceptif et visuo-moteur présents dans le syndrome de Turner ne s'observent pas dans le syndrome de l'X fragile (Mazzocco, 2001). Cette différence avec le syndrome de Turner fait écho à la distinction souvent faite entre difficultés en arithmétique sous-tendues ou en tous cas s'accompagnant d'un déficit spatial et celles qui en sont indépendantes.

Une autre atteinte neurodéveloppementale présentant un intérêt théorique particulier en ce qui concerne les sous-types de la dyscalculie est le spina bifida myéloméningocole (Wills et coll., 1990 ; Barnes et coll., 2005). De nombreux enfants présentant un spina bifida rencontrent d'importantes difficultés en arithmétique associées ou non avec des difficultés en lecture alors que les difficultés isolées en lecture sont rares. Environ 40 % d'entre eux sont dyscalculiques, 20 % présentant un trouble spécifique de l'arithmétique. Par ailleurs, ces difficultés isolées en arithmétique sont associées à des troubles visuo-spatiaux. En outre, les anomalies du cerveau entraînées par le spina bifida associent souvent la planification motrice, la motricité fine et plus particulièrement le contrôle des doigts avec des dommages des lobes pariétaux. Or, on verra que Butterworth (1999) voit dans l'utilisation des doigts pour compter l'origine des représentations numériques dans les lobes pariétaux à proximité du cortex prémoteur intéressant les doigts. L'étude des enfants atteints de spina bifida pourrait donc constituer un paradigme intéressant pour la compréhension des relations entre motricité fine et habiletés en calcul (Fayol et coll., 1998). En fait, Barnes et coll. (2005) observent que des enfants atteints de spina bifida ne commettent pas dans la résolution d'opérations posées plus d'erreurs « visuo-spatiales » que des enfants témoins (mauvais alignement des chiffres dans les colonnes, oublis de colonnes…). Ils commettent en revanche plus d'erreurs procédurales. Ces erreurs pourraient provenir selon les auteurs de la lenteur avec laquelle leurs sujets expérimentaux retrouvent les faits numériques en mémoire. Des analyses de régression ont permis de vérifier que les performances aux opérations complexes chez les enfants atteints de spina bifida étaient liées à leurs habiletés motrices fines mais pas à leurs habiletés visuo-spatiales qui apparaissaient indépendantes des habiletés à effectuer des calculs sur des nombres à plusieurs chiffres. Les auteurs ont aussi vérifié que les performances des enfants de 3 ans avec spina bifida dans les activités de dénombrement étaient liées à leurs habiletés motrices fines.

La dyscalculie est aussi un des critères majeurs pour diagnostiquer le syndrome de Gertsmann (Gertsman, 1940). Outre la dyscalculie, ce syndrome associe une agnosie digitale, les enfants étant incapables d'identifier et montrer un doigt en particulier sur eux-mêmes ou une autre personne, une agra-

phie sans alexie ainsi que des problèmes d'orientation visuo-spatiale avec des confusions droite-gauche sur le corps propre ou celui d'une autre personne. Benton (1987) a suggéré que cette association de symptômes trouve sa source dans la proximité des aires cérébrales qui sous-tendent les diverses fonctions affectées, toutes étant regroupées dans la zone occipito-pariétale, et plus particulièrement dans le gyrus angulaire gauche. Cette association de symptômes liés à une acalculie fait écho à ce qui a été rapporté plus haut concernant le spina bifida myéloméningocole et l'association qui semble exister entre certaines habiletés numériques et le développement neuropsychologique concernant la motricité fine.

Isaacs et coll. (2001) ont étudié un groupe d'enfants nés prématurés avec un poids inférieur à 1 500 g. Beaucoup de ces enfants présentent une dyscalculie et par ailleurs ont des cortex pariétaux gauches plus petits que ceux qui n'ont pas de difficultés. D'autres troubles enfin ont été évoqués comme particulièrement propices à l'apparition d'une dyscalculie. Citons l'épilepsie (Seidenberg et coll., 1986), la phénylcétonurie (Pennington, 1991) ou encore le syndrome de Williams (Ansari et Karmiloff-Smith, 2002).

Héritabilité

Dans la définition qu'il donnait de la dyscalculie, Kosc (1974) faisait l'hypothèse d'un trouble congénital ou héréditaire. Trois études sont récemment venues confirmer cette supposition. Tout d'abord, Light et DeFries (1995) ont conduit une étude sur 148 paires de jumeaux monozygotes (MZ) et 111 paires de jumeaux dizygotes (DZ) entre 8 et 20 ans dans lesquelles un des membres de la paire au moins était atteint de troubles d'apprentissage de la lecture. Cette étude est pertinente ici parce que outre la recherche chez l'autre jumeau d'éventuels troubles de la lecture, les auteurs relèvent aussi les troubles d'apprentissage des mathématiques. Ils font l'hypothèse que les déficits en mathématiques souvent observés chez les sujets ayant des difficultés en lecture sont dus, au moins en partie, à des facteurs génétiques qui influencent aussi leurs performances en lecture. De fait, les auteurs observent que 49% des jumeaux MZ et 32 % des jumeaux DZ présentent une déficience en mathématiques. La différence significative entre les deux taux suggère que la comorbidité entre troubles d'apprentissage de la lecture et de l'arithmétique est due au moins en partie à des influences génétiques. Selon les résultats, les influences génétiques et environnementales contribuent de façon équivalente à la covariance entre scores en lecture et en arithmétique dans les paires de jumeaux présentant une déficience en lecture. Une étude ultérieure de Alarcon et coll. (1997) utilisant toujours la méthode des jumeaux porte spécifiquement sur la dyscalculie (désignée par les auteurs comme *mathematic disabilities*). Les auteurs identifient 40 paires de jumeaux MZ et 23 paires de jumeaux DZ dans les-

quelles un au moins des deux jumeaux présente une dyscalculie. Les critères utilisés sont un score normalisé inférieur de 1,5 écart-type à la moyenne d'un groupe témoin dans une épreuve de mathématiques, un QI verbal ou performance supérieur à 90 et une absence de problèmes comportementaux, neurologiques ou émotionnels. En outre, les auteurs distinguent les jumeaux probants présentant un trouble spécifique des mathématiques (MD) et ceux présentant en outre un déficit en lecture (MD-RD). Dans les paires de jumeaux étudiés, 58 % des jumeaux MZ et 39 % des jumeaux DZ présentaient aussi une déficience en mathématiques. Les analyses de régression indiquent que 40 % du déficit sont dus à des facteurs héritables. En ce qui concerne l'étiologie différentielle des déficits en mathématiques spécifiques ou associés à des déficits en lecture, les auteurs observent que le déficit de type MD-RD semble légèrement plus héritable que le déficit spécifique de type RD sans pour autant que la différence soit significative, ce qui peut être dû à la faible taille des échantillons.

Une étude plus récente conduite par Shalev et coll. (2001) établit que la dyscalculie est un trouble familial. Les auteurs reprennent la cohorte de 140 enfants dyscalculiques étudiés par Gross-Tsur et coll. (1996) et isolent 39 enfants ne présentant pas de troubles associés (dyslexie, dysgraphie, ou de trouble déficitaire de l'attention). Les membres des familles de ces enfants (43 pères ou mères, 90 frères ou sœurs, 16 parents au second degré) sont soumis à des épreuves standardisées de mathématiques, de lecture, ainsi qu'à une version abrégée de test d'intelligence (WISC-R ou WAIS) et divers autres tests. Les résultats sont éloquents : plus de la moitié des parents et frères et sœurs sont classés comme dyscalculiques (67 %, 41 %, 53 % et 52 % des mères, pères, frères et sœurs respectivement). Les auteurs considèrent leurs résultats comme d'autant plus robustes que la propension à présenter une dyscalculie pour les membres des familles serait indépendante, comme la dyslexie, du QI. Toutefois, les réserves émises plus haut sur les mesures de QI dans les études de Shalev s'appliquent ici aussi. Les QI moyens des groupes de parents ou de frères et sœurs présentant ou non une dyscalculie sont tous supérieurs à 108 (une moyenne atteint même 116 !) et bien que de manière non significative, les individus dyscalculiques ont dans tous les groupes des QI moyens inférieurs aux autres (lorsque la population est considérée dans son ensemble, on peut vérifier par le calcul que la différence est significative).

En résumé, les études d'héritabilité font apparaître que la dyscalculie est un trouble dû au moins en partie à des facteurs génétiques dans des proportions comparables à ce qui est observé pour la dyslexie. L'étude de Alarcon et coll. (1997) suggère a minima que la dyscalculie comme trouble isolé n'est pas plus et pourrait même être moins héritable que lorsqu'il existe une comorbidité avec la dyslexie. Ainsi, la moitié des parents et frères et sœurs d'enfants dyscalculiques présentent aussi d'importantes difficultés en arithmétique.

Nature, causes et évolution des troubles

La plus grande partie des travaux sur la dyscalculie et les difficultés d'apprentissage de l'arithmétique sont consacrés à la description et à l'analyse des troubles afin d'en cerner les causes et déterminants. Si la description des troubles et de leur évolution avec l'âge est relativement consensuelle, on verra que les avis sur leur origine divergent fortement et qu'à l'heure actuelle, les causes de la dyscalculie demeurent encore obscures.

Nature des troubles

Au-delà des faibles performances scolaires qui se reflètent dans les scores aux échelles d'aptitude, les chercheurs ont tenté de pointer les compétences et connaissances faisant particulièrement défaut aux dyscalculiques dans le domaine du nombre. Comme de nombreux auteurs l'ont souligné, ces recherches ont suivi la voie tracée par l'étude des habiletés numériques chez le jeune enfant en psychologie cognitive. Il est en effet apparu que les enfants développent, avant leur entrée à l'école primaire, des connaissances mathématiques informelles qui guident les apprentissages ultérieurs (Gelman et Gallistel, 1978 ; Fayol, 1990 ; Dehaene, 1997). Par exemple, les jeunes enfants semblent comprendre les principes de base du dénombrement (Gelman et Gallistel, 1978 ; Gelman et Meck, 1983 ; Briars et Siegler, 1984), développent spontanément des stratégies de résolution des additions et soustractions simples (Groen et Resnick, 1977 ; Carpenter et Moser, 1984 ; Siegler, 1987) et même les bébés semblent présenter une sensibilité au nombre et à ses transformations (Starkey et Cooper, 1980 ; Antell et Keating, 1983 ; Wynn, 1992). Il a été ainsi établi que les troubles dont souffrent les enfants dyscalculiques affectent les aspects procéduraux mais aussi conceptuels des activités de calcul et de comptage ainsi que la mémorisation des faits numériques qui résulte habituellement de ces activités.

En ce qui concerne les procédures spontanément mises en œuvre dans les calculs les plus simples (combien font 5+3 ?), il a été maintes fois démontré que les enfants dyscalculiques utilisent plus souvent et plus longtemps que les enfants normaux des stratégies primitives de comptage (Ostad, 1997). Dès 1975, Svenson et Broquist observaient que des enfants en difficulté en mathématiques (*mathematically disabled*, MD) de 10,6 ans à 13,7 ans étaient plus lents pour résoudre des additions simples que des enfants normaux de même niveau (et donc plus jeunes). Geary (1990) a comparé les stratégies mises en œuvre par des enfants de CP et CE1 soit normaux soit présentant des difficultés en mathématiques (MD) dans la résolution d'additions simples. Il est apparu que les enfants MD utilisaient les mêmes stratégies que les enfants normaux (comptage sur les doigts, comptage verbal, récupération directe du résultat en mémoire) mais commettaient plus d'erreurs dans la mise en œuvre des procédures ainsi que lorsqu'ils récupéraient le résultat en

mémoire. Plus souvent que les autres, ils utilisaient une stratégie immature consistant à tout compter (pour effectuer 4+2, compter 1, 2, 3, 4, 5, 6 plutôt que de commencer à 4 et de poursuivre par 5 et 6). En outre, leurs temps de réponses étaient pus variables que ceux des enfants normaux. Ces résultats suggéraient chez les enfants MD un déficit fonctionnel consistant en de faibles habiletés procédurales et une représentation des résultats en mémoire pour le moins atypique. Les mêmes enfants ont été revus 10 mois plus tard par Geary et coll. (1991). Alors que les enfants normaux changent progressivement de stratégie pour recourir de plus en plus souvent à la récupération directe du résultat en mémoire, les enfants MD ne présentent aucun changement dans les stratégies utilisées. C'est, selon les auteurs, l'incapacité à mémoriser et à retrouver les résultats qui contraint les enfants MD à recourir à des stratégies de comptage que les enfants normaux abandonnent progressivement. Le même constat est effectué par Geary et Brown (1991) sur des enfants plus âgés (CE2 et CM1). Là encore, alors que les enfants normaux utilisent majoritairement une stratégie de récupération directe du résultat en mémoire et que les plus doués d'entre eux y recourent presque systématiquement, les enfants MD continuent à utiliser préférentiellement les stratégies de comptage verbal et même parfois de comptage sur les doigts. La conclusion des auteurs est ici encore que les enfants MD souffrent d'une organisation défaillante des faits additifs en mémoire. De tels résultats avaient déjà été obtenus par Geary et coll. (1987) par une méthode plus indirecte d'analyse de temps de vérifications d'additions justes ou fausses qui suggéraient que des enfants MD de CE1, CM1 et 6e recouraient davantage au comptage qu'à la récupération et ne manifestaient pas, dans leur choix de stratégie, le passage à la récupération caractéristique du développement normal.

Ces études, conduites aux alentours des années 1990, portaient sur des groupes d'enfants MD sans prise en compte de possibles troubles associés en lecture. Des études plus récentes distinguant des enfants ayant seulement des troubles en mathématiques (MD) de ceux ayant aussi des troubles en lecture (MD-LD) montrent que l'usage de stratégies primitives comme le comptage sur les doigts s'observe dans les deux groupes (Jordan et Montani, 1997). En revanche, les enfants MD-LD commettent plus d'erreurs que les enfants MD dont les taux de performance rejoignent ceux des enfants normaux pour peu qu'on leur laisse le temps de mettre en œuvre leurs procédures de comptage. Les enfants MD-LD présentent des performances toujours inférieures aux enfants témoins même lorsqu'ils ont tout le temps qu'ils souhaitent pour effectuer les calculs. Ce résultat est retrouvé par Hanish et coll. (2001). Une étude longitudinale couvrant les deux premières années de primaire (Geary et coll., 2000) précise ce tableau et révèle qu'à la fin de la seconde année, les enfants souffrant seulement de difficultés en mathématiques se rapprochent fortement des enfants normaux en ce qui concerne l'usage de la stratégie dite Min (pour minimum) qui est la plus sophistiquée des stratégies de comptage alors que ce progrès ne s'observe pas chez les enfants MD-LD.

En résumé, l'ensemble des études ayant abordé le développement des stratégies de résolution des additions simples, mais aussi des soustractions (Ostad, 1999 et 2000), convergent vers un même constat qui est que les enfants dyscalculiques se distinguent des autres par l'usage plus fréquent et moins précis de stratégies de comptage primitives et par une difficulté notoire à accéder à la stratégie de récupération directe du résultat en mémoire. Ce retard semble cependant plus marqué pour les enfants qui présentent en outre des difficultés en lecture (Jordan et Hanish, 2000). Les enfants ne présentant que des difficultés en arithmétique ne se distinguent pas des enfants tout-venant en ce qui concerne les stratégies de résolution des opérations, leur déficit lié aux opérations semblant circonscrit à la récupération des faits numériques en mémoire (Jordan et Montani, 1997).

Les enfants développent les stratégies de résolution des opérations simples dont nous venons de parler à partir de leurs connaissances concernant le comptage. Il semble que les activités de comptage des jeunes enfants soient guidées par des contraintes que Gelman et Gallistel (1978) ont décrites comme autant de principes. On distingue ainsi un principe de correspondance terme à terme (un mot et un seul est assigné à chaque objet dénombré : « un », « deux », « trois », …), un principe d'ordre stable (ces mots doivent toujours être produits dans le même ordre), un principe de cardinalité (le dernier mot prononcé indique le cardinal de la collection), un principe d'abstraction (des objets même très hétérogènes peuvent être regroupés et comptés), et enfin un principe de non pertinence de l'ordre qui fait que les objets à dénombrer peuvent l'être dans n'importe quel ordre sans affecter le résultat. Gelman et Gallistel (1978) ont même suggéré que les trois premiers principes seraient innés et constitueraient les bases de la connaissance du comptage. Toutefois, les enfants s'appuient aussi sur l'observation des activités de dénombrement pour en induire des connaissances (Briars et Siegler, 1984 ; Fuson, 1988). Ce processus inductif renforce probablement les règles décrites par Gelman et Gallistel si elles lui préexistent mais entraîne aussi l'abstraction de pseudo-règles dérivées de régularités non essentielles. Par exemple, beaucoup de jeunes enfants de 5 ans pensent qu'un dénombrement correct nécessite de compter en succession immédiate les objets proches sans sauter d'une extrémité à l'autre de la collection (règle de proximité), ou encore que le dénombrement doit toujours être effectué dans la même direction, d'une extrémité de la collection à l'autre (par exemple de gauche à droite). De manière intéressante, les enfants dyscalculiques distinguent moins bien que les autres les principes essentiels des pseudo-principes. C'est ce qu'ont montré Geary et coll. (1992) qui demandaient à des enfants de CP d'observer une poupée qui dénombrait des collections soit de manière correcte, soit en violant tantôt les principes essentiels décrits par Gelman et Gallistel (1978), tantôt les pseudo-principes décrits par Briars et Siegler (1984). Cependant, les difficultés des enfants dyscalculiques dans les habiletés élémentaires de comptage et autres ne doivent pas être exagérées. Étudiant 143 enfants de 11 et 12 ans diagnostiqués comme dyscalculiques,

Gross-Tsur et coll. (1996) observaient que les faiblesses les plus prononcées se manifestaient dans les domaines des calculs complexes et de la connaissance des faits arithmétiques alors que les domaines de la compréhension (comparaisons de quantités ou de nombres à un ou plusieurs chiffres) et de la production des nombres (comptage, écriture de nombres) étaient relativement préservés. Un suivi longitudinal de la même cohorte 3 années plus tard (Shalev, et coll., 1998) indiquait d'ailleurs que les enfants dyscalculiques tendent à rattraper progressivement leur retard dans les activités les plus simples (la résolution des additions à 14 ans). On notera toutefois qu'une étude récente rapporte des difficultés dans les activités numériques les plus élémentaires chez des enfants dyscalculiques de 8 et 9 ans (Landerl et coll., 2004). Cependant, la portée de ce résultat pourrait être atténuée par le fait qu'il ne concerne qu'un groupe restreint de 10 sujets classés comme dyscalculiques sur la base d'épreuves chronométrées d'arithmétique mentale (temps de réaction ou taux d'erreurs supérieur de trois écarts-types à celui de sujets témoins sur des additions, soustractions et multiplications). Les enfants dyscalculiques sont plus lents que les témoins pour lire, écrire et comparer les nombres de même que pour dénombrer des collections. En outre, ils présentent une pente de *subitizing*[26] plus prononcée que les témoins. Toutefois, ayant été constitué sur la base de temps de réaction particulièrement élevés dans la récupération de faits numériques en mémoire, il n'est peut-être pas étonnant que le groupe des enfants dyscalculiques étudiés par Landerl et coll. (2004) soit aussi plus lent que le groupe témoin dans des activités plus élémentaires. Ce point est cependant primordial et mérite un approfondissement des recherches. En effet, les auteurs proposent que la dyscalculie résulte d'un déficit spécifique de la représentation et du traitement des informations numériques provenant du développement anormal des aires cérébrales normalement dévolues à ces fonctions (les lobes pariétaux et plus spécifiquement selon Dehaene et coll. (2003), le sillon intra-pariétal). On peut toutefois noter que parmi les rares études se penchant sur les processus élémentaires tels que la comparaison de nombres, celle de Geary et coll. (2000) ne confirme pas les conclusions de Landerl et coll. (2004). Alors que ces derniers ne trouvent pas de différence entre les enfants MD et les enfants MD-LD, Geary et coll. (2000) observent d'une part qu'à 7 ans les enfants MD-LD ont de plus faibles performances dans une tâche de comparaison que les MD et d'autre part que deux ans plus tard, les enfants MD ne présentent plus de différence avec les enfants normaux alors que les enfants MD-LD présentent toujours des performances plus faibles. Les auteurs en concluent

26. On appelle *subitizing* le processus d'aperception rapide de petites quantités (de 1 à 4) sans comptage. Bien que ces petites quantités puissent être énumérées sans être comptées, les temps de réponse augmentent très légèrement avec le nombre d'objets présentés. Chaque objet supplémentaire se traduit par un accroissement du temps de réponse de 40 à 100 ms : c'est la pente du *subitizing*.

que « les difficultés dans la compréhension des nombres chez les enfants MD-LD ne sont pas manifestes chez les enfants MD, ce qui suggère que de telles difficultés ne sont pas une caractéristique essentielle de la dyscalculie » (Geary et coll., 2000).

Le processus sans doute le plus étudié dans les acquisitions numériques scolaires est le changement dans le type de stratégies utilisées par les enfants pour résoudre les additions simples, des stratégies algorithmiques de comptage à la récupération directe du résultat en mémoire (Aschcraft, 1982 ; Carpenter et Moser, 1984 ; Siegler et Shrager, 1984 ; Geary, 1994 ; Siegler, 1996). On explique ce changement par un processus d'apprentissage associatif. La répétition par des procédures algorithmiques des mêmes calculs conduirait à l'association en mémoire des problèmes et du résultat obtenu. Par exemple, la résolution correcte de 5+3 à l'aide de la stratégie minimum (partir de 5 et avancer de 3 pas dans la chaîne numérique) conduirait à associer 5+3 et 8 en mémoire. Chaque occurrence de ce calcul renforcerait la trace mnésique jusqu'à ce que la réponse soit automatiquement activée et récupérée dès présentation du problème. Cette stratégie de récupération est bien entendu la plus rapide et la plus efficace, bien qu'elle ne s'applique réellement qu'aux opérations portant sur des nombres à un chiffre (additions et multiplications). Aschcraft (1982) a établi que la transition des procédures algorithmiques à la récupération en mémoire pour les additions simples se produit durant le CE2. Selon Geary (2004), le résultat le plus régulièrement obtenu dans l'étude de la dyscalculie est que les enfants dyscalculiques diffèrent des autres par leurs difficultés à retrouver en mémoire les faits arithmétiques. Ces difficultés de récupération sont présentes chez tous les enfants MD et persistent au moins tout au long de la scolarité primaire (Jordan et Montani, 1997 ; Ostad, 1997, 1999 et 2000). Quand ces enfants retrouvent des réponses en mémoire, celles-ci sont plus souvent fausses que chez les enfants se développant normalement avec des patterns de temps de réponses atypiques (Geray, 1990 ; Geary et Brown, 1991). À titre d'exemple, Shalev et coll. (2005) testent à 17 ans les sujets dyscalculiques étudiés par Shalev et coll. (1998) 3 ans plus tôt et par Gross-Tsur et coll. (1996) 6 ans plus tôt. Même à 17 ans, 51 % d'entre eux contre 17 % des témoins demeurent incapables de donner le résultat de 7 x 8. L'étude longitudinale de Jordan et coll. (2003a) a montré que ce déficit évolue peu avec l'âge. Ayant sélectionné un groupe d'enfants pour leur faible maîtrise des faits numériques, les auteurs observent qu'un an et demi plus tard (entre le début du CE1 et la fin du CE2) les enfants n'ont pratiquement pas progressé dans ce domaine alors qu'ils manifestaient un développement normal dans d'autres secteurs des activités numériques tels que la résolution de problèmes à énoncés verbaux ou même la résolution d'opérations lorsque l'enfant n'est pas contraint de récupérer le résultat en mémoire mais peut utiliser ses doigts pour compter.

Les faits arithmétiques étant stockés sous une forme verbale (Dehaene, 1992), il a été suggéré que les difficultés dans leur récupération et les diffi-

cultés en lecture partageaient une base commune liée à des traitements phonologiques défectueux (Geary, 1993 ; Hanish et coll., 2001). Toutefois, les résultats de Jordan et coll. (2003a) contredisent cette hypothèse, les enfants ayant des difficultés de mémorisation et de récupération en mémoire des faits arithmétiques ne se distinguant pas des autres sur un test de lecture rapide de mots ou encore un test plus global de lecture. Cette conclusion est confirmée par une autre étude des mêmes auteurs (Jordan et coll., 2003b) qui comparent des enfants MD à des enfants ayant des difficultés isolées en lecture (LD), des enfants ayant des difficultés dans les deux domaines (LD-MD) et enfin des enfants ayant des performances normales. Les deux groupes MD (MD et MD-LD) ont des performances inférieures aux deux autres groupes en ce qui concerne la récupération des faits arithmétiques mais ne diffèrent pas entre eux, suggérant que le trouble est indépendant d'éventuelles difficultés en lecture.

On a aussi supposé que ces difficultés de récupération étaient liées à une incapacité à résister aux interférences produites par d'autres résultats associés aux opérandes. Barrouillet et coll. (1997) ont montré que l'organisation en mémoire des tables de multiplication ne diffère pas entre les enfants en difficulté d'apprentissage et les enfants tout-venant, mais que les plus faibles performances des premiers résultent de leur plus grande sensibilité aux interférences. Ces enfants avaient par exemple moins de difficultés à sélectionner le résultat de 4x6 parmi des distracteurs faiblement interférents (24 environné de 22, 23, et 26, aucun de ces nombres n'apparaissant dans la table de Pythagore) que parmi des distracteurs hautement interférents appartenant à des tables de l'un ou l'autre des deux opérandes (30, 18, 28). Toutefois, cette étude ne portait pas sur des enfants dyscalculiques au sens strict puisqu'il s'agissait d'adolescents scolarisés en SEGPA pour lesquels le diagnostic de déficience intellectuelle légère ne peut a priori être écarté. Ce résultat a été cependant répliqué par Geary et coll. (2000) chez des sujets MD résolvant des additions. Dans une tâche où les enfants devaient uniquement utiliser la récupération en mémoire pour résoudre des additions, les enfants MD et MD-LD, mais aussi les enfants LD commettaient plus d'erreurs que les enfants normaux même lorsque les différences de QI étaient contrôlées. De manière intéressante, l'erreur la plus fréquente consistait à produire une réponse associée dans la chaîne numérique à l'un des deux opérandes et activée automatiquement. Par exemple, des erreurs de récupération courantes pour 6+2 étaient 7 ou 3, les nombres qui suivent directement les opérandes dans la chaîne numérique. Des phénomènes semblables sont rapportés par Hanish et coll. (2001). Selon Barrouillet et coll. (1997) qui s'inspirent du modèle de Conway et Engle (1994), ces difficultés à résister aux interférences seraient imputables à de faibles capacités en mémoire de travail affectant principalement l'étape de sélection de la réponse. D'autres auteurs ont aussi émis l'hypothèse que les difficultés de récupération résultent de faibles capacités en mémoire de travail (Geary, 1990 ; Ostad, 1998).

Enfin, ces difficultés de récupération pourraient aussi provenir de problèmes développementaux affectant des systèmes neurocognitifs modulaires, indépendants de la mémoire sémantique ou de la mémoire de travail, spécialisés dans la représentation et la récupération des connaissances arithmétiques (Butterworth, 1999 ; Temple et Sherwood, 2002). Ce problème sera plus amplement abordé plus loin.

En résumé, l'ensemble des études concernant les déficits des enfants dyscalculiques indiquent que ceux-ci présentent un retard de développement dans le domaine des procédures de comptage permettant les calculs les plus élémentaires (additions et soustractions). Ils recourent plus souvent que les autres à des stratégies primitives et au comptage sur les doigts, le passage à la récupération directe des résultats en mémoire étant largement retardé. Ces déficits pourraient trouver leur origine dans une mauvaise compréhension des principes régissant les activités de dénombrement, lesquelles constituent la matrice de toutes les acquisitions numériques ultérieures. Les difficultés des dyscalculiques à récupérer les faits arithmétiques en mémoire sont unanimement reconnues et décrites avec une remarquable constance (apparition tardive, utilisation plus rare que chez les enfants normaux et conduisant à davantage d'erreurs avec une variabilité atypique des temps de récupération). Ces retards ont bien entendu un effet délétère sur les activités plus complexes de résolution de problèmes. Les dyscalculiques se caractérisent aussi par des difficultés dans la résolution des opérations impliquant de grands nombres et l'utilisation des retenues (Bryant et coll., 2000). Ces difficultés semblent cependant plus marquées pour les enfants qui présentent en outre des difficultés en lecture (Geary et coll., 2000 ; Jordan et Hanish, 2000 ; Fuchs et Fuchs, 2002). On a vu que, dans le domaine de la résolution des opérations, les enfants ne présentant que des difficultés en arithmétique ne se distinguent pas des enfants tout-venant en ce qui concerne les stratégies, leur déficit semblant circonscrit à la récupération des faits numériques en mémoire (Jordan et Montani, 1997). Comme nous l'avons vu, les études qui distinguent les enfants MD des enfants MD-LD font état chez ces derniers de troubles plus envahissants dont l'intensité augmente avec la complexité des opérations ou des problèmes qui leur sont proposés. Certaines études rapportent que les enfants présentant des difficultés spécifiques en mathématiques souffrent de troubles plus ciblés. Hormis la récupération des faits arithmétiques, la nature de ces déficits semble varier d'une étude à l'autre. Tantôt limités dans certaines études à la résolution des problèmes verbaux les plus complexes (Jordan et Hanish, 2000), ils s'étendent dans d'autres au calcul par approximation ou aux traitements visuo-spatiaux (Hanich et coll., 2001). En revanche, Fletcher (2005) qui compare les deux populations MD et MD-LD n'observe pas de différence de profil, les enfants MD-LD présentant juste un déficit plus prononcé. Ces fluctuations sont probablement dues à l'étendue et à la variété des activités numériques, les déficits ne pouvant être identifiés, par définition, que sur les activités faisant

l'objet d'une investigation. En tout état de cause, on peut retenir la conclusion que les enfants présentant un retard en mathématiques et en lecture diffèrent des enfants présentant des difficultés spécifiques en mathématiques par l'intensité plus que par la nature des déficits. Il semble ne pas exister de différence notoire de profil entre les difficultés rencontrées par les uns et les autres. Comme nous allons le voir, les études portant sur l'évolution des troubles confirment d'ailleurs ce point.

Classifications et sous-types

L'hétérogénéité des profils cognitifs observés parmi les enfants présentant des difficultés en arithmétique a frappé de nombreux chercheurs et cliniciens, les conduisant à proposer diverses classifications en sous-types. On peut grossièrement distinguer trois types de classifications. Celles qui s'inspirent, comme le note Noël (2000), de la neuropsychologie de l'adulte et des études de patients acalculiques, celles qui se fondent sur des bases anatomo-fonctionnelles, et celles enfin qui reposent sur l'étude des fonctions cognitives sous-tendant les activités numériques.

Classifications neuropsychologiques

La première classification des troubles acquis du calcul a été proposée par Hécaen et coll. (1961). Ces auteurs distinguaient :

- les acalculies résultant d'une alexie ou d'une agraphie des nombres pouvant survenir sans trouble associé de lecture et liées à des atteintes de l'hémisphère gauche le plus souvent ;
- les acalculies spatiales consistant en un défaut dans l'organisation spatiale des nombres (mauvais alignement des chiffres dans les colonnes des opérations posées, inversion de chiffres comme 6 pour 9, 12 pour 21) qui résulteraient d'une atteinte des parties postérieures de l'hémisphère droit ;
- les anarithméties, difficultés dans le calcul lui-même plutôt associées à des lésions de l'hémisphère gauche.

On voit que cette classification intéresse surtout l'activité de résolution des opérations posées à laquelle une attention moindre est prêtée aujourd'hui chez l'enfant en comparaison de l'arithmétique mentale ou du dénombrement. Badian (1983) s'est cependant inspirée de cette classification pour distinguer 5 groupes d'enfants présentant des difficultés en arithmétique et pouvant représenter 5 types de dyscalculie :

- dyscalculie résultant d'une aphasie avec alexie ou d'une agraphie des nombres ;
- dyscalculie résultant de difficultés visuo-spatiales avec mauvais alignement des nombres ;

• anarithmétie, c'est-à-dire bonne connaissance des faits numériques mais confusion entre les algorithmes de calcul ;
• dyscalculies liées à des troubles attentionnels se manifestant par des oublis lors de l'exécution des algorithmes de calcul ainsi que des difficultés à mémoriser les tables. On notera avec intérêt que ce sous-type est identifié par Badian comme le plus fréquent ;
• dyscalculies résultant d'une combinaison de ces catégories.

Ce type de classification pourrait être dit composite. On y trouve en effet des sous-types caractérisés par la nature des erreurs les plus fréquentes (l'anarithmétie), d'autres définis par une cause fonctionnelle sous-jacente (un trouble de l'attention, des difficultés spatiales), d'autres enfin décrits comme résultant d'autres troubles (aphasie). On peut ranger dans cette catégorie la classification de Kosc (1974) qui dans son étude princeps pensait pouvoir distinguer entre dyscalculies verbales (difficulté à nommer les objets et relations mathématiques), practognosiques (difficulté dans les manipulations reliées aux mathématiques comme le dénombrement, la sériation en fonction de la longueur), lexicales (difficultés de lecture des symboles tels que chiffres, nombres, signes d'opérations), graphiques (affectant l'écriture des chiffres et des nombres), idéagnostiques (difficulté à comprendre les relations mathématiques, par exemple que 9 est à la fois la moitié de 18 et aussi 10–1), et enfin opérationnelles (appelée anarithmétie chez les auteurs cités plus haut).

Bien que ces classifications reposent sur des observations cliniques souvent fines, leur intérêt est sans doute limité. D'une part, comme nous l'avons dit, elles sont composites et hétérogènes parce que non adossées à une théorie explicative du trouble. D'autre part, elles résultent parfois des analyses d'erreurs sur un éventail de tâches extrêmement réduit (la résolution d'opérations posées en colonnes pour Badian). Enfin, elles relèvent souvent d'une analyse pour le moins sommaire des processus cognitifs à la source des erreurs observées. Par exemple, on trouve parmi les erreurs que Badian identifie comme relevant d'un trouble spatial des erreurs qui pourraient tout aussi bien être attribuées à une mauvaise maîtrise des retenues ou de l'écriture positionnelle comme oublier le 0 dans l'écriture de 507, erreur qui relève plus sûrement d'une mauvaise maîtrise des procédures de transcodage que d'un trouble spatial (Barrouillet et coll., 2004a). La portée de ces classifications s'en trouve donc amoindrie dans l'optique d'une éventuelle élaboration d'outils de diagnostic et de remédiation.

Classification anatomo-fonctionnelle de Rourke

La plus connue des classifications est probablement celle de Rourke (Rourke et Finlayson, 1978 ; Rourke et Strang, 1978 ; Rourke, 1993 ; Rourke et Conway, 1997). Cet auteur propose que les déficiences en arithmétique

résultent de deux classes très générales de troubles neuropsychologiques, l'une basée sur des déficits verbaux reflétant un dysfonctionnement de l'hémisphère gauche et l'autre basée sur des déficiences non verbales qui résultent d'atteintes précoces affectant l'hémisphère droit. Cette distinction prend sa source dans une étude princeps distinguant des enfants présentant de faibles performances en arithmétique et en lecture (groupe 1), des enfants ayant de faibles performances en lecture et meilleures en arithmétique (groupe 2) et enfin des enfants ayant des difficultés plus prononcées en arithmétique qu'en lecture (groupe 3), les trois groupes étant appariés sur le QI total. Les auteurs prédisaient que les enfants du groupe 3, surtout faibles en arithmétique, présenteraient un QI verbal supérieur au QI performance alors que les enfants du groupe 2 présenteraient un QI performance supérieur à celui du groupe 3. Ces prédictions se fondent sur l'hypothèse que des difficultés spécifiques en calcul sont dues à des difficultés dans l'organisation et l'intégration visuo-spatiale, habiletés considérées comme assurées principalement par l'hémisphère droit et dont la défaillance devrait entraîner un QI performance faible à la WISC. Corrélativement, l'auteur suppose que l'intégrité de l'hémisphère gauche se manifeste par un QI verbal normal. De fait, les auteurs observaient que les enfants du groupe 2 présentaient un QI verbal nettement inférieur au QI performance (92 *versus* 107) alors que l'inverse était observé pour le groupe 3 (102 *versus* 88). Rourke et Strang (1978) ont examiné les performances de ces trois groupes dans des tâches motrices, psychomotrices et perceptives et confirmé que les enfants du groupe 3 présentaient une déficience dans ces activités, confirmant par là l'hypothèse d'une déficience relative des systèmes de l'hémisphère droit. Les déficiences des enfants du groupe 2 seraient en revanche confinées au domaine verbal, et plus particulièrement aux aspects auditivo-perceptifs. Strang et Rourke (1983) ajouteront à ce tableau que les enfants du groupe 3 présentent de moins bonnes performances que ceux du groupe 2 dans des tâches d'extraction de concepts impliquant des raisonnements non verbaux abstraits et la capacité à bénéficier de feed-back positifs et négatifs. Dans une synthèse de ces travaux, Rourke (1993) évoquant le cadre théorique piagétien suggère alors que, contrairement aux enfants du groupe 2, ceux du groupe 3 « n'auraient pas bénéficié autant que les autres de la période sensorimotrice de développement et que l'on peut s'attendre à ce que leurs opérations cognitives, et principalement celles qui ne sont pas facilement régulées par des apprentissages verbaux par cœur, soient déficientes ». Les désordres développementaux de l'hémisphère droit conduiraient les enfants du groupe 3 à développer un syndrome de déficience non verbale affectant en outre l'adaptation sociale et la stabilité émotionnelle.

Sur le plan des performances arithmétiques, il existerait selon Rourke (1993) d'importantes différences qualitatives dans les déficits en arithmétique manifestés par les enfants des groupes 2 et 3. Ces derniers commettraient des erreurs liées à l'organisation spatiale des nombres dans les opérations, des erreurs d'inattention dues à leur négligence de certains

détails visuels, ils oublieraient des étapes dans les procédures de calcul, auraient des difficultés à passer d'une activité à l'autre, présenteraient des troubles graphomoteurs, des insuffisances de raisonnement et de jugement. Ils présenteraient aussi des difficultés à mémoriser les faits numériques, bien que ce type d'erreur ne soit pas prédominant dans le profil. Hélas, l'auteur ne fournit pas de description aussi détaillée des erreurs commises par les enfants du groupe 2.

La cohérence et la précision de ces descriptions ont de quoi impressionner de même que le contraste saisissant que brosse Rourke entre deux types de dyscalculie que tout semble opposer. Néanmoins, malgré son caractère intuitivement attractif (les troubles de la lecture étant de toute évidence liés à la sphère verbale, les troubles du calcul seraient, eux, associés à un déficit des aspects non-verbaux), un examen attentif des travaux disponibles, y compris ceux de Rourke lui-même, conduit à tempérer ce que l'auteur présente souvent comme des faits acquis. Tout d'abord, il convient de souligner que les groupes 2 et 3 présentés par Rourke et Finlayson (1978) ne correspondent pas totalement à la description que les auteurs en font et qui sera ensuite fréquemment reprise (Badian, 1983). En effet, il ne s'agit pas de deux groupes dont l'un aurait des troubles spécifiques en lecture et l'autre des troubles spécifiques en arithmétique. En réalité, ces groupes ne se différencient pas sur leurs performances en arithmétique, mais seulement en lecture. Il s'agit de dyscalculiques dans les deux cas, les uns présentant en outre des difficultés en lecture, les autres non. Ceci explique pourquoi les moyennes du groupe 2 ne se distinguent en rien de celles du groupe 1 (enfants déficitaires dans les deux domaines) dans l'étude princeps de Rourke et Finlayson (1978) et pourquoi les auteurs sont si peu intéressés par ce groupe 1 qui ne fait l'objet de pratiquement aucune analyse. Ce point, sur lequel les auteurs demeurent discrets, sera plus ouvertement reconnu dans les travaux ultérieurs. Il est cependant important et jette un éclairage tout autre sur les différences que rapporte Rourke entre les deux groupes. Étant établi que le groupe 2 présente en fait un déficit en lecture et en arithmétique alors que les déficits du groupe 3 se cantonnent à l'arithmétique, il devient paradoxal de présenter les enfants du groupe 2 comme des individus dont les déficits se limiteraient à la sphère verbale comme le fait Rourke (1993). Par ailleurs, certains résultats rapportés par leurs auteurs comme conformes aux conceptions de Rourke s'en éloignent de manière importante. C'est par exemple le cas de Share et coll. (1988). Ces auteurs testent les hypothèses de Rourke concernant les patterns de QI des enfants selon que leur déficit est spécifique à l'arithmétique (A) ou s'étend à la lecture (A et L). Le pattern d'un QI verbal supérieur au QI performance chez les enfants de type A ne s'observe que chez les garçons mais s'inverse chez les filles. Sur l'ensemble du groupe, la différence disparaît. Les hypothèses initiales de Rourke prévoyaient aussi que le QI performance des enfants du groupe 2 (ici A et L) devait être supérieur à celui du groupe 3 (ici A). Cette différence, négligeable chez les garçons, s'inverse très nettement chez les filles (les filles A ont un QI verbal

inférieur à leur QI performance, lequel est très nettement supérieur à celui des filles A et L), si bien que sur l'ensemble des sujets c'est l'effet inverse de celui prédit par Rourke qui apparaît. En fait, les enfants A et L ont certes un QI verbal faible (le contraire eut étonné) mais un QI performance lui aussi largement inférieur à des enfants témoins. En outre, les enfants A ont un QI verbal inférieur à celui du groupe témoin. Les auteurs sont conduits à conclure que des déficits limités à la sphère langagière ne sont pas suffisants pour expliquer des difficultés en arithmétique s'accompagnant aussi de difficultés en lecture et que si les garçons présentant une dyscalculie spécifique ont des habiletés non verbales faibles (ce qui n'est pas le cas chez les filles), il ne s'en suit pas que leurs déficits sont exclusivement non-verbaux. Dowker (1998) étudiant les relations entre habiletés numériques chez des enfants tout-venant de 6 à 9 ans et scores de QI verbal et performance n'observe pas que le QI performance est plus lié aux performances arithmétiques que le QI verbal. C'est plutôt le contraire qui serait observé.

D'autres études conduisent à fortement tempérer les conclusions de Rourke. Lewis et coll. (1994) n'observent pas que les habiletés non verbales des enfants présentant des déficits spécifiques en arithmétique soient inférieures à celles des enfants présentant en outre des difficultés en lecture, et observent même le contraire. Comme le relève Shalev (2003) et comme nous l'avons vu plus haut, la plupart des études ayant comparé les difficultés rencontrées en arithmétique par divers types de dyscalculiques montrent que ceux qui ont en outre des difficultés en lecture présentent, contrairement aux descriptions de Rourke, les problèmes les plus importants et les plus étendus (Fletcher, 2005). Les différences qualitatives semblent rares entre les groupes et de plus variables d'une étude à l'autre. De manière assez ironique, le déficit le plus régulièrement rapporté chez les enfants ayant des difficultés spécifiques en arithmétique concerne celui auquel Rourke accorde le moins d'importance : la récupération des faits numériques en mémoire. En outre, comme nous le verrons dans l'étude de l'évolution des troubles, les formes de dyscalculie les plus stables et les plus persistantes, suggérant les troubles les plus profonds et envahissants, sont celles qui s'accompagnent de difficultés en lecture. Enfin, les travaux abordant la nature des erreurs en arithmétique commises par les enfants selon que l'intégrité des hémisphères droit ou gauche est atteinte ne confirment pas les descriptions de Rourke. Certes, certaines études rapportent que des atteintes de l'hémisphère droit entraînent plus fréquemment que celles de l'hémisphère gauche des troubles en arithmétique (Aram et Ekelman, 1988). Toutefois, toutes les études ne convergent pas, loin s'en faut. Ashcraft et coll. (1992) comparent les performances et erreurs en arithmétique d'enfants et adolescents présentant une lésion cérébrale acquise gauche ou droite, pour la plupart à la suite d'un accident vasculaire cérébral. Il apparaît que les enfants ayant souffert d'une lésion dans l'hémisphère gauche présentent les troubles les plus importants dans une large gamme d'activités. Les déficits observés chez les enfants présentant une lésion à droite sont moins prononcés et de même nature, y com-

pris lorsqu'une analyse qualitative des erreurs observées est conduite. Ashcraft et coll. (1992), reprenant les conclusions de Spiers (1987) et anticipant celles de Butterworth (1999), proposent que les traitements numériques et mathématiques dépendent principalement de l'hémisphère gauche. On peut à ce propos rappeler que le syndrome de Gertsman, que Rourke (1993) rapproche du syndrome de difficulté d'apprentissage non verbal intéresse l'hémisphère gauche.

Pour conclure, bien qu'elle soit demeurée influente, on peut douter de la pertinence de la classification proposée par Rourke. Il existe sans doute des enfants présentant des troubles spécifiques de l'arithmétique associés à des difficultés d'organisation visuo-spatiale, mais il est en tout état de cause impossible d'affirmer que les enfants présentant des difficultés spécifiques en arithmétique présenteraient systématiquement de telles difficultés visuo-spatiales ni que ces difficultés spécifiques proviendraient d'un dysfonctionnement relatif de l'hémisphère droit. Il est en revanche possible d'affirmer, devant la convergence des résultats, que les troubles isolés de l'arithmétique sont, contrairement à ce que décrit Rourke, moins étendus, importants, et persistants que ceux s'accompagnant en outre d'un trouble de la lecture.

Classifications cognitives

Alors que les classifications décrites jusqu'ici s'appuient sur des analyses cliniques et une investigation des processus intellectuels reposant sur les tests d'intelligence (principalement la WISC), les classifications regroupées dans cette sous-partie sont fondées sur des distinctions introduites par la psychologie cognitive concernant les divers processus qui sous-tendent les activités numériques. Trois classifications ont été proposées dans cette optique par Temple (1992), Geary (1993) et Von Aster (2000).

Temple (1992) propose une classification basée sur l'architecture cognitive que proposent McCloskey et coll. (1985). Ces auteurs, sur la base d'études neuropsychologiques chez l'adulte rapportant des doubles dissociations, proposent que trois modules fonctionnellement indépendants assurent les traitements numériques et le calcul. Le premier module est dit de compréhension des nombres. Il a pour rôle de transformer les entrées verbales ou en chiffres arabes en une représentation sémantique de la quantité à laquelle ses entrées réfèrent. Le second module, de production, traduit les représentations sémantiques en sorties verbales ou en chiffres arabes. Un troisième module est dévolu aux mécanismes de calcul. Ce module comporte à la fois les faits arithmétiques connus et pouvant être retrouvés ainsi que les procédures de calcul requises lorsque la réponse ne peut être directement atteinte par récupération. Doivent être ajoutés à ces procédures les algorithmes associés aux opérateurs arithmétiques. Sur cette base, Temple (1992) distingue trois types de dyscalculie :

• une dyscalculie du traitement numérique qui se caractérise par des difficultés dans le traitement des symboles numériques ou des mots comme des difficultés à lire ou écrire les nombres. Temple (1989) décrit par exemple le cas d'un enfant de 11 ans qui bien qu'ayant un niveau normal de lecture des mots présente d'importantes difficultés pour lire les nombres ou les écrire sous dictée. Noël (2000) fait cependant remarquer, à juste titre, que ce cas est loin d'être « pur », l'enfant ne maîtrisant en fait aucun concept ou opération et ne réussissant à résoudre que des additions dont le total est inférieur à 10 ;
• une dyscalculie des faits numériques qui se caractérise par une incapacité à acquérir les tables d'addition et de multiplication. Temple (1991) décrit un cas d'adolescente qui malgré une intelligence normale et une bonne maîtrise des procédures de calculs commet un grand nombre d'erreurs sur les multiplications simples, produisant le plus fréquemment des résultats faux mais appartenant à la table de l'un ou des deux opérandes (voir dans la section précédente l'étude de Barrouillet et coll., 1997, pour une description de ce phénomène) ;
• une dyscalculie procédurale qui se caractérise par une difficulté à planifier et exécuter les diverses étapes des algorithmes de calcul, principalement lorsque les calculs sont complexes et écrits. Là encore, Temple (1991) décrit un cas d'adolescent illustrant ce type chez qui la maîtrise des faits arithmétiques contraste avec les difficultés de résolution des soustractions, multiplications et divisions.

Selon Temple (1997), les dyscalculies développementales qui résultent du dysfonctionnement des modules décrits par McCloskey et coll. (1985) sont comparables aux dissociations fonctionnelles observées chez les patients adultes souffrant d'acalculie suite à des atteintes cérébrales. On notera cependant qu'il s'agit là d'études de cas sur lesquelles il peut être imprudent de fonder des classifications générales. En outre, il arrive parfois que les auteurs forcent un peu le trait pour rendre claires des dissociations qui ne le sont pas totalement. Cependant, ces dissociations n'en restent pas moins frappantes et témoignent a minima de la complexité et de la variété des processus cognitifs sous-tendant les activités arithmétiques et mathématiques.

Une classification proche de celle de Temple a été proposée par Geary (1993). Cet auteur reprend la catégorie désignée par Temple comme dyscalculie procédurale en la précisant : ces enfants utilisent, comme nous l'avons vu, des procédures immatures de comptage et font preuve d'une faible compréhension des concepts qui sous-tendent cette activité. Ce type de dyscalculie est considéré par Geary comme relevant principalement d'un retard de développement résultant probablement d'un dysfonctionnement de l'hémisphère gauche. La dyscalculie des faits numériques chez Temple est ici décrite comme résultant d'un trouble de la mémoire sémantique avec des difficultés à retrouver les faits numériques en mémoire, des temps de récupération particulièrement lents et variables ainsi qu'une forte propension à commettre

des erreurs provoquées par des interférences dans la récupération des réponses. Bien que probablement lié à un dysfonctionnement dans l'hémisphère gauche, ce sous-type se distingue du précédent par le fait qu'il s'agirait, pour Geary, non pas d'un simple retard de développement mais d'une réelle différence, génétiquement héritable, qui reste inchangée tout au long du développement. Enfin, Geary distingue un type visuo-spatial. Celui-ci se traduirait par de mauvais alignements des chiffres dans les opérations posées ou encore une mauvaise interprétation de l'information positionnelle dans l'écriture en base 10. Geary et Hoard (2005) précisent que ce type pourrait aussi s'accompagner de difficultés à représenter de manière spatiale la taille des nombres dans la ligne numérique orientée postulée par Dehaene et Cohen (1997), laquelle constitue la base de ce que ces auteurs appellent le « sens » du nombre. Toutefois, Geary précise que cette hypothèse n'a pas encore été testée.

Comme on le voit, ces deux classifications sont basées sur les apports de la psychologie cognitive à l'étude des activités numériques et de leur développement. Elles reprennent l'opposition générale qui est classiquement établie, dans les processus conduisant à la réponse, entre stratégies procédurales et récupération en mémoire (Logan, 1988 ; Siegler, 1996). Des déficiences dans chacun de ces deux versants des processus cognitifs conduiraient à des dyscalculies procédurales d'une part, « mémorielles » d'autre part. On notera que bien que distincts, les types que Temple et Geary décrivent respectivement comme dyscalculie des traitements numériques et déficit visuo-spatial se recoupent sur certains points, comme les problèmes liés à la valeur positionnelle des chiffres dans l'écriture de la forme arabe des nombres, problèmes tantôt imputés à des troubles de l'organisation spatiale, tantôt à un module spécialisé dans le transcodage.

Von Aster (2000) a pour sa part proposé une classification s'appuyant sur le modèle dit du « triple code » de Dehaene (Dehaene 1992 et 1997 ; Dehaene et Cohen, 1995 et 1997). Selon ce modèle, l'information numérique peut être manipulée dans trois formats de représentation : une représentation analogique codant la magnitude du nombre, un code verbal, et un code visuel pour l'écriture en chiffres arabes. Le code analogique supporterait une représentation sémantique des nombres (de la quantité à laquelle ils réfèrent) sur une ligne numérique mentale orientée. Il serait impliqué dans les activités de comparaison des nombres ainsi que dans l'estimation des quantités et les calculs approximatifs. Le code verbal serait impliqué dans les activités de comptage mais aussi dans l'apprentissage et le maintien des faits numériques (tables d'addition et de multiplication) qui seraient stockés sous une forme verbale. Le code arabe serait impliqué dans les calculs complexes mais aussi dans les jugements de parité. Contrairement au modèle précédemment évoqué de McCloskey et coll. (1985), il existerait des connexions directes entre ces trois codes permettant par exemple de passer directement d'une représentation verbale à une représentation arabe sans qu'une repré-

sentation sémantique du nombre soit nécessairement évoquée. Ceci serait rendu possible par le fait que ces trois codes seraient implantés dans trois systèmes cérébraux distincts mais interconnectés[27].

Ainsi, Von Aster décrit trois types de dyscalculie. Il existerait une dyscalculie verbale dans laquelle les enfants éprouveraient des difficultés dans la mise en route des routines de comptage pour effectuer les additions ainsi que dans le stockage et la récupération des faits numériques. Ce type s'accompagnerait fréquemment de difficultés en lecture (50 % selon l'auteur) et de déficits de l'attention avec hyperactivité. Le second type est dit sous-type arabe. Les enfants éprouveraient d'importantes difficultés pour lire et écrire les nombres en chiffres arabes, ce qui se rapproche de la dyscalculie du traitement numérique décrite par Temple (1989). Enfin, Von Aster suggère l'existence d'un type général (*pervasive*) regroupant les enfants ayant des difficultés dans pratiquement tous les domaines de l'activité numérique. Ceci serait dû, selon l'auteur, à un mauvais développement des structures cérébrales qui sous-tendent le code analogique dans le modèle du triple code, privant ces enfants du « sens » des nombres et entraînant des troubles généraux. Toutefois, l'auteur ajoute aussi que pratiquement tous les enfants de ce groupe présentent aussi des difficultés en lecture, suggérant que les troubles dépassent de très loin une simple atteinte du code analogique, lequel est dans le modèle de Dehaene non verbal.

En résumé, il est clair ici encore qu'il n'existe pas de consensus sur l'existence de divers sous-types de dyscalculie. Comme on a pu le voir, chaque auteur distingue des sous-types à partir des modèles théoriques qu'il privilégie. Des travaux plus approfondis seraient sans doute nécessaires pour établir l'existence d'éventuels sous-types.

Facteurs causaux

Comme les diverses classifications exposées ci-dessus le laissent deviner, il n'existe pas de consensus quant aux causes de la dyscalculie. Schématiquement, on peut opposer, comme le fait Butterworth (2005), les auteurs qui proposent que la dyscalculie est une manifestation secondaire d'un déficit cognitif plus général ou plus élémentaire à ceux qui pensent qu'elle est un trouble primaire lié au dysfonctionnement d'un système neuro-anatomique spécifique aux traitements numériques. Dans le premier cas, deux déficits généraux ont été supposés à la source de la dyscalculie : un déficit mémoriel

27. Le code analogique serait implanté de manière bilatérale dans les aires pariétales gauche et droite aux alentours de la jonction pariéto-occipito-temporale de chaque hémisphère. Le code arabe serait aussi implanté dans les deux hémisphères dans les régions occipito-temporales. Enfin, le code verbal serait implanté dans les aires du langage de l'hémisphère gauche.

lié principalement à de faibles ressources en mémoire de travail ou bien un trouble des habiletés visuo-spatiales.

Dyscalculie et mémoire de travail

L'arithmétique étant de toute évidence une activité complexe et de haut niveau sur le plan cognitif, il est naturel que les psychologues aient cherché la cause des troubles dans une déficience des systèmes sollicités par les activités complexes et contrôlées, le plus important d'entre eux étant la mémoire de travail. Geary (1993) a probablement présenté l'exposé le plus détaillé de l'hypothèse sous-tendant cette proposition. Dans sa revue sur les troubles des apprentissages arithmétiques, Geary (1993) souligne que les deux déficits fondamentaux qui caractérisent les enfants qui en sont atteints sont d'une part un retard développemental dans l'utilisation des procédures de calcul qui demeurent immatures, et d'autre part une difficulté notoire à stocker en mémoire, maintenir et retrouver les faits arithmétiques. Ces deux aspects seraient en fait étroitement liés. En effet, il est communément admis, comme nous l'avons vu précédemment, que la mémorisation des faits arithmétiques les plus élémentaires (les faits additifs) résulte de l'association en mémoire des problèmes et de leur réponse obtenue à l'origine à l'aide de procédures algorithmiques de comptage (Siegler, 1996). De faibles capacités en mémoire de travail entraînent une vitesse de traitement réduite rendant les procédures de comptage particulièrement lentes. Cette lenteur favoriserait les erreurs mais aussi l'oubli des valeurs devant être temporairement maintenues en mémoire à court terme jusqu'à ce que la réponse qui doit leur être associée soit obtenue. Thévenot et coll. (2001) ont démontré l'existence de ce phénomène d'oubli des opérandes au cours du calcul algorithmique de la réponse, même chez les adultes. Les enfants disposant de faibles capacités en mémoire de travail auraient ainsi moins de chances que les autres de mémoriser les faits arithmétiques. Le fait que les capacités en mémoire de travail des enfants comme des adolescents sont liées à leurs performances scolaires en arithmétique et mathématiques ne fait aucun doute (Gathercole et Pickering, 2000 ; Bull et Scérif, 2001 ; Gathercole et coll., 2004 ; Lépine et coll., 2005). Plus spécifiquement, Barrouillet et Lépine (2005) ont montré que chez les enfants de 9 et 10 ans la récupération des faits numériques en mémoire est d'autant plus rare et lente que leurs capacités en mémoire de travail sont faibles. Les très faibles performances des dyscalculiques devraient donc s'accompagner de faibles capacités en mémoire de travail.

De fait, de très nombreuses études ont montré que les enfants dyscalculiques ont des capacités en mémoire de travail, voire en mémoire à court terme (évaluées par un simple empan de chiffres) inférieures à celles d'enfants du même âge obtenant des performances normales (Siegel et Ryan, 1989 ; Geary et coll., 1991 ; Hitch et Mc Auley, 1991 ; Swanson, 1993 ; Koontz et Berch, 1996 ; Bull et Johnston, 1997 ; Mc Lean et Hitch, 1999). Cette différence s'observe même lorsque l'effet du QI est contrôlé (Geary et coll., 1999 ; Geary et coll., 2000 ; Geary et coll., 2004). À notre connaissance, seules deux études rapportent une

absence de différence entre dyscalculiques et témoins sur des épreuves mémorielles, celle de Temple et Sherwood (2002) dans laquelle les sujets dyscalculiques sont en outre atteints du syndrome de Turner et celle de Landerl et coll. (2004). On notera cependant que dans cette dernière étude, et comme on l'a déjà souligné précédemment, les sujets sont classés dyscalculiques sur la base de leur lenteur à résoudre des opérations, ce qui est un critère de classification plutôt inhabituel. En revanche, Bull et coll. (1999) rapportent que les différences d'empan de chiffres, de mots et de comptage entre enfants présentant ou non des déficiences en arithmétique disparaissent lorsque les différences individuelles en lecture sont contrôlées. Toutefois, même dans ce cas, les empans en mémoire continuent à être des prédicteurs des performances en arithmétique. Les auteurs font à ce propos remarquer que beaucoup d'études ne prennent pas en compte ce facteur dans l'évaluation des différences en mémoire de travail ou mémoire à court terme (Siegel et Ryan, 1989 ; Geary et coll., 1991 ; Hitch et McAuley, 1991). Ils concluent qu'il est difficile d'affirmer avec certitude que les déficits en arithmétique sont spécifiquement dus à des limitations de la mémoire à court terme : bien que les limitations en mémoire soient manifestement impliquées dans les difficultés en arithmétique, elles agissent en conjonction avec d'autres facteurs dont le principal semble être la vitesse de traitement de l'information. Les auteurs ont peut-être raison mais le problème se complique du fait que mémoire de travail et mémoire à court terme ne peuvent totalement être confondues et que les théories récentes de la mémoire de travail font de la vitesse de traitement un des facteurs explicatifs (mais non le seul) des empans en mémoire de travail (Barrouillet et coll., 2004b).

En résumé, la grande majorité des études disponibles confirment que les enfants dyscalculiques disposent de capacités réduites en mémoire de travail. Ce déficit pourrait être à la source de leurs fréquentes erreurs dans la mise en œuvre des procédures de comptage et de leurs difficultés à mémoriser les faits numériques. Ces faibles capacités pourraient aussi rendre compte du fait que les enfants en difficulté d'apprentissage semblent, comme nous l'avons vu plus haut, moins aptes que les autres à inhiber les réponses incorrectes lors de la recherche en mémoire (Barrouillet et coll., 1997 ; Geray et coll., 2004). Ajoutons que l'analyse des résultats est rendue malaisée par le fait que peu d'auteurs, dans le domaine des difficultés d'apprentissage, établissent des distinctions claires entre empans simples de mémoire à court terme et empans complexes de mémoire de travail[28]. De même que les seconds sont de

28. Les empans simples de mémoire à court terme (MCT) consistent en une tâche de rappel immédiat d'une série de chiffres, lettres ou mots présentés oralement ou d'une série d'items présentés visuellement. Les empans complexes de mémoire de travail (MDT) impliquent quant à eux une activité secondaire devant être effectuée durant le maintien des items avant rappel. Par exemple, dans l'empan de comptage, l'enfant dénombre une série de planches de points et doit rappeler à la fin de la série et dans l'ordre de présentation le cardinal de chaque planche dénombrée. Les empans simples de MCT sont considérés habituellement comme des mesures relativement grossières des capacités en mémoire de travail (Conway et Engle, 1994).

meilleurs prédicteurs des performances scolaires que les premiers (Daneman et Carpenter, 1980), il n'est pas exclu qu'une partie des résultats contradictoires relevés soit due à la confusion entre les deux types d'empan.

Dyscalculie et habiletés visuo-spatiales

On a vu que de nombreux auteurs proposent que les troubles de l'arithmétique et les dyscalculies, ou certains sous-types de dyscalculie, sont dus à un déficit plus général des habiletés visuo-spatiales. Les hypothèses visant à rendre compte de l'impact des habiletés spatiales sur l'arithmétique ont évolué avec le temps. Badian (1983) suppose que des habiletés spatiales déficientes pourraient avoir un impact sur la résolution des opérations posées (mauvais alignement des chiffres, saut de colonne) ou sur le transcodage avec des difficultés à maîtriser l'écriture positionnelle ; cette hypothèse est à nouveau reprise par Geary et Hoard (2005). Dans ce cas, l'impact serait expliqué par le fait que certaines activités numériques comportent une composante spatiale. Selon Rourke, les déficits visuo-spatiaux accompagnent plus qu'ils ne provoquent les difficultés en arithmétique, les deux types de déficits découlant d'un dysfonctionnement de l'hémisphère droit. Dans les travaux plus récents, il est suggéré que des troubles de l'espace perturberaient la construction et l'utilisation de la représentation spatiale analogique et orientée, la ligne numérique, qui selon Dehaene coderait la magnitude du nombre et en fournirait le sens. Un tel trouble aurait ainsi une répercussion sur l'ensemble des activités numériques (Von Aster, 2000). Une mauvaise représentation spatiale des nombres pourrait même expliquer selon Jordan et coll. (2003a et b) les difficultés d'apprentissage des faits numériques. Les difficultés de manipulation de la ligne numérique perturberaient les procédures de comptage à la source des associations en mémoire entre problèmes et réponses.

Bien que l'association entre troubles spatiaux et troubles du calcul ait une longue histoire dans les modèles théoriques, les empiries établissant clairement un déficit des fonctions spatiales chez les dyscalculiques sont étonnamment éparses. Bien entendu, il existe celles rapportées par Rourke (Rourke et Finlayson, 1978 ; Rourke et Strang, 1978) qui indiquent que les enfants dyscalculiques ont de plus faibles performances que les enfants tout-venant dans les sub-tests « Complètement d'images », « Arrangements d'images », « Cubes, et Assemblage d'objets » de la WISC-R (Weschler, 1974). Jordan et coll. (2003a et b) ont rapporté des faits similaires, les enfants ayant une faible maîtrise des faits arithmétiques présentant de plus faibles performances dans les épreuves de QI non verbal. Cependant, nous avons aussi vu que le caractère spécifique de ces difficultés n'a pas toujours été répliqué, suggérant qu'elles pouvaient aussi être simplement liées à un faible niveau intellectuel général. Par exemple, Geary et coll. (2000) n'observent plus de différences selon les habiletés en arithmétique sur une épreuve de labyrinthes lorsque l'effet du QI est contrôlé. De même, les faibles performances des

dyscalculiques dans les *Making Trails tasks* ont parfois été rapportées à des problèmes d'intégration visuo-motrice (White et coll., 1992). Ce sont des tâches dans lesquelles l'enfant doit alterner deux séries, par exemple des chiffres et des lettres, en reliant par un trait des cercles contenant des nombres de 1 à 11 ou des lettres de A à K selon l'ordre 1-A-2-B-3-C…11-K. Cependant, Mc Lean et Hitch (1999) observent que les dyscalculiques ont aussi des difficultés dans les versions verbales de ces tâches (produire verbalement la série alternée), ce qui suggère que les problèmes rencontrés dans les *Making Trails tasks* sont plutôt dus à des difficultés à alterner rapidement des tâches plutôt qu'à des problèmes visuo-moteurs.

Ce puzzle pourrait trouver sa solution dans l'observation par Share et coll. (1988) que les déficits visuo-spatiaux semblent caractériser les garçons mais non les filles dyscalculiques. La diversité des résultats rapportés dans la littérature pourrait alors s'expliquer par le fait que l'analyse des résultats ne se fait pratiquement jamais en prenant en compte le sexe des sujets. Les différences pourraient dès lors dépendre de la proportion de garçons et de filles dans les populations expérimentales retenues.

Dyscalculie et atteinte d'un « module numérique »

Les facteurs évoqués jusqu'ici relient la dyscalculie à un trouble cognitif plus général dont la dyscalculie serait une manifestation. D'autres auteurs au contraire proposent que la dyscalculie résulterait d'un déficit sélectif et spécifique dans une capacité élémentaire à comprendre les nombres. Selon cette conception, principalement défendue par Butterworth (2005), les êtres humains naissent avec une capacité à reconnaître et manipuler mentalement des numérosités. Cette capacité résulterait de l'existence de circuits neuronaux spécifiques spécialisés dans les traitements numériques dont le mauvais développement ou fonctionnement serait à la source de la dyscalculie.

Cette hypothèse prend sa source dans les travaux de psychologie cognitive de ces trente dernières années qui ont mis en évidence des capacités jusque-là insoupçonnées chez les bébés humains. En utilisant des paradigmes expérimentaux particulièrement astucieux reposant sur le phénomène d'habituation, Starkey et Cooper (1980) ont mis en évidence la capacité chez des bébés de 5 mois à discriminer entre des collections de 2 et de 3 objets. Quelques années plus tard, Antell et Keating (1983) retrouvaient cette même capacité chez des bébés âgés seulement de 1 à 3 jours. De nombreuses études ont répliqué ces résultats quelle que soit la manipulation des conditions de présentation des objets (Starkey et coll., 1990). Cependant, pour des quantités supérieures à 3, les résultats sont beaucoup moins clairs. Par exemple, les bébés de 10-12 mois ne pourraient pas discriminer 4 de 5 (Strauss et Curtiss, 1984). Plus récemment, on a établi que les bébés avaient la capacité de discriminer des collections de plus grande taille à condition qu'elles diffèrent suffisamment entre elles. Par exemple, des bébés de 6 mois peuvent faire la

différence entre des collections de 8 et 16 objets mais ne peuvent discriminer 8 de 12 (Xu et Spelke, 2000). Une preuve supplémentaire des capacités numériques innées provient des recherches portant sur l'appariement de collections selon leur taille. Les bébés sont capables d'associer des collections ayant la même taille et ceci bien que ces collections aient été présentées dans des modalités sensorielles différentes (visuelle et auditive, Starkey et coll., 1990 ; voir cependant Moore et coll., 1987). Certains auteurs ont même affirmé que les bébés seraient capables d'effectuer des opérations élémentaires. Dans une série d'expériences, Wynn (1992) a montré que des bébés de 5 mois étaient capables d'effectuer des « calculs » (addition et soustraction) sur de petites quantités (1+1 ou 2-1). Ces résultats ont été répliqués de nombreuses fois (Uller et coll., 1999).

Ces compétences seraient liées à deux systèmes élémentaires et innés de traitement des nombres que nous partageons avec d'autres espèces animales (Feigenson et coll., 2004). Le premier, que nous avons déjà évoqué dans la présentation du modèle du triple code de Dehaene, permettrait la représentation de grandes quantités mais de façon approximative alors que le second permettrait la reconnaissance et discrimination précises de petites quantités mais serait limité à 4 voire 3 items maximum. De nombreuses études utilisant les potentiels évoqués (Dehaene, 1996 ; Kiefer et Dehaene, 1997) ou l'imagerie fonctionnelle (Dehaene et coll., 1999 ; Pinel et coll., 2001) convergent pour suggérer que le premier système est implémenté de manière bilatérale dans le cortex pariétal, et plus précisément dans le sillon intrapariétal. Les associations entre ces aires et celles du langage permettraient la représentation précise des grands nombres et de leur signification. De manière intéressante, les sillons intrapariétaux sont aussi impliqués dans le contrôle des doigts que les enfants utilisent pour compter. En revanche, les tentatives d'identification des corrélats neuronaux du second système ont jusqu'ici échoué.

L'hypothèse générale est que ces systèmes constitueraient les fondements de notre compréhension du nombre et de l'acquisition des habiletés numériques. Ainsi, des déficits précoces de ces systèmes, et principalement du premier, ou une anomalie dans leur développement pourraient être la cause de la dyscalculie chez des enfants se développant par ailleurs de façon tout à fait normale (Feigenson et coll., 2004). Par exemple, pour Butterworth (1999), une atteinte des lobes pariétaux, et plus particulièrement dans l'hémisphère gauche, pourrait affecter à la fois la représentation des doigts qui constitue la source de la représentation précise des nombres au travers des activités de comptage, ainsi que la représentation approximative des quantités permettant les activités d'estimation et de comparaison comme l'a montré Dehaene (1996). La proximité des aires impliquées entraînerait un déficit spécifique du sens des nombres et à terme la dyscalculie. Cette hypothèse donnerait par ailleurs un sens au syndrome de Gertsman qui associe la dyscalculie à une agnosie digitale.

Bien que séduisante, l'hypothèse de l'atteinte d'un « module numérique » n'a reçu jusqu'ici que de rares confirmations empiriques. Il a été observé une perte de matière grise dans le sillon intrapariétal pour deux atteintes associées à la dyscalculie, la grande prématurité (Isaacs et coll., 2001) et le syndrome de Turner (Molko et coll., 2003). Sur le plan comportemental, l'hypothèse du « module numérique » prédit que non seulement l'arithmétique, mais aussi et surtout les activités numériques les plus élémentaires, devraient être affectées. C'est le but de l'étude de Landerl et coll. (2004) déjà évoquée plus haut qui tentent de démontrer que les enfants dyscalculiques ont par ailleurs des déficits dans des activités comme la comparaison de nombres. Bien qu'intéressante, cette étude est cependant comme nous l'avons dit peu concluante. Les enfants dyscalculiques sont certes plus lents que leurs témoins dans une tâche de comparaison mais les groupes avaient au préalable été établis sur la base d'une autre épreuve chronométrée (résolution d'additions et de multiplications). Une autre voie serait d'établir un lien entre l'intégrité des systèmes élémentaires en œuvre chez le bébé et les performances ultérieures en arithmétique. Ansari et Karmiloff-Smith (2002) rapportent une étude où des bébés atteints soit du syndrome de Williams soit de celui de Down sont comparés à des bébés normaux dans une tâche de discrimination de quantités comme celles décrites précédemment (2 *versus* 3 objets). Il apparaît que les bébés atteints du syndrome de Williams ont un comportement comparable à celui des témoins dans leur sensibilité aux différences de quantité. En revanche, les enfants atteints du syndrome de Down semblent privés de ces capacités précoces de discrimination de numérosité. Toutefois, il est connu que les adultes atteints du syndrome de Williams présentent des déficits en arithmétique nettement plus prononcés que les adultes atteints du syndrome de Down. Certes, on peut comme les auteurs conclure de ces faits que le développement est non linéaire, mais on pourrait aussi, et peut-être plus simplement, en inférer que les habiletés précoces mises en évidence chez les nourrissons dans la discrimination de quantités demeurent sans lien avec les acquisitions numériques ultérieures. Finalement, l'étude comportementale apportant le plus de crédit à l'hypothèse du « module numérique » est peut-être celle de Fayol et coll. (1998), bien que celle-ci ne concerne pas directement la dyscalculie. Ces auteurs montrent que les performances d'enfants de 5 et 6 ans à des épreuves neuropsychologiques de gnosie et de discrimination digitale sont de meilleurs prédicteurs des performances arithmétiques en CP que le niveau de développement évalué à l'aide d'épreuves de dessin. Ces données sont confirmées par une étude longitudinale jusqu'au CE2 (Marinthe et coll., 2001). Bien que conformes à l'hypothèse générale de Butterworth, ces résultats ne sont cependant pas totalement concluants, l'évaluation du niveau de développement manquant sans doute de précision et l'étude ne portant pas spécifiquement sur une population en difficulté d'apprentissage.

Dyscalculie et facteurs causaux

Comme on peut le voir, malgré de nombreuses études, les causes de la dyscalculie demeurent obscures et pour l'heure largement indéterminées. S'il semble que les enfants dyscalculiques présentent des déficits de la mémoire de travail et des habiletés spatiales, il est possible que ces troubles n'aient pas le rôle déterminant que beaucoup leur accordent. Peut-être sont-ils fréquemment associés à la dyscalculie sans jouer aucun rôle causal. D'autre part, bien que les aires cérébrales identifiées par Dehaene jouent un rôle certain dans les traitements numériques, il n'en est pas pour autant assuré que les dyscalculies résultent de leur dysfonctionnement. Les activités numériques sont diverses et conceptuellement complexes, et il est peut-être hasardeux de supposer que notre capacité à comprendre et manipuler les nombres dépend du bon fonctionnement d'un ou même plusieurs modules numériques. En effet, certaines des prémisses sur lesquelles l'hypothèse du module numérique a été construite n'ont pas jusqu'ici reçu de confirmation empirique. Ainsi, malgré le caractère spectaculaire des capacités des nourrissons, leur lien avec les activités numériques ultérieures de l'enfant et de l'adulte reste à établir. Il n'est pas exclu par ailleurs que la dyscalculie résulte d'une conjonction des facteurs évoqués plus que de l'un ou l'autre d'entre eux considéré isolément.

Pronostic et évolution de la dyscalculie de développement

Il n'existe pour l'heure pas d'étude de l'impact à long terme de la dyscalculie sur le devenir social ou professionnel des individus atteints de dyscalculie développementale. Toutefois, un certain nombre d'études se sont intéressées à l'évolution des troubles au cours de la scolarité afin d'évaluer la stabilité de l'atteinte au cours du temps ainsi que celle des sous-types parfois distingués. Ces études adoptent bien sûr une démarche longitudinale par suivi de cohorte. Une des plus complètes a été conduite par Shalev et son équipe qui ont suivi les enfants identifiés comme dyscalculiques par Gross-Tsur et coll. (1996). Ceux-ci étaient 140 à l'âge de 11 ans. Rappelons que les critères d'inclusion étaient un QI supérieur à 80 et des performances aux tests d'arithmétique inférieures de deux ans au niveau scolaire actuel de l'enfant. Les mêmes enfants sont testés trois ans plus tard par Shalev et coll. (1998) qui retrouvent 123 des 144 enfants de la cohorte initiale et 6 ans plus tard par Shalev et coll. (2005). Ils sont alors 104. Sont considérés dyscalculiques les enfants situés en dessous du percentile 5 d'une population d'étalonnage. Les auteurs observent que 47 % des enfants diagnostiqués dyscalculiques en CM2 le sont toujours 3 ans plus tard selon les critères retenus, ce taux se maintenant à 40 % 6 ans plus tard. Cependant, après 6 ans, 95 % des enfants continuent à éprouver des difficultés en

mathématiques et se situent dans le quartile inférieur de leur classe d'âge. Les auteurs ont en outre analysé l'impact d'un grand nombre de facteurs sur la persistance de la dyscalculie. Les individus présentant un trouble persistant ont un QI plus faible que les autres et présentent plus fréquemment des troubles attentionnels. Si les 42 enfants qui sont toujours identifiés comme dyscalculiques à 17 ans ne se distinguent pas des autres par de plus fréquentes difficultés en lecture (le taux d'enfants ayant des problèmes en lecture serait inférieur à 10 % dans les deux groupes), ils manifestent cependant plus fréquemment des difficultés sur les tests d'écriture. En revanche, le statut socioéconomique, le niveau d'éducation des parents, le sexe, ou encore les performances au test de la figure de Rey sont des facteurs qui n'ont pas d'impact sur la persistance du trouble. Les auteurs relèvent avec un certain désarroi que les interventions pédagogiques et les diverses tentatives de remédiation n'ont pas d'impact sur la persistance du trouble.

L'étude de Shalev et coll. (1998 et 2005) ne distingue pas entre troubles spécifiques aux mathématiques et troubles plus généraux des apprentissages. On a vu précédemment que cette distinction est pertinente en ce qui concerne l'importance des déficits dans le domaine numérique. L'est-elle aussi en ce qui concerne l'évolution des troubles ? C'est la question que posent Silver et coll. (1999). Les auteurs identifient 80 enfants de 9 à 13 ans présentant une déficience en arithmétique parmi lesquels ils distinguent les enfants ayant des difficultés en arithmétique seulement (sous-type A), en arithmétique et lecture (AL), arithmétique et orthographe (AO) ou bien dans les trois matières (ALO). Pour être classé déficient dans une matière donnée, l'enfant doit obtenir un QI supérieur à 90 (WISC-R), un score standardisé dans la matière inférieur à 90 et s'écartant de plus d'un écart-type (15 points) du QI. Au bout de 19 mois, les mêmes enfants sont à nouveau soumis à des tests scolaires. Les résultats sont conformes aux observations de Shalev, 53 % des enfants étant toujours diagnostiqués dyscalculiques. Toutefois, il existe des différences de stabilité entre les sous-types. Le sous-type le plus stable est constitué des enfants présentant les déficits les plus nombreux : 60 % des enfants classés ALO lors du premier test le sont encore lors du second et 96 % d'entre eux présentent toujours au moins deux matières déficitaires. En revanche, seuls 31 % des enfants catégorisés A lors du premier test le sont toujours lors du second, 42 % d'entre eux ne remplissant plus les critères d'inclusion pour aucune matière. Ce dernier phénomène ne s'observe jamais dans le groupe ALO et seulement chez 17 % des enfants initialement classés AO ou AL. En résumé, l'atteinte est d'autant plus stable qu'elle est généralisée, les troubles en arithmétique étant d'autant plus volatils qu'ils sont spécifiques.

Ces faits se trouvent confirmés par une étude longitudinale conduite par l'équipe de Jordan (Jordan et coll., 2002). Cette étude a la particularité de

recourir à une méthode originale consistant à analyser les courbes de développement afin de déterminer la vitesse de développement (ou d'apprentissage) de divers groupes dans divers domaines d'activité en maintenant constantes un certain nombre de variables telles que le QI, le sexe, ou encore le niveau de revenus des parents. Jordan et coll. (2002) identifient 180 enfants de CE1 ayant des difficultés en mathématiques seulement (MD), en lecture seulement (LD), dans les deux matières (MD-LD) ou bien dans aucune et présentant des performances normales dans les deux domaines (PN). Le critère retenu était un score au dessous du 35e percentile à l'entrée du CE1 (évaluation à l'aide de la batterie Woodcok-Johnson). Il s'agit d'un critère plus élevé qu'à l'accoutumée mais qui présente l'avantage de permettre la constitution d'échantillons importants. Les enfants sont ensuite évalués à trois reprises, au printemps du CE1, à l'automne et au printemps du CE2. Les résultats font apparaître que les enfants MD présentent une vitesse de développement supérieure à celle des enfants MD-LD en mathématiques, qu'il s'agisse d'opérations ou de résolution de problèmes. Dans le domaine des opérations, les enfants MD rejoignent même pratiquement les enfants des groupes PN et LD à la fin du CE2. Les résultats en ce qui concerne la lecture sont fort différents. En début de CE1, les groupes MD et PN sont bien entendu supérieurs aux groupes LD et MD-LD, mais ces différences demeurent inchangées au bout de deux ans, les enfants LD ne se développant pas plus vite que les enfants MD-LD. En d'autres termes, les enfants qui ont un trouble spécifique en arithmétique au début du CE1 se développent plus vite en arithmétique que ceux qui ont des difficultés en arithmétique et en lecture, et ils rattrapent en deux ans une part substantielle de leur retard sur les enfants normaux. À l'inverse, les enfants ayant un trouble spécifique en lecture ne se distinguent pas dans leur apprentissage de lecture des enfants ayant des difficultés globales. Il ressort de cette étude que les difficultés spécifiques en arithmétique sont relativement instables dans le temps, ce qui n'est pas le cas des difficultés en lecture.

En résumé, les études disponibles s'accordent à considérer que la dyscalculie est un trouble relativement persistant. Cette persistance semble d'autant plus forte que la dyscalculie n'est pas un trouble isolé et que le QI de l'enfant est faible, ce qui est somme toute assez peu étonnant. On notera cependant une différence avec la lecture, dont la persistance des troubles semble indépendante d'une éventuelle dyscalculie associée, au moins dans l'étude de Jordan et coll. (2002).

Interventions

Les études rapportant les effets d'interventions auprès d'enfants dyscalculiques en vue d'améliorer leurs performances en arithmétique sont rares. Il

existe certes de nombreux programmes d'intervention auprès d'enfants à risque ayant pour but d'introduire des activités et jeux numériques dans le cursus préscolaire aux États-Unis et en Grande-Bretagne (tableau 11.II). L'efficacité de ces programmes sur des enfants dyscalculiques n'a, à notre connaissance, pas été testée. En revanche, Van Luit et Schopman (2000) ont conduit une étude sur 124 enfants âgés de 5 à 7 ans dont le score à une épreuve de compréhension et de mise en œuvre du dénombrement (*Utrecht Test for Number Sense*) se situait dans le quartile inférieur. La moitié de ces enfants bénéficiaient de deux séances hebdomadaires par groupe de 3 d'une durée d'une demi-heure durant laquelle ils se familiarisaient avec les diverses représentations possibles et le dénombrement de collections de 1 à 15 objets. L'autre moitié constituait le groupe témoin. À la fin des 6 mois d'intervention, le groupe entraîné avait de bien meilleures performances que le groupe témoin, mais seulement sur les activités ayant donné lieu à apprentissage sans aucun transfert à des tâches similaires mais non identiques.

Tableau 11.II : Programmes d'intervention auprès des enfants à risque

Références Pays	Programmes
Programmes préscolaires	
Griffin et coll., 1994 États-Unis	*Righstart Program*
Starkey et Klein, 2000 États-Unis	*Berkeley Maths Readiness Project*
Arnold et coll., 2002 États-Unis	*Head Start Program*
Ginsburg et coll., 2003 États-Unis	*Big Math for Little Kids Program*
Gouvernement britannique Grande-Bretagne	*Family Numeracy Program*
Programmes individuels	
Wright et coll., 2000, 2002 Australie	*Mathematics Recovery Program*
Dowker, 2001 Grande-Bretagne	*Numeracy Recovery*

À l'inverse, l'étude de Trundley (1998) offre des résultats plus encourageants, peut-être parce que les objectifs en étaient aussi plus limités : il s'agissait de faire acquérir des stratégies dites *derived fact* où un résultat est dérivé d'un fait numérique connu (7+5 font 12 parce que 5+5=10 et 2, 12). C'est ici l'impact d'interventions individuelles qui était testé auprès d'enfants en difficulté en arithmétique. Les professeurs impliqués dans le

programme offraient une séance individuelle de 20 minutes par semaine durant laquelle les habiletés de comptage étaient renforcées, les faits arithmétiques déjà connus étaient révisés et l'utilisation de faits numériques était suscitée et entraînée afin de dériver des réponses à des problèmes inconnus. Après 5 mois, le nombre de faits arithmétiques connus avait fortement augmenté, les procédures de comptage s'étaient diversifiées et la stratégie des faits dérivés étendue à de nombreux problèmes. Une intervention auprès de 6 enfants dyscalculiques de 9 et 10 ans conduite par Kaufmann et coll. (2003) portant sur une plus vaste gamme d'activités s'est aussi avérée efficace.

Des programmes individuels s'adressant à des enfants dyscalculiques ont été testés avec succès en Australie, le *Mathematics Recovery Program* (Wright et coll., 2000 et 2002), et en Angleterre le *Numeracy Recovery* (Dowker, 2001). Le premier est intensif (1/2 heure par jour pendant 3 mois), le second l'étant beaucoup moins (1/2 heure par semaine sur 30 semaines). Dans les deux cas, les interventions sont faites par les enseignants. Ces programmes ont la particularité de focaliser leur action sur les aspects des activités numériques les plus déficitaires chez les participants. Ces programmes s'avèrent efficaces, les enfants rattrapant parfois leur retard. Par ailleurs, l'étude de Dowker fait état d'un effet de l'apprentissage lors d'un post-test à un an.

Hasselbring et coll. (1988) ont pour leur part proposé une intervention à des enfants dyscalculiques plus âgés qui, comme on l'a vu, se caractérisent par une incapacité à mémoriser les faits numériques. Les auteurs utilisent un programme informatique qui crée des exercices individualisés présentant un mélange d'opérations dont le résultat est connu de l'enfant et d'opérations dont il ignore la réponse. Le programme force l'enfant à donner sa réponse sur la base d'une récupération en mémoire. L'entraînement était poursuivi jusqu'à ce que l'enfant utilise cette stratégie. Ce procédé est efficace pour la plupart des enfants dyscalculiques mais pas tous. Les enfants utilisant quasi exclusivement des stratégies de comptage sur les doigts ne bénéficient pas de l'apprentissage. Comme le soulignent Gersten et coll. (2005), l'utilisation de l'informatique pour créer des exercices adaptés au niveau de l'enfant constitue sans doute une alternative possible aux exercices sur papier effectués par le groupe classe en entier. De fait, un grand nombre de programmes informatisés ont été développés, les études utilisant ces programmes faisant état de résultats positifs mais sur de petits échantillons. Toutefois, la méta-analyse conduite par Kroesbergen et Van Luit (2003) semble indiquer que les interventions utilisant des programmes informatiques sont moins efficaces que celles conduites par les professeurs.

En résumé, bien que rares, les études sur les interventions laissent penser que des programmes ciblés sur les points les plus déficitaires au cours desquels des exercices adaptés sont proposés par les enseignants en situation individuelle ont une efficacité réelle. Toutefois, il convient de garder à l'esprit que les

troubles précoces sur lesquels portent beaucoup de ces études (6-7 ans) sont aussi les plus labiles, ce qui peut accroître le nombre de faux positifs dans ces études, et que l'effet de ces interventions à long terme demeure jusqu'ici inconnu alors que la dyscalculie est décrite le plus souvent comme un trouble durable, surtout lorsqu'il s'accompagne d'autres difficultés d'apprentissage. Par ailleurs, à l'exception des programmes informatiques et sans amoindrir le mérite des auteurs, le contenu de ces programmes ne semble pas différer fondamentalement des activités numériques que l'on trouve dans les manuels scolaires ou que pourrait imaginer tout pédagogue un peu inventif, une part importante de leur effet résidant peut-être davantage dans le caractère individuel de la prise en charge que dans l'originalité des activités proposées.

En conclusion, comme de nombreux auteurs le font remarquer, les études sur la dyscalculie n'en sont qu'à leurs débuts et notre degré de connaissance dans ce domaine ne peut être comparé à celui que nous avons acquis concernant la dyslexie. Bien que les difficultés rencontrées par de nombreux enfants en arithmétique et plus tard en mathématiques constituent un problème crucial dans une société technologique comme la nôtre, nos connaissances concernant la dyscalculie sont lacunaires et incertaines. Comme nous l'avons vu, il n'existe pas encore de définition ou de critères diagnostiques universellement admis de la dyscalculie. Ses causes demeurent incertaines et font l'objet de débats, certains hésitant même à la considérer comme un trouble primaire et la considérant comme une conséquence d'un trouble plus général des fonctions cognitives. Il n'est pas certain que de réels sous-types qui différeraient qualitativement puissent être distingués. Enfin, les manifestations du trouble ont jusqu'ici été analysées dans les domaines les mieux connus par la psychologie (le dénombrement, les stratégies de résolution des opérations simples, les algorithmes des opérations complexes), lesquels ne constituent qu'une petite partie des activités numériques et arithmétiques auxquelles les enfants sont quotidiennement confrontés dans la classe.

La limitation de nos connaissances concernant la dyscalculie est due à la fois au faible nombre d'études consacrées à la dyscalculie, comparativement à la dyslexie par exemple, mais surtout à l'ampleur et à la difficulté même de l'objet d'étude. Bien que la « lecture » et le « calcul » soient souvent mis sur un pied d'égalité comme les acquisitions fondamentales de l'école primaire, cela ne doit pas faire oublier que ces domaines ne sont pas comparables dans leur complexité sur le plan cognitif. Ce que l'on entend par traitements numériques et arithmétiques recouvre en réalité une grande variété d'activités allant de la quantification rapide de petites collections à la résolution de problèmes à énoncés verbaux impliquant la planification de solutions en plusieurs étapes, en passant par l'utilisation de plusieurs codes (oral, écrit, arabe), de nombreuses formes de dénombrement, la compréhension de la

notation en base 10, celle des nombres décimaux, des fractions, la manipulation d'algorithmes complexes pour résoudre les opérations... En outre, il revient à l'enfant d'intégrer chacune de ces acquisitions dans un système conceptuel qui est un univers à lui seul. Ainsi, il n'est pas étonnant que la dyslexie et les déficits qui la provoquent soient mieux compris que la dyscalculie. En outre, les activités numériques impliquent un tel nombre de fonctions cognitives que l'on peut légitimement douter de la possibilité d'identifier « la » fonction déficitaire qui serait à l'origine des difficultés en arithmétique. En tout état de cause, la dyscalculie est parmi les troubles de l'apprentissage pour lesquels les besoins de recherche sont les plus urgents. Il serait avant toute chose souhaitable que la communauté scientifique parvienne à un accord sur un ensemble de critères unanimement reconnus qui faciliteraient la comparaison entre études. Il est probable que les divergences observées aujourd'hui sont en partie dues au fait que les populations désignées sous des vocables identiques varient parfois fortement d'une étude à l'autre. Ensuite, la plupart des recherches se sont jusqu'ici limitées à un sous-ensemble relativement réduit des activités numériques qui pourraient faire l'objet d'une étude. Les recherches futures devront à l'évidence élargir cet éventail. On ne sait en effet presque rien de la compréhension par les dyscalculiques des nombres décimaux ou des fractions, mais aussi d'éventuelles difficultés dans l'acquisition du code arabe, la compréhension des concepts régissant les opérations comme la commutativité ou l'identité, ou encore leur capacité d'estimation des grandes quantités, sans parler de possibles difficultés dans le domaine du raisonnement. Enfin, les premières étapes des apprentissages devraient faire l'objet d'une attention particulière. Si, comme le pensent certains, la dyscalculie est bien un trouble spécifique dû au dysfonctionnement de structures cérébrales spécialisées, un effort de recherche particulier devrait se porter sur la cognition numérique chez le jeune enfant, à l'âge des toutes premières acquisitions, bien avant l'entrée à l'école primaire. Ce n'est que lorsque les causes de la dyscalculie seront mieux comprises que des programmes d'intervention raisonnés pourront être conçus, programmes dont l'efficacité devra être rigoureusement évaluée.

BIBLIOGRAPHIE

ACKERMAN PT, ANHALT JM, DYKMAN RA. Arithmetic automatization failure in children with attention and reading disorders: associations and sequela. *Journal of Learning Disabilities* 1986, **19** : 222-231

ALARCON M, DEFRIES JC, LIGHT JG, PENNINGTON BF. A twin study of mathematics disability. *Journal of Learning Disabilities* 1997, **30** : 617–623

AMERCIAN PSYCHIATRIC ASSOCIATION. Troubles des apprentissages (auparavant troubles des acquisitions scolaires). *In* : DSM-IV-TR. manuel diagnostique et statis-

tique des troubles mentaux. American Psychiatric Association, Masson, 2004 : 56-65

ANSARI D, KARMILOFF-SMITH A. Atypical trajectories of number development: A neuroconstructivist perspective. *Trends in Cognitive Sciences* 2002, **6** : 511-516

ANTELL S, KEATING DP. Perception of numerical invariance in neonates. *Child Development* 1983, **54** : 695-701

ARAM DM, EKELMAN BL. Scholastic aptitude and achievement among children with unilateral brain lesions. *Neuropsychologia* 1988, **26** : 903-916

ARNOLD DH, FISHER PH, DOCTOROFF GL, DOBBS J. Accelerating math development in Head Start classrooms. *Journal of Educational Psychology* 2002, **94** : 762-770

ASHCRAFT MH. The development of cognitive arithmetic : A chronometric approach. *Developmental Review* 1982, **2** : 213-236

ASHCRAFT MH, YAMASHITA TS, ARAM DM. Mathematics performance in left and right brain-lesioned children and adolescents. *Brain & Cognition* 1992, **19** : 208-252

BADIAN NA. Dyscalculia and nonverbal disorders of learning. *In* : Progress in learning disabilities. MYKLEBUST HR (ed). (Vol 5), Stratton, New York, NY, 1983 : 235-364

BALLOTIN U, ISOLA V, LARIZZA D, PICCINELLI P, ROSSI G, CURTO FL. Cognitive functions in Turner's syndrome. *Minerva Pediatrica* 1998, **50** : 419-425

BARNES MA, SMITH-CHANT B, LANDRY SH. Number processing in neurodevelopmental disorders: Spina bifida myelomeningocele. *In* : Handbook of mathematical cognition. CAMPBELL JID (ed). Psychology Press, New York, NY, 2005 : 299-314

BARROUILLET P, LÉPINE R. Working memory and children's use of retrieval to solve addition problems. *Journal of Experimental Child Psychology* 2005, **91** : 183-204

BARROUILLET P, FAYOL M, LATHULIÈRE E. Selecting between competitors in multiplication tasks: An explanation of the errors produced by adolescents with learning difficulties. *International Journal of Behavioral Development* 1997, **21** : 253-275

BARROUILLET P, CAMOS V, PERRUCHET P, SERON X. ADAPT: A Developmental, Asemantic, and Procedural model for Transcoding from verbal to Arabic numerals. *Psychological Review* 2004a, **111** : 368-394

BARROUILLET P, BERNARDIN S, CAMOS V. Time constraints and resource sharing in adults' working memory spans. *Journal of Experimental Psychology: General* 2004b, **133** : 83-100

BENNETTO L, TAYLOR AK, PENNINGTON BF, PORTER D, KAGERMAN RJ. Profile of cognitive functioning in women with the fragile X mutation. *Neuropsychology* 2001, **15** : 290-299

BENTON AL. Mathematical disability and the Gerstmann syndrome. *In* : Mathematical disabilities. A cognitive neuropsychological perspective. DELOCHE G, SERON X (eds). Lawrence Erlbaum, Hillsdale, NJ, 1987 : 111-120

BRIARS D, SIEGLER RS. A feature analysis of preschoolers' counting knowledge. *Developmental Psychology* 1984, **20** : 607-618

BRYANT DP, BRYANT BR, HAMMILL DD. Characteristic behaviors of students with LD who have teacher-identified math weaknesses. *Journal of Learning Disabilities* 2000, **33** : 168-177

BULL R, JOHNSTON RS. Children's arithmetic difficulties: Contribution from processing speed, item identification, and short-term memory. *Journal of Experimental Child Psychology* 1997, **65** : 1-24

BULL R, SCERIF G. Executive functioning as a predictor of children's mathematics ability: Inhibition, switching, and working memory. *Developmental Neuropsychology* 2001, **19** : 273-293

BULL R, JOHNSTON RS, ROY JA. Exploring the role of the visual-spatial sketch pad and central executive in children's arithmetical skills: Views from cognition and developmental neuropsychology. *Developmental Neuropsychology* 1999, **15** : 421-442

BUTTERWORTH B. What counts: How every brain is hardwired for math. The Free Press, New York, NY, 1999

BUTTERWORTH B. Developmental dyscalculia. *In* : Handbook of mathematical cognition. CAMPBELL JID (ed). Psychology Press, New York, NY, 2005 : 455–468

CARPENTER TP, MOSER JM. The acquisition of addition and subtraction concepts in grades one through three. *Journal of Research in Mathematics Education* 1984, **15** : 179-202

COHN R. Arithmetic and learning disabilities. *In* : Progress in learning disabilities. MYKLEBUST HR (ed). Grune & Stratton, New York, 1971 : 322-389

CONWAY ARA, ENGLE RW. Working memory and retrieval: A resource-dependent inhibition model. *Journal of Experimental Psychology: General* 1994, **4** : 354-373

DANEMAN M, CARPENTER PA. Individual differences in working memory and reading. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior* 1980, **19** : 450-466

DEHAENE S. Varieties of numerical abilities. *Cognition* 1992, **4** : 1-42

DEHAENE S. The organization of brain activations in number comparison: Event-related potentials and the additive-factors method. *Journal of Cognitive Neurosciences* 1996, **8** : 47-68

DEHAENE S. The number sense. Oxford University Press, New York, 1997

DEHAENE S, COHEN L. Towards an anatomical and functional model of number processing. *Mathematical Cognition* 1995, **1** : 83-120

DEHAENE S, COHEN L. Cerebral pathways for calculation: Double dissociation between rote verbal and quantitative knowledge of arithmetic. *Cortex* 1997, **33** : 219-250

DEHAENE S, SPELKE L, STANESCU R, PINEL P, TSIVKIN S. Sources of mathematical thinking: Behavioral and brain-imaging evidence. *Science* 1999, **284** : 970-974

DEHAENE S, PIAZZA M, PINEL P, COHEN L. Three parietal circuits for number processing. *Cognitive Neuropsychology* 2003, **20** : 487-506

DESOETE A, ROEYERS H, DE CLERCQ A. Children with mathematics learning disabilities in Belgium. *Journal of Learning Disabilities* 2004, **37** : 50–61

DOWKER A. Individual differences in normal arithmetical development. *In* : The development of mathematical skills. DONLAN C (ed). Psychology Press, Hove, England, 1998 : 275-302

DOWKER A. Numeracy recovery: A pilot scheme for early intervention with young children with numeracy difficulties. *Support for Learning* 2001, **16** : 6-10

FAYOL M. L'enfant et le nombre. Delachaux & Niestlé, Lausanne, 1990

FAYOL M, BARROUILLET P, MARINTHE C. Predicting arithmetic achievement from neuropsychological performance: A longitudinal study. *Cognition* 1998, **68** : B63-B70

FEIGENSON L, DEHAENE S, SPELKE E. Core systems of number. *Trends in Cognitive Sciences* 2004, **8** : 307-314

FLETCHER JM. Predicting math outcomes: Reading predictors and comorbidity. *Journal of Learning Disabilities* 2005, **38** : 308–312

FUCHS LS, FUCHS D. Mathematical problem-solving profiles of students with mathematics disabilities with and without comorbid reading disabilities. *Journal of Learning Disabilities* 2002, **35** : 563–573

FUSON KC. Children's counting and concepts of number. New York, Springer-Verlag, 1988

GATHERCOLE SE, PICKERING SJ. Assessment of working memory in six- and seven-year-old children. *Journal of Educational Psychology* 2000, **92** : 377-390

GATHERCOLE SE, PICKERING SJ, KNIGHT C, STEGMANN Z. Working memory skills and educational attainment: Evidence from national curriculum assessments at 7 and 14 years of age. *Applied Cognitive Psychology* 2004, **18** : 1-16

GEARY DC. A componential analysis of an early learning deficit in mathematics. *Journal of Experimental Child Psychology* 1990, **49** : 363-383

GEARY DC. Mathematical disabilities: Cognitive, neuropsychological, and genetic components. *Psychological Bulletin* 1993, **114** : 345–362

GEARY DC. Children's mathematical development: Research and practical applications. American Psychological Association, Washington, DC, 1994

GEARY DC. Mathematics and learning disabilities. *Journal of Learning Disabilities* 2004, **37** : 4-15

GEARY DC, BROWN SC. Cognitive addition: Strategy choice and speed-of-processing differences in gifted, normal, and mathematically disabled children. *Developmental Psychology* 1991, **27** : 398-406

GEARY DC, HOARD MK. Learning disabilities in arithmetic and mathematics: Theoretical and empirical perspectives. *In* : Handbook of mathematical cognition. CAMPBELL JID (ed). New York, NY, Psychology Press, 2005 : 253–268

GEARY DC, WIDAMAN KF, LITTLE TD, CORMIER P. Cognitive addition : Comparison of learning disabled and academically normal elementary school children. *Cognitive Development* 1987, **2** : 249-269

GEARY DC, BROWN SC, SAMARANAYAKE VA. Cognitive addition: A short longitudinal study of strategy choice and speed-of-processing differences in normal and mathematically disabled children. *Developmental Psychology* 1991, **27** : 787-798

GEARY DC, BOW-THOMAS C, YAO Y. Counting knowledge and skill in cognitive addition: A comparison of normal and mathematically disabled children. *Journal of Experimental Child Psychology* 1992, **54** : 372-391

GEARY DC, HOARD MK, HAMSON CO. Numerical and arithmetical cognition: Patterns of functions and deficits in children at risk for mathematical disability. *Journal of Experimental Child Psychology* 1999, **74** : 213-239

GEARY DC, HAMSON CO, HOARD MK. Numerical and arithmetical cognition: A longitudinal study of process and concepts deficits in children with learning disability. *Journal of Experimental Child Psychology* 2000, **77** : 236-263

GEARY DC, HOARD MK, BYRD-CRAVEN J, DESOTO MC. Strategy choices in simple and complex additions: Contributions of working memory and counting knowledge for children with mathematical disability. *Journal of Experimental Child Psychology* 2004, **88** : 121-151

GELMAN R, GALLISTEL CR. The child's understanding of number. Harvard University Press, Cambridge, MA, 1978

GELMAN R, MECK E. Preschooler's counting: Principles before skills. *Cognition* 1983, **13** : 343-359

GERSTEN R, JORDAN NC, FLOJO JR. Early identification and interventions for students with mathematics difficulties. *Journal of Learning Disabilities* 2005, **38** : 293-304

GERSTMANN J. Syndrome of finger agnosia, disorientation for right and left, agraphia, and acalculia. *Archives of Neurology: Psychiatry* 1940, **44** : 398-408

GINSBURG HP, GREENES C, BALTANZ R. Big Math for Little Kids. Dale Seymour Publications, Parsippany, NJ, 2003

GRIFFIN SA, CASE R, SIEGLER R. Righstart: Providing the central conceptual prerequisites for first formal learning of arithmetic to students at risk for school failure. *In* : Classroom lessons: Integrating cognitive theory and classroom practice. MCGILLY K (ed). MIT Press, Cambridge, MA, 1994 : 25-49

GROEN GJ, RESNICK LB. Can preschool children invent addition algorithm? *Journal of Educational Psychology* 1977, **69** : 645-652

GROSS-TSUR V, MANOR O, SHALEV RS. Developmental dyscalculia, gender, and the brain. *Archives of Disease in Childhood* 1993, **68** : 510-512

GROSS-TSUR V, MANOR O, SHALEV RS. Developmental dyscalculia: Prevalence and demographic features. *Developmental Medicine and Child Neurology* 1996, **38** : 25–33

HANISH LB, JORDAN NC, KAPLAN D, DICK J. Performance across different areas of mathematical cognition in children with learning difficulties. *Journal of Educational Psychology* 2001, **93** : 615-626

HASSELBRING TS, GOIN LI, BRANSFORD JD. Developping math automaticity in learning handicapped children: The role of computerized drill and practice. *Focus on Exceptional Child* 1988, **20** : 1-7

HÉCAEN H, ANGELERGUES R, HOUILLIER S. Les variétés cliniques des acalculies au cours des lésions rétro-rolandiques: Approche statistique du problème. *Revue de Neurologie* 1961, **105** : 85-103

HITCH GJ, MCAULEY E. Working memory in children with specific arithmetical learning difficulties. *British Journal of Psychology* 1991, **82** : 375-386

ISAACS EB, EDMONDS CJ, LUCAS A, GADIAN D. Calculations difficulties in children of very low birthweight: A neural correlate. *Brain* 2001, **124** : 1701-1707

JORDAN NC, MONTANI TO. Cognitive arithmetic and problem solving: A comparison of children with specific and general mathematics difficulties. *Journal of Learning Disabilities* 1997, **30** : 624-634

JORDAN NC, HANISH LB. Mathematical thinking in second-grade children with different forms of LD. *Journal of Learning Disabilities* 2000, **33** : 567-578

JORDAN NC, KAPLAN D, HANISH LB. Achievement growth in children with learning difficulties in mathematics: Findings of a two-year longitudinal study. *Journal of Educational Psychology* 2002, **94** : 586-597

JORDAN NC, HANISH LB, KAPLAN D. Arithmetic fact mastery in young children: A longitudinal investigation. *Journal of Experimental Child Psychology* 2003a, **85** : 103-119

JORDAN NC, HANISH LB, KAPLAN D. A longitudinal study of mathematical competencies in children with specific mathematics difficulties versus children with comorbid mathematics and reading difficulties. *Child Development* 2003b, **74** : 834-850

KAUFMANN L, HANDL P, THONY B. Evaluation of a numeracy intervention program focusing on basic numerical knowledge and conceptual knowledge: A pilot study. *Journal of Learning Disabilities* 2003, **36** : 564-573

KIEFER M, DEHAENE S. The time course of parietal activation in single-digit multiplication: Evidence from event-related potentials. *Mathematical Cognition* 1997, **3** : 1-30

KOONST KL, BERCH DB. Identifying simple numerical stimuli: Processing inefficiencies exhibited by arithmetic learning disabled children. *Mathematical Cognition* 1996, **2** : 1-23

KOSC L. Developmental dyscalculia. *Journal of Learning Disabilities* 1974, **7** : 164–177

KROESBERGEN EH, VAN LUIT JEH. Mathematics interventions for children with special educational needs: A meta-analysis. *Remedial and Special Education* 2003, **24** : 97-114

LANDERL K, BEVAN A, BUTTERWORTH B. Developmental dyscalculia and basic numerical capacities: A study of 8-9-year-old students. *Cognition* 2004, **93** : 99-125

LÉPINE R, BARROUILLET P, CAMOS V. What makes working memory spans so predictive of high-level cognition? *Psychonomic Bulletin and Review* 2005, **12** : 165-170

LEWIS C, HITCH GJ, WALKER P. The prevalence of specific arithmetic difficulties and specific reading difficulties in 9- to 10-year-old boys and girls. *Journal of Child Psychology and Psychiatry* 1994, **35** : 283-292

LIGHT JG, DEFRIES JC. Comorbidity of reading and mathematics disabilities: Genetic and environmental etiologies. *Journal of Learning Disabilities* 1995, **28** : 96-106

LOGAN GD. Toward an instance theory of automatization. *Psychological review* 1988, **95** : 492-527

MANOR O, SHALEV RS, JOSEPH A, GROSS-TSUR V. Arithmetic skills in kindergarten children with developmental language disorders. *European Journal of Paediatric Neurology* 2000, **5** : 71-77

MARINTHE C, FAYOL M, BARROUILLET P. Des gnosies digitales à la performance arithmétique. *In* : Les dyscalculies. VAN HOUT A, MELJAC C (eds). Masson, Paris, 2001

MAZOCCO MMM. Math learning Disability and Math LD subtypes: Evidence from studies of Turner syndrome, fragile X syndrome, and neurofibromatosis type 1. *Journal of Learning Disabilities* 2001, **34** : 520–533

MAZOCCO MMM, MYERS GF. Complexities in identifying and defining mathematics learning disability in the primary school-age years. *Annals of Dyslexia* 2003, **53** : 218–253

MAZOCCO MMM, MCCLOSKEY M. Math performance in girls with Turner or fragile X syndrome. *In* : Handbook of mathematical cognition. CAMPBELL JID (ed). Psychology Press, New York, NY, 2005 : 269–298

MCCLOSKEY M, CARAMAZZA A, BASILI A. Cognitive mechanisms in number processing and calculation: Evidence from dyscalculia. *Brain and Cognition* 1985, **4** : 171-196

MCLEAN JF, HITCH GJ. Working memory impairments in children with specific arithmetic learning difficulties. *Journal of Experimental Child Psychology* 1999, **74** : 240-260

MOLKO N, CACHIA A, RIVIERE D, MANGIN J, BRUANDET M, et coll. Functional and structural alterations of the intraparietal sulcus in a developmental dyscalculia of genetic origin. *Neuron* 2003, **40** : 847-858

MOORE D, BENENSON J, REZNICK JS, PETERSON M, KAGAN J. Effect of auditory numerical information on infants' looking behavior: Contradictory evidence. *Developmental Psychology* 1987, **23** : 665-670

NICHELLI P, VENNERI A. Right hemisphere developmental learning disability: A case study. *Neurocase* 1995, **1** : 173-177

NOËL MP. La dyscalculie développementale: Un état de la question. *In* : Neuropsychologie des troubles du calcul et du traitement des nombres. PESENTI M, SERON X (eds). Solal, Marseille, 2000 : 59–84

O'HARE AE, BROWN JK, AITKEN K. Dyscalculia in children. *Developmental Medicine and Child Neurology* 1991, **33** : 356-361

OSTAD SA. Developmental differences in addition strategies: A comparison of mathematically disabled and mathematically normal children. *British Journal of Educational Psychology* 1997, **67** : 345-357

OSTAD SA. Comorbidity between mathematics and spelling difficulties. *Log Phon Vocol* 1998, **23** : 145-154

OSTAD SA. Developmental progression of subtraction strategies: A comparison of mathematically normal mathematically disabled children. *European Journal of Special Needs Education* 1999, **14** : 21-36

OSTAD SA. Cognitive subtraction in a developmental perspective: Accuracy, speed-of-processing and strategy-use differences in normal and mathematically disabled children. *Focus on Learning Problems in Mathematics* 2000, **22** : 18-31

PENNINGTON BF. Genetics of learning disabilities. *Seminars in Neurology* 1991, **11** : 28-34

PINEL P, DEHAENE S, RIVIERE D, LEBIHAN D. Modulation of parietal activation by semantic distance in number comparison task. *Neuroimage* 2001, **14** : 1013-1026

ROURKE BP. Arithmetic disabilities, specific and otherwise: A neuropsychological perspective. *Journal of Learning disabilities* 1993, **26** : 214-226

ROURKE BP, FINLAYSON MA. Neuropsychological significance of variations in patterns of academic performance: Verbal and visuo-spatial abilities. *Journal of Abnormal Child Psychology* 1978, **6** : 121-133

ROURKE BP, STRANG JD. Neuropsychological significance of variations in patterns of academic performance: Motor, psychomotor, and tactile-perceptual abilities. *Journal of Pediatric Psychology* 1978, **3** : 62-66

ROURKE BP, CONWAY JA. Disabilities of arithmetic and mathematical reasoning: Perspective from neurology and neuropsychology. *Journal of Learning disabilities* 1997, **30** : 34-46

ROVET JF. The psychoeducational characteristics of children with Turner syndrome. *Journal of Learning disabilities* 1993, **26** : 333-341

ROVET JF, SZEKELY C, HOCKENBERRY MN. Specific arithmetic calculation deficits in children with Turner syndrome. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology* 1994, **16** : 820-839

SEIDENBERG M, BECK N, GEISSER M, GIORDANI B, SACKELLARES JC, et coll. Academic achievement of children with epilepsy. *Epilepsia* 1986, **27** : 753-759

SHALEV RS. Developmental dyscalculia. *In* : Handbook of neuropsychology. SEGALOWITZ SJ, RAPIN I (eds). Vol. 8, Elsevier, Amsterdam, 2003 : 717–729

SHALEV RS, GROSS-TSUR V. Developmental dyscalculia and medical assessment. *Journal of Learning Disabilities* 1993, **26** : 134-137

SHALEV RS, GROSS-TSUR V. Developmental Dyscalculia. *Pediatric Neurology* 2001, **24** : 337-342

SHALEV RS, AUERBACH J, GROSS-TSUR V. Developmental dyscalculia behavioral and attentional aspects: A research note. *Journal of Child Psychology and Psychiatry* 1995, **36** : 1261-1268

SHALEV RS, MANOR O, GROSS-TSUR V. Neuropsychological aspects of developmental dyscalculia. *Mathematical Cognition* 1997, **33** : 105-120

SHALEV RS, MANOR O, AUERBACH J, GROSS-TSUR V. Persistence of developmental dyscalculia: What counts? *Journal of Pediatrics* 1998, **133** : 358–362

SHALEV RS, MANOR O, KEREM B, AYALI M, BADICHI N, FRIEDLANDER Y, GROSS-TSUR V. Developmental dyscalculia is a familial learning disability. *Journal of Learning Disabilities* 2001, **34** : 59-65

SHALEV RS, MANOR O, GROSS-TSUR V. Developmental dyscalculia: A prospective six-year follow-up. *Developmental Medicine and Child Neurology* 2005, **47** : 121–125

SHARE DL, MOFFITT TE, SILVA PA. Factors associated with arithmetic-and-reading disability and specific arithmetic disability. *Journal of Learning Disabilities* 1988, **21** : 313-320

SIEGEL LS, RYAN EB. The development of working memory in normally achieving and subtypes of learning disabled children. *Child Development* 1989, **60** : 973-980

SIEGLER RS. The perils of averaging data over strategies: An example from children's addition. *Journal of Experimental Psychology: General* 1987, **116** : 250-264

SIEGLER RS. Emerging minds: The process of change in children's thinking. Oxford University Press, New York, 1996

SIEGLER RS, SHRAGER J. Strategy choices in addition and subtraction: How do children know what to do? *In* : Origins of cognitive skills. SOPHIAN C (ed). Erlbaum, Hillsdale, NJ, 1984

SILVER CH, PENNETT HDL, BLACK JL, FAIR GW, BALISE RR. Stability of arithmetic disability subtypes. *Journal of Learning Disabilities* 1999, **32** : 108-119

SPIERS PA. Acalculia revisited: Current issues. *In* : Mathematical disabilities: A cognitive neuropsychological perspective. SERON X, DELOCHE G (eds). Hillsdale, NJ, Lawrence Erlbaum, 1987 : 1-25

STARKEY P, COOPER RG. Perception of numbers by human infants. *Science* 1980, **210** : 1033-1035

STARKEY P, KLEIN A. Fostering parental support for children's mathematical development: An intervention with Head Start families. *Early Education and Development* 2000, **11** : 659-680

STARKEY P, SPELKE ES, GELMAN R. Numerical abstraction by human infants. *Cognition* 1990, **36** : 97-127

STRANG JD, ROURKE BP. Concept-formation / nonverbal reasoning abilities of children who exhibit specific academic problems with arithmetic. *Journal of Clinical Child Psychology* 1983, **12** : 33-39

STRAUSS MS, CURTIS LE. Development of numerical concepts in infancy. *In* : Origins of cognitive skills. SOPHIAN C (ed). Hillsdale, NJ, LEA, 1984

SUTARIA SD. Specific learning disabilities: Nature and needs. Springfield, IL, Charles C. Thomas, 1985

SVENSON O, BROQUIST S. Strategies for solving simple additions problems: A comparison of normal and subnormal children. *Scandinavian Journal of Psychology* 1975, **16** : 143-151

SWANSON HL. Working memory in learning disability subgroups. *Journal of Experimental Child Psychology* 1993, **56** : 87-114

TEMPLE CM. Digit dyslexia: A category-specific disorder in developmental dyscalculia. *Cognitive Neuropsychology* 1989, **6** : 93-116

TEMPLE CM. Procedural dyscalculia and number fact dyscalculia: Double dissociation in developmental dyscalculia. *Cognitive Neuropsychology* 1991, **8** : 155-176

TEMPLE CM. Developmental cognitive neuropsychology. Hove, UK, Psychology Press, 1997

TEMPLE CM. Developmental dyscalculia. *In* : Handbook of neuropsychology. RAPIN I, SEGALOWITZ SG, SIDNEY J (eds). Vol 7, New York, NY, Elsevier, 1992 : 211-222

TEMPLE CM, SHERWOOD S. Representation and retrieval of arithmetic facts: Developmental difficulties. *Quarterly Journal of Experimental Psychology* 2002, **55** : 733-752

THEVENOT C, BARROUILLET P, FAYOL M. Algorithmic solution of arithmetic problems and operand-answer associations in long term memory. *Quarterly Journal of Experimental Psycghology* 2001, **54** : 599-611

TRUNDLEY R. The Devon Raising Attainment in Numeracy Project, 1997-1998. Final Report. Devon County Council, Devon Curriculum Services, 1998

ULLER C, CAREY S, HUNTLER-FENNER G, KLATT L. What representation might underlie infant numerical knowledge? *Cognitive Development* 1999, **14** : 1-36

VAN HOUT A. Dyscalculies développementales. *In* : Troubles du calcul et dyscalculies chez l'enfant. VAN HOUT A, MELJAC C (eds). Masson, Paris, 2001 : 139–170

VAN LUIT JEH, SCHOPMAN EAM. Improving early numeracy of young children with special educational needs. *Remedial and Special Education* 2000, **21** : 27-40

VON ASTER M. Developmental dyscalculia in children: Review of the literature and clinical validation. *Acta Paedopsychiatrica* 1994, **56** : 169-178

VON ASTER M. Developmental cognitive neuropsychology of number processing and calculations: Varieties of developmental dyscalculia. *European Child & Adolescent Psychiatry* 2000, **9** : II41-57

WEINTRAUB S, MESULAM MM. Developmental learning disabilities of the right hemisphere. *Archives of Neurology* 1983, **40** : 464-468

WECHSLER D. The Wechsler Intelligence Scale for Children-Revised. San Antonio, TX: The Psychological Corporation, 1974

WHITE J, MOFFITT TE, SILVA PA. Neuropsychological and socio-emotional correlates of specific-arithmetic disability. *Archives of Clinical Neuropsychology* 1992, **7** : 1-16

WILLS KE, HOLMBECK GM, DILLON K, MCLONE DG. Intelligence and achievement in children with myelomeningocele. *Journal of Pediatric Psychology* 1990, **15** : 161-176

WRIGHT RJ, MARTLAND J, STAFFORD AK. Early numeracy: Assessment for teaching and intervention. Corwin Press, Thousand oaks, CA, 2000

WRIGHT RJ, MARTLAND J, STAFFORD AK, STANGER G. Teaching number: Advancing children's skills and strategies. Thousand oaks, CA, Corwin Press, 2002

WYNN K. Addition and subtraction in human infants. *Nature* 1992, **358** : 748-750

XU F, SPELKE ES. Large number discrimination in 6-month-old infants. *Cognition* 2000, **74** : B1-B11

12

Troubles des acquisitions associés à la dyslexie

Une des principales leçons issues de l'expérience clinique est que la dyslexie, le symptôme le plus souvent situé en première ligne par ses conséquences majeures sur les apprentissages, survient rarement isolément. On observe dans la grande majorité des cas, des déficits associés que l'on qualifie de comorbides.

L'étude de ces syndromes comorbides est doublement intéressante. En premier lieu, elle est utile au clinicien en ce qu'elle le met en garde contre une vision étroite du problème de la dyslexie, l'incitant à aller systématiquement chercher d'autres troubles ailleurs que dans la lecture elle-même, même si cette dernière constitue, à juste titre, la plainte principale voire isolée de l'enfant, de sa famille et (surtout) de son enseignant. C'est ainsi que ces dernières années ont vu l'éclosion d'une conception syndromique de la dyslexie, à l'instar des grands syndromes de la médecine organique, avec comme résultat l'approfondissement du diagnostic, devenu multidisciplinaire et non plus seulement orthophonique, et, par voie de conséquence, le raffinement des indications thérapeutiques. Ce chapitre sera ainsi consacré à un panorama de ces associations constituant autant de syndromes, dont la connaissance est aujourd'hui indispensable au clinicien et au thérapeute.

Mais l'existence de troubles associés à la dyslexie constitue également un puissant outil théorique pour le chercheur, lui fournissant autant de pistes vers où orienter ses recherches. Si, par exemple, la dyslexie et la dyscalculie se rencontrent en association plus souvent que ne le voudrait le hasard, c'est peut-être qu'il y a un facteur commun capable d'expliquer l'émergence combinée de ces deux conditions, leur co-occurrence, facteur dont la découverte pourrait fournir de précieuses clés pour approcher les mécanismes physiopathologiques.

Comorbidités cliniques de la dyslexie : les syndromes « dys »

Il est actuellement usuel de désigner sous le terme de troubles spécifiques des apprentissages ou « syndromes dys » un ensemble de conditions ayant en commun :

- leur survenue en dehors de tout déficit perceptif, intellectuel ou neuropsychiatrique, c'est-à-dire en particulier chez des enfants normalement intelligents ;
- leur incidence néfaste sur les apprentissages, réalisant de loin le motif principal de consultation ;
- un caractère familial retrouvé de manière plus ou moins fréquente ;
- une prédominance de garçons pour la majorité d'entre elles.

Telles sont les caractéristiques qui définissent la dyslexie, dysorthographie, dysphasie, dyspraxie…

Or, une autre caractéristique commune à toutes ces entités est qu'elles se rencontrent souvent associées entre elles chez une même personne, ce qui pour le clinicien, le rééducateur ou le pédagogue est riche d'enseignements quant à la sévérité du trouble, et donc à ses répercussions en termes de rééducation tout autant que de pédagogie.

La création récente des centres de référence des troubles d'apprentissage en France fournit l'opportunité d'étudier de larges populations cliniques d'enfants référés pour troubles d'apprentissage et d'évaluer la fréquence des comorbidités au sein des troubles d'apprentissage. Le tableau 12.I résume par exemple les diagnostics posés sur 209 consultations consécutives d'enfants âgés de 5 à 15 ans reçus dans le centre de référence du CHU de Marseille (Habib, 2003)[29]. Les diagnostics présentés sont ceux établis à l'issue un examen pluridisciplinaire comportant au moins le bilan d'un orthophoniste et d'un neuropsychologue, et la synthèse d'un médecin neurologue. La somme des diagnostics dépasse le nombre total d'observations, en raison précisément de la fréquence des comorbidités (voir plus bas).

Tableau 12.I : Inventaire des diagnostics portés lors de 209 cas successifs reçus dans une consultation de troubles d'apprentissage (CHU de Marseille, d'après Habib, 2003)

Diagnostic	Nombre d'enfants atteints (N = 209)
Dyslexie, dysorthographie	177
Troubles du langage oral	84
Dyscalculie	48
Dysgraphie	37
Trouble déficit de l'attention/hyperactivité	32

29. Nous n'envisageons pas dans cet ouvrage la question des comorbidités entre troubles d'apprentissage et psychopathologie, principalement l'autisme et les troubles des conduites, qui font l'objet d'autres ouvrages de cette collection. La question de l'hyperactivité, pour la même raison, n'est citée que marginalement ici.

Diagnostic	Nombre d'enfants atteints (N = 209)
Dysphasie	26
Précocité intellectuelle	21
Dyspraxie	19
Trouble des conduites	11
Autisme*	2
Dyschronie	45

*Les enfants atteints d'un trouble envahissant du développement (autisme) ne sont pas abordés dans ce chapitre car leur prise en charge ne relève pas d'un centre de référence pour troubles des apprentissages. Ce sujet est traité dans l'expertise « Troubles mentaux, dépistage et prévention chez l'enfant et l'adolescent » Inserm, 2002.

Dans cette étude, le diagnostic le plus souvent posé est celui de dyslexie (177 cas), devant celui de trouble du langage oral (110 cas incluant 26 cas de dysphasie avérée). Dans le contexte d'une consultation spécialisée dans les troubles des apprentissages, il n'est pas étonnant de constater une nette prédominance de dyslexies, ou de troubles sévères de l'acquisition du langage écrit (puisqu'on ne peut en théorie commencer à parler de dyslexie qu'après un certain temps d'apprentissage). Le relativement faible nombre de cas de dysorthographie (55 cas), alors qu'au moins tous les dyslexiques devraient être également qualifiés de dysorthographiques, réside sans doute dans le fait que chez les enfants vus dans les premières années d'apprentissage, la dysorthographie ne peut pas encore être diagnostiquée en tant que telle, puisque l'orthographe n'existe pas encore.

En revanche, la dysgraphie (37 cas) peut être décelée, avant l'apprentissage de la lecture, soit en grande section de maternelle. Le diagnostic repose sur deux aspects complémentaires : d'une part, la mauvaise tenue du crayon, réalisant des positions des doigts maladroites ou aberrantes ou encore une dystonie reflétant une mauvaise coordination du geste graphique en voie d'apprentissage ; et d'autre part la réalisation graphique elle-même qui peut être irrégulière, avec une mauvaise formation des lettres, qui sont parfois méconnaissables, même en copie de modèle. Dans cette étude, le terme de dyspraxie (19 cas) a été réservé aux cas où le trouble du geste dépasse le seul geste graphique et concerne des groupes plus vastes de muscles, y compris les muscles posturaux, et surtout dépasse le cadre de la seule motricité pour constituer un véritable syndrome sensori-moteur.

Après les troubles du langage, les deux troubles les plus régulièrement retrouvés, même s'ils ne réalisent pas forcément la plainte principale, sont la dyscalculie (48 cas) et la dyschronie (45 cas). La fréquence de dyscalculie dans les troubles d'apprentissage en général (et du langage en particulier) est généralement sous-estimée. Dans l'étude citée, elle est retrouvée chez près d'un quart des enfants se présentant pour trouble d'apprentissage.

Tout laisse à penser que la dyscalculie isolée existe, mais donne rarement lieu à consultation dans un centre de référence, ce qui voudrait dire que la fréquence réelle de dyscalculie dans la population est beaucoup plus forte. Le terme de dyschronie (parfois appelée chronagnosie ou difficulté de repérage temporel) est beaucoup moins répandu que ceux des autres syndromes, sans doute, ici encore, parce que le trouble ne constitue pas, en tout cas à première vue, un réel handicap pour la poursuite de la scolarité. En fait, il est probable que les enfants ayant une dyschronie importante souffrent également de difficultés d'organisation temporelle de la pensée, verbale ou non verbale, qui peut leur être très préjudiciable pour la poursuite des études, en particulier en secondaire. Il est bien établi que le trouble déficit de l'attention avec hyperactivité (TDAH), survient en association avec les troubles de la lecture (August et Garfinkel, 1990), avec une comorbidité de l'ordre de 25 % (Semrud-Clikeman et coll., 1992).

La figure 12.1 représente le nombre de cas respectif des différents troubles associés au diagnostic de dyslexie (Habib, 2003).

Il convient de signaler d'emblée que les signes associés au trouble de la lecture sont éminemment variables, tant qualitativement que quantitativement, selon le type de dyslexie. Si l'on s'en tient à la classification aujourd'hui classique en dyslexies phonologiques, visuelles ou mixtes, on remarque que les troubles de type dyspraxie, dysgraphie, sont volontiers associés aux formes visuelles ou mixtes, réalisant souvent le tableau de trouble d'apprentissage non verbal, parfois dénommé syndrome développemental hémisphérique droit (Rourke, 1995). Dans ce cas, on note que la sévérité de la dyslexie n'est pas proportionnelle à l'intensité du trouble phonologique, ce dernier pouvant être absent, mais plutôt à l'intensité des troubles de type sensori-moteur, avec au premier chef les troubles du graphisme et de la représentation spatiale (dyspraxie visuo-constructive). À l'inverse, des antécédents ou des signes actuels de troubles du langage oral sont beaucoup plus souvent associés (bien que non exclusivement) à des dyslexies de type phonologique (Castle et Coltheart, 1993 ; Manis et coll., 1996).

En tout état de cause, tous types confondus, la dyslexie apparaît plus souvent associée qu'isolée (seulement 10 % dans la population citée). Bien entendu, ce chiffre de 10 % n'est pas nécessairement généralisable. Il est probable que les services hospitaliers ne voient pas un échantillon représentatif de la population dyslexique, mais un échantillon biaisé dans le sens d'une plus grande sévérité et d'un plus grand nombre de symptômes, donc de plus de comorbidités. Il n'existe pas de données permettant d'évaluer la prévalence des comorbidités au sein de l'ensemble de la population dyslexique.

Figure 12.1 : Incidence respective des différents syndromes associés au diagnostic principal de dyslexie (177 observations) (d'après Habib, 2003)

Une autre étude réalisée en France au centre de référence du Kremlin-Bicêtre à Paris présente l'analyse des différents diagnostics retenus au décours d'une évaluation pluridisciplinaire effectuée chez tous les enfants rencontrés entre septembre 2001 et mars 2002 pour une plainte portant sur les apprentissages (langage oral, langage écrit, échec scolaire, troubles du graphisme ou de l'attention), âgés de 4 à 9 ans et testables (Billard et coll., 2006). Il s'agissait de 173 enfants, 117 garçons (67,67 %) et 56 filles (32,37 %). Les âges évoluaient entre 4 et 9 ans avec une moyenne d'âge de 6 ans et 7 mois. Les tests étalonnés étant différents, la population a été séparée en deux groupes : un de 4 à 6 ans exclus (63 enfants) et le second de 6 ans et plus (110 enfants). Ils suivaient la classe de leur tranche d'âge pour 64,74 % d'entre eux ou présentaient un retard de 1 an (30,64 %) ou plus (1,16 %) ou avaient été orientés en classe spécialisée (3,47 %) (tableau 12.II). Soixante cinq pour cent des enfants utilisaient la main droite pour écrire, 34,68 % utilisaient la main gauche.

Les diagnostics étaient classés de la façon suivante selon les critères du DSM-IV :

• trouble du langage oral (TLO) spécifique sévère, modéré, ou non spécifique ;
• trouble du langage écrit (TLE), spécifique sévère ou modéré, ou non spécifique ;
• trouble d'acquisition de la coordination ou dyspraxie, sévère ou modérée ;
• déficit intellectuel modéré ou léger ;
• troubles psycho-affectifs (selon l'évaluation clinique du psychologue et le questionnaire de comportement) ;
• trouble complexe des apprentissages (TCA : plusieurs apprentissages déficitaires sans déficit global de toutes les fonctions cognitives) ;
• trouble déficit de l'attention/hyperactivité (TDAH).

Tableau 12.II : Fréquence des diagnostics dans une population de 173 enfants avec troubles des apprentissages, âgés de 4 à 9 ans (d'après Billard et coll., 2006)

Diagnostic	Nombre d'enfants atteints (N = 173)
Trouble du langage oral (TLO)	110 cas
- spécifique sévère	55 (49,6 %)
- spécifique modéré	24 (21,6 %)
- non spécifique	32 (28,8 %)
Trouble du langage écrit (TLE)	68 cas
- spécifique sévère	35 (50 %)
- spécifique modéré	30 (42,9 %)
- non spécifique	3 (4,3 %)
Dyspraxie	32 cas
- sévère	8 (25 %)
- modérée	24 (75 %)
Déficience intellectuelle	47 cas
- sévère	19 (38,8 %)
- modérée	28 (57,1 %)
Troubles psycho-affectifs	48 cas
Trouble complexe des apprentissages (TCA)	11 cas
Trouble déficit de l'attention/hyperactivité (TDAH)	11 cas

Les comorbidités entre les différents diagnostics chez les 173 enfants étaient fréquemment représentées. Pour n'en citer que quelques unes :
• les troubles psychoaffectifs s'associaient toujours à un autre diagnostic ;
• l'association trouble du langage oral et trouble du langage écrit concernait 53 des 68 enfants avec un TLE ;
• 2 enfants seulement avec un TLE n'avaient qu'une dyslexie sans dysorthographie ;
• enfin, un enfant sur 2 avec un trouble du langage écrit avait une dysgraphie.

Dyslexie et troubles du langage oral

Dans les deux séries décrites ci-dessus, comme dans la plupart de celles de la littérature (Vellutino, 1979 ; Bishop et Snowling, 2004), la dyslexie fait suite dans plus de la moitié des cas à des troubles du langage oral, eux-mêmes de présentation diverse. Le plus souvent, il s'agit de difficultés, diagnostiquées ou non, qui ne sont pas qualifiées de « dysphasique », donc n'ont pas été considérées de gravité ou de durabilité suffisante pour employer ce terme. Toutefois, on rappellera ici que le terme de dysphasie est assez rarement utilisé dans la littérature anglo-saxonne qui préfère regrouper sous celui d'altération spécifique du langage (*Specific language impairment*, ou SLI), tous les troubles du langage oral, sans présumer de leur sévérité. Certes, on reconnaît des différences qualitatives entre le déficit d'enfants qui vont récupérer quasi-totalement leurs habiletés langagières et ceux, qualifiés de dysphasiques, qui vont rester sévèrement et durablement déficitaires. Mais plus personne ne conteste, même en France, la validité du concept de SLI, ne serait-ce qu'en raison de sa puissante valeur prédictive d'un trouble d'apprentissage, en particulier lorsqu'il existe des antécédents familiaux du trouble (Lyytynen et coll., 2004).

Il existe également une entité parfois considérée comme distincte des troubles du langage oral, volontiers qualifiée de « déficit auditif central » (King et coll., 2003). En fait, l'individualisation de cette entité repose sur la fréquence de troubles divers du traitement élémentaire de l'information auditive, par exemple la localisation des sons, l'estimation de la durée ou de la fréquence tonale… Dans certains cas, le trouble est cliniquement évident, en particulier lorsqu'on examine les erreurs de transcription des enfants dyslexiques, spécifiquement en situation de dictée de syllabes ou de pseudo-mots : dans ces circonstances, on voit apparaître des confusions, souvent non suspectées auparavant, en particulier entre des paires de consonnes auditivement proches, spécialement les paires sourdes-sonores (avec ou sans voisement). Ce déficit correspond à un défaut de traitement par le cortex auditif de la partie du phonème correspondant au voisement, défaut de traitement qui peut être clairement mis en évidence à l'aide de la méthode des potentiels évoqués auditifs (Liégeois-Chauvel et coll., 1999 ; Giraud et coll., 2005). Il serait présent chez la moitié des dyslexiques environ et son intensité n'est pas nécessairement proportionnelle au degré de difficulté dans l'apprentissage de la lecture (Ahissar et coll., 2000 ; Rosen, 2003).

Dyslexie et dyscalculie

Dans l'étude française décrite ci-dessus (Habib, 2003), la dyscalculie est le deuxième syndrome associé à la dyslexie, par ordre de fréquence (près d'un quart des cas). Une autre étude française (Cuvellier et coll., 2004), réalisée

au centre de référence de Lille, ne signale en revanche aucune occurrence de dyscalculie (0/100).

Dans une recherche auprès de 3 029 enfants scolarisés, l'équipe israélienne de Gross-Tsur (1996), s'appuyant sur des critères stricts tirés des modèles en neuropsychologie cognitive pour poser le diagnostic de dyscalculie, trouve 6,5 % d'enfants dont elle étudie les caractéristiques démographiques et cliniques. Tous les enfants dyscalculiques avaient un quotient intellectuel normal, des symptômes de déficit d'attention avec ou sans hyperactivité (TDAH) étaient trouvés chez 26 % d'entre eux, 17 % avaient aussi une dyslexie et la dyscalculie touchait aussi bien les garçons que les filles contrairement à ce que l'on retrouve dans plusieurs désordres développementaux (dyslexie, TDAH, troubles du langage oral) où les garçons sont atteints dans une plus grande proportion.

Ostad (1998) a étudié 927 enfants de 2e, 4e et 6e années d'apprentissage, à qui il a fait passer en outre une évaluation du QI, et un test classique d'évaluation des aptitudes scolaires (*Stanford Achievement Test*). Le résultat a été une forte corrélation (r = 0,47) entre les aptitudes scolaires en mathématiques et les scores en orthographe. Cependant, la pertinence de cette constatation est affaiblie par le fait que, bien entendu, toutes les aptitudes scolaires sont très fortement corrélées entre elles pour des raisons n'ayant pas de rapport avec la notion de comorbidité.

Lewis et coll. (1994) ont étudié la co-occurrence de troubles de la lecture et du calcul chez des enfants de 9 et 10 ans, et retrouvé 3,6 % de difficultés spécifiques en arithmétique. Parmi ces derniers, 64 % étaient considérés comme également dyslexiques.

Finalement, une des principales questions posées par la comorbidité entre troubles du calcul et de la lecture, est celle du mécanisme sous-jacent à ce lien. Par exemple, Rourke (1993) proposait que les enfants souffrant du double déficit (calcul et lecture) aient un problème hémisphérique gauche, alors que ceux souffrant d'une dyscalculie isolée auraient plutôt une dysfonction hémisphérique droite. À l'inverse, Shalev et coll. (1997) n'ont retrouvé aucune différence qualitative entre la dyscalculie de ces deux groupes d'enfants. Plus récemment, Landerl et coll. (2004) ont étudié 4 groupes d'élèves de 8-9 ans : des sujets témoins, ayant une bonne performance en lecture et en calcul, des sujets seulement dyscalculiques, des sujets seulement dyslexiques et des enfants présentant l'association des deux tableaux. Globalement, les dyscalculiques et les déficits mixtes se comportèrent de manière similaire et notablement différente des dyslexiques et des témoins, une constatation allant à l'encontre des théories suggérant différents sous-groupes de dyscalculiques. L'une des principales caractéristiques du trouble du calcul est ici une incapacité à traiter simultanément les petites numérosités (jusqu'à 3), qui sont traitées par les deux groupes de dyscalculiques (associé ou non à une dyslexie) de façon sérielle et non simultanée.

D'un point de vue étiologique, la co-occurence de dyslexie et de dyscalculie a pu être attribuée à un facteur génétique commun (Knopik et coll., 1997), encore qu'il soit bien difficile de distinguer ce qui, dans une difficulté en mathématique, revient au trouble de la lecture lui-même, à un trouble de la compréhension, ou encore à un trouble de mémoire de travail associé.

Reste le cadre du syndrome développemental de Gerstmann (Benson et Geschwind, 1970), dont l'existence a été contestée, mais qui a eu, outre le mérite d'attirer l'attention sur le lien entre calcul et gnosies digitales, celui de soulever la possible homologie entre un syndrome neurologique classique en pathologie lésionnelle de l'adulte, attribué à une lésion focale du lobe pariétal inférieur gauche, et un syndrome développemental où la majorité des symptômes évoquent pourtant plutôt un déficit hémisphérique droit…

À cet égard, les récentes données d'imagerie cérébrale fonctionnelle, démontrant le rôle singulier du lobe pariétal, en particulier le sillon intra-pariétal droit, dans la fonction de numérosité, a apporté une nouvelle dimension neurologique à la notion de dyscalculie (Dehaene et coll., 2004).

Dyslexie et dyschronie

Dans l'étude française (Habib, 2003), 35 cas de « dyschronie » associés à la dyslexie sont rapportés. La dyschronie concerne un domaine assez peu exploré et aux limites encore floues chez les enfants souffrant de troubles du langage oral ou écrit. Le tableau 12.III présente le questionnaire à partir duquel a été établi ce diagnostic. Ce questionnaire, rempli par les parents, a été validé précédemment (Daffaure et coll., 2001), comme donnant une appréciation fiable des difficultés que peut rencontrer l'enfant dans les différents aspects du repérage temporel. Le score à ce questionnaire est très significativement corrélé à une tâche de reproduction de rythmes et à une tâche de jugement d'ordre temporel (Rey et coll., 2002). Toutes ces mesures étaient également corrélées avec les tâches de conscience phonologique, mais pas avec les tâches de lecture, suggérant que le déficit de traitement temporel n'est pas directement impliqué dans le déterminisme du trouble de la lecture.

Tableau 12.III : Questionnaire de repérage temporel proposé aux parents (Daffaure et coll., 2001)

	Jamais	Rarement	Parfois	Souvent	Très souvent
1- Il (Elle) se souvient difficilement des jours / mois / année que nous sommes.					
2- Il (Elle) confond les moments de la journée matin / après-midi / soirée.					

	Jamais	Rarement	Parfois	Souvent	Très souvent
3- Un événement qui est survenu le matin, il (elle) peut le placer la veille.					
4- Pour un événement qui est survenu il y a quelques jours, il (elle) peut dire : « il y a très longtemps ».					
5- Il lui est difficile de comprendre les relations existantes entre les membres de la famille : grands-parents, tantes, neveux, beau-frère.					
6- Il (Elle) a du mal à comprendre les notions de hier, demain ou après-demain.					
7- Il (Elle) a des difficultés à lire l'heure sur un cadran.					
8- Il (Elle) se trompe lorsqu' il (elle) doit évaluer la durée d'un film, la durée d'une activité, voire même la durée d'une nuit de sommeil.					
9- Vous avez besoin de lui donner des indices pour qu'il (elle) se repère dans une semaine (lundi : école ; mercredi : activités extra-scolaires ; dimanche : repos …).					

Le terme de dyschronie a été pour la première fois appliqué à la dyslexie par Rodolfo Llínas (1993) qui fait l'hypothèse que le cerveau du dyslexique manquerait d'un système de « *pace-maker* », capable de fournir le rythme d'activation neuronale à des systèmes de neurones, éventuellement situés à distance du *pace-maker* lui-même. Parmi les structures candidates à jouer ce rôle, Llínas propose le cervelet, dont l'organisation anatomo-fonctionnelle est particulièrement propice à une telle régulation des aspects temporels d'autres régions, en particulier corticales (Ivry et coll., 2002). Les tâches de perception de la durée d'un stimulus sont particulièrement altérées lors de lésions cérébelleuses (Ivry et Keele, 1989). Or, des dyslexiques ont été retrouvés déficitaires sur ce type de tâches (Nicolson et coll., 1995), bien que cela n'ait pas toujours été répliqué (Ramus et coll., 2003a et b). Par ailleurs, d'autres raisons sont évoquées pour lesquelles un rôle du cervelet a pu être proposé dans la dyslexie.

Dyslexie et trouble déficit de l'attention avec ou sans hyperactivité

Sous la rubrique « déficit de l'attention et comportements perturbateurs », le DSM-IV définit un ensemble de troubles qui entretiennent des liens réciproques encore mal connus, mais indéniablement très étroits et complexes avec les troubles des apprentissages. Les trois principaux diagnostics dans cette rubrique sont : le trouble déficit d'attention avec hyperactivité (TDAH),

le trouble des conduites (sous-entendu conduites sociales) et le trouble oppositionnel avec provocation, souvent considéré comme une forme précoce des deux premiers. Le trouble déficit d'attention avec hyperactivité représente la comorbidité psychiatrique la plus fréquente chez les dyslexiques. Alors que la prévalence de chacune des deux affections est d'environ 5-7 %, il est admis que 25 à 40 % des enfants hyperactifs souffrent de troubles de lecture (Dykman et Ackerman, 1991 ; Semrud-Clikeman et coll., 1992), alors que 15 à 40 % des dyslexiques remplissent les critères de déficit d'attention avec hyperactivité (Gilger et coll., 1992 ; Shaywitz et coll., 1995 ; Willcutt et Pennington, 2000). De même, il a de longue date été démontré que les enfants présentant des troubles de lecture ont un risque 5 fois plus fort de présenter des comportements antisociaux que le reste de la population (Rutter et Yule, 1970), alors que des travaux plus récents ont révélé la fréquence élevée de troubles de lecture dans des populations de délinquants et d'enfants avec troubles des conduites (Hawkins et Lishner, 1987 ; Frick et coll., 1991). Globalement, cependant, on admet que les troubles du comportement chez les dyslexiques sont « médiés » par la plus grande fréquence chez eux de signes d'hyperactivité. Pour autant, la question du mécanisme sous-jacent à cette association est loin d'être résolue. Pour certains, la plus grande fréquence de troubles de la lecture chez les sujets hyperactifs serait la seule conséquence de difficultés de compréhension liées au déficit d'attention (Samuelson et coll., 2004). Pour d'autres, au contraire, il existerait bien un lien, sans doute d'ordre génétique, entre les deux affections. Dans cette conception, le déficit d'attention avec hyperactivité peut être considéré comme un autre syndrôme « dys ». L'association « dyslexie et hyperactivité » sera également traitée dans le chapitre sur les troubles associés comportementaux et émotionnels.

Dyslexie et troubles moteurs

Dans la population citée ci-dessus (Habib, 2003), les troubles concernant la motricité (dyspraxie et dysgraphie) représentent 56 cas, soit 26 % de la population totale. La comorbidité entre dyslexie et troubles moteurs est particulièrement intéressante, car elle a fourni une piste pour tenter d'expliquer la dyslexie.

Comme le fait remarquer Albaret (1995), la notion de dyspraxie a connu un très grand nombre de dénominations, révélant la complexité et le peu de compréhension que les scientifiques possèdent encore de ces problèmes. C'est ainsi que l'on rencontre les termes de « maladresse anormale » (Orton), « maladresse congénitale » (Ford), « dyspraxie de développement » (Brain), « apraxie de développement » (Walton), « maladresse de développement » (Reuben et Bakwin), les tableaux « d'agnosie et apraxie du développement » (Gubbay), les « dyspraxies-dysgnosies de développement » (Lesny, 1980) et,

dernièrement, le trouble d'acquisition des coordinations (DSM-IV) ou le trouble spécifique du développement moteur (CIM-10) (Albaret, 1995).

On admet cependant que les troubles de la coordination, qui représentent environ 6 % (Albaret, 1995 ; Kadesjö et Gillberg, 1999) de la population générale, avec ici encore une nette prédominance de garçons, comportent divers symptômes aisément reconnaissables, mais qui se regroupent entre eux de manière très variable. Schématiquement, on reconnaît des troubles des « praxies », c'est-à-dire de la capacité à choisir, planifier, séquencer, et exécuter le mouvement, avec des conséquences d'importance variable sur les actes de la vie quotidienne (sauter, lacer ses chaussures, attraper une balle), en fait tous les actes qui nécessitent une bonne coordination gestuelle. L'incidence de ces troubles sur les apprentissages peut être majeure : parfois des actes aussi simples que tirer un trait avec un crayon et une règle, voire sortir sa gomme de sa trousse, peuvent être un obstacle insurmontable pour l'enfant à l'école. L'un des meilleurs exemples de la nécessité d'une bonne coordination visuo-motrice dans les apprentissages est sans doute celui de la poursuite visuelle, souvent altérée chez les dyspraxiques, et nécessaire à l'apprentissage de la lecture. Mais les troubles chez le dyspraxique ne se résument pas à des troubles moteurs, ou même de coordination sensori-motrice : des troubles de nature purement sensorielle peuvent sans doute être intégrés dans le concept de dyspraxie, de manière plus ou moins franche, intéressant de manière variable les principaux systèmes sensoriels impliqués dans la motricité : système proprioceptif, visuel et vestibulaire. En fait, toute action impliquant la gestualité et/ou la posture nécessite également des capacités perceptives et visuo-spatiales intactes, de sorte qu'il est difficile de dissocier ce qui est purement praxique, de ce qui relève de capacités perceptives. Cette complexité est bien illustrée dans la réalisation de la figure de Rey, outil classique appartenant à la fois au neuropsychologue et au psychomotricien, et particulièrement utile pour déceler des troubles de l'intégration visuo-praxique. En outre, parmi les troubles moteurs eux-mêmes, on va pouvoir distinguer ceux qui touchent les muscles proximaux et la posture, de ceux qui touchent l'exécution des mouvements fins et distaux, ou encore ceux qui concernent globalement tous les types de motricité. On comprend donc que, selon la présence ou l'absence de tous ces symptômes, les tableaux puissent être, au final, éminemment variables entre divers patients, pourtant tous qualifiés de dyspraxiques ou DCD (*developmental coordination disorder*).

Ces constatations ont amené diverses équipes à rechercher des sous-types de dyspraxie, correspondant à des associations variées de symptômes et les différents types de regroupements possibles, en utilisant des outils statistiques sophistiqués à la recherche de « *clusters* » ou regroupements de signes (Dewey et Kaplan, 1994 ; Hoare, 1994). De manière générale, ces tentatives ont été peu fructueuses, et certains se sont même demandés (Macnab et coll., 2001) si l'utilisation d'outils statistiques tels que l'analyse de *cluster* est une méthode pertinente pour approcher la question, face à l'incapacité des

modèles proposés à suggérer des mécanismes différents selon les sous-types, et donc des thérapeutiques appropriées.

Un article deVisser (2003) suggère que la meilleure approche est l'étude des comorbidités. D'après cet auteur, il existe un « fond de comorbidité » entre les troubles développementaux de coordination (DCD), les troubles déficit de l'attention/hyperactivité (TDAH), les troubles de la lecture et les troubles du langage oral (SLI). Par exemple, Hill (2001), qui a mené une revue de littérature sur ce sujet, rapporte une importante comorbidité entre SLI et DCD, au point de suggérer que le SLI n'est pas vraiment un trouble spécifique du langage.

De même, il existe des arguments convergents montrant une forte comorbidité entre DCD et TDAH. Kadesjö et Gillberg (1999) ont ainsi montré qu'environ la moitié des enfants de 7 ans qu'ils avaient diagnostiqués comme dyspraxiques avaient également des symptômes de TDAH de sévérité variable. De la même manière, pour Kaplan et coll. (1998), dans une étude de 115 enfants référés pour des troubles de l'attention et de l'apprentissage, 53 seulement étaient considérés comme des « cas purs », 62 présentant en fait une comorbidité, avec au premier plan la comorbidité DCD-TDAH. Sur ces 62 cas, 23 avaient des déficits dans tous les secteurs mesurés.

Rasmussen et Gillberg (2000) ont spécifiquement considéré le problème des sous-types et de la comorbidité en relation avec le pronostic ultérieur des patients. Dans une étude longitudinale de 55 enfants ayant reçu le diagnostic de TDAH, ils ont distingué ceux qui avaient des signes concomitants de troubles de coordination, et ceux sans de tels signes. À l'âge de 22 ans, les patients étaient comparés à 46 sujets témoins appariés en âge, sans signes ni de TDAH, ni de DCD. Dans le groupe avec TDAH, 58 % avaient eu une évolution défavorable en termes de troubles d'apprentissage, de niveau scolaire atteint, et même de problèmes d'adaptation sociale. Le pronostic le plus défavorable était retrouvé chez les enfants ayant une comorbidité avec des troubles de coordination.

Dewey et coll. (2002) ont étudié 45 enfants identifiés comme dyspraxiques, 51 comme suspects de dyspraxie et 78 enfants témoins, à l'aide d'une batterie de tâches de lecture, d'écriture et d'orthographe. Les résultats montrèrent que tout autant les DCD que les enfants suspects de dyspraxie étaient significativement déficitaires par rapport aux témoins sur toutes les tâches de langage écrit.

Enfin, Piek et coll. (1999) ont recherché des troubles de la coordination chez des enfants hyperactifs, et ont retrouvé une incidence importante de troubles permettant de parler de dyspraxie. En outre, un patron de déficit moteur différent fut retrouvé selon le type de trouble d'hyperactivité : chez les enfants diagnostiqués comme à prédominance inattentive, ce sont les troubles de la motricité fine qui étaient principalement relevés, alors que

chez ceux porteurs du diagnostic de TDAH de forme mixte (à la fois inattentifs et hyperactifs), les troubles moteurs étaient plus globaux. En outre, ces auteurs notèrent une forte association entre le degré d'inattention et la sévérité du trouble moteur.

Enfin, la question spécifique des liens entre troubles de la coordination et difficultés de lecture a fait l'objet d'un intérêt particulier. Une des questions majeures encore non résolues est de savoir s'il existe une forme particulière de dyslexie qui accompagnerait de façon spécifique les troubles de la coordination sensori-motrice chez le dyspraxique. Dans la plupart des travaux sur le sujet, il est rapporté que plus de la moitié des dyspraxiques ont également des troubles d'apprentissage de la lecture. Fletcher-Flinn et coll. (1997) ont testé 28 enfants de 8 ans sur leurs capacités de langage oral et écrit, incluant la conscience phonologique, de coordination motrice et de discrimination visuelle et d'intégration visuo-motrice. Les résultats ont montré que la conscience phonologique restait le meilleur prédicteur des capacités de lecture, alors que les déficits visuo-perceptifs n'étaient corrélés qu'avec l'orthographe et les tests de coordination motrice.

De même, O'Hare et Khalid (2002) ont étudié 23 enfants avec un diagnostic de DCD et recherché les troubles de lecture à la fois par un questionnaire parental et une batterie de tests, par comparaison à un groupe témoin de 136 enfants à développement normal. Parmi les cas de DCD, 87 % avaient des troubles de l'écriture et 70 % des troubles de la lecture, comparés à des taux bien plus bas (15 et 14 % respectivement) dans le groupe témoin. Ces auteurs ont été à même de mettre en relation ces troubles avec des symptômes suggérant une dysfonction cérébelleuse, mais tout autant pour les DCD avec que sans troubles de l'écrit.

Finalement, comme le souligne Visser (2003), les théories et approches spécifiquement focalisées sur le trouble moteur n'ont pas réellement fait la preuve d'une grande efficacité dans le développement d'un modèle causal de ces affections. Au contraire, d'après cet auteur, les théories cherchant à rendre compte de l'association entre troubles moteurs et autres syndromes ont plus de chance d'être fructueuses, telle que l'hypothèse du déficit d'automatisation (Fawcett et Nicolson, 1992), qui fournit un « cadre rationnel pour la coexistence d'un ensemble de problèmes développementaux, tels que les difficultés d'articulation, de lecture, de coordination et d'attention. La théorie peut donc s'avérer utile dans la recherche de dysfonctions cérébrales sous-tendant les cas de comorbidité entre DCD, TDAH et troubles d'apprentissage du langage oral et écrit. » (Visser, 2003).

Cette coïncidence entre troubles moteurs et troubles de l'apprentissage en général, et de la lecture en particulier, a été un des supports de la théorie cérébelleuse qui représente l'une des pistes dans la quête actuelle des chercheurs pour une meilleure compréhension des déficits neurocognitifs sous-jacents aux troubles d'apprentissage.

De la dyspraxie à la dysgraphie

L'expérience clinique montre qu'il est rare qu'un enfant dyspraxique ait une écriture intacte. À l'inverse, il existe beaucoup de dysgraphiques chez qui on ne met pas en évidence de signes francs de dyspraxie.

Parmi les 209 consultants du CHU de Marseille (Habib, 2003), 19 enfants ont reçu un diagnostic principal de dyspraxie, dont 12 (63 %) étaient également dyslexiques. Une dysgraphie n'était présente que chez 7 (36 %) d'entre eux, alors que 26 sur les 177 dyslexiques (14 %) étaient également dysgraphiques. Cette apparente discordance provient sans doute du fait que la dysgraphie se remarque plus facilement chez un enfant n'ayant pas d'autre trouble moteur évident. Mais il faut reconnaître que les cliniciens manquent d'outils standardisés pour qualifier une écriture de dysgraphique.

Dans une autre étude de la même équipe (Brun-Hénin et coll., en préparation), 11 adultes dyslexiques ont également été examinés pour leurs performances en expression écrite. Chaque sujet a reçu d'une part une évaluation de la lecture (incluant la conscience phonologique) et de l'orthographe, et d'autre part deux approches de l'expression écrite, l'une mesurant la fluidité de l'écriture et la présence d'irrégularités de la production selon une grille utilisée classiquement en psychomotricité, l'autre, utilisant l'enregistrement de données par l'intermédiaire d'une tablette graphique (le nombre de levers du crayon, la pression et la vitesse du geste graphique lui-même). Les données d'évaluation clinique de l'écriture montrent d'une part une altération nette par rapport à des témoins non dyslexiques, avec en particulier une performance située entre 2 et 3 écarts-types en dessous de témoins non dyslexiques appariés (un seul sujet dyslexique obtient un score du niveau de la moyenne des témoins) ; et d'autre part, une corrélation nette avec toutes les mesures de lecture et de conscience phonologique, confirmant la proportionnalité entre le trouble de l'écrit ainsi mesuré et la sévérité de la dyslexie résiduelle. En revanche, ces déficits n'apparaissent plus si l'on considère les mesures effectuées sur la tablette graphique, donnant une appréciation plus directe d'un éventuel trouble de la coordination motrice. En particulier, la mesure de la pression moyenne ou celle de la vitesse du geste ne montrent ni différence significative entre dyslexiques et témoins, ni corrélation avec les épreuves de lecture et d'orthographe. Seulement 2 sur les 11 dyslexiques semblent franchement s'écarter de la moyenne des normaux. Ainsi, il apparaît que les difficultés que rencontrent, une fois adultes, les dyslexiques dans leur expression écrite, peuvent être de deux types : dans la majorité des cas, il s'agit de simples conséquences des difficultés générales avec l'écrit, capables de modifier et d'altérer la réalisation graphique de façon significative mais sans réel trouble neuro-moteur sous-jacent ; dans d'autres cas, plus rares, il pourrait s'agir d'une véritable association entre dyslexie et dyspraxie, et on s'attend alors à voir ces sujets échouer également dans d'autres tâches motrices que l'écriture. Des études similaires chez l'enfant sont en cours pour

tester plus directement cette hypothèse. Finalement, les liens entre DCD et troubles des apprentissages peuvent répondre à deux cas de figure : soit il s'agit d'une dyspraxie avec ses conséquences multiples et variables sur la réalisation des gestes, incluant l'écriture, soit le trouble est plus circonscrit au domaine de l'écriture elle-même et apparaît alors comme en lien étroit avec les performances dans le domaine linguistique. Dans ce dernier cas, la dysgraphie ne confère pas de particularité au profil cognitif de l'enfant, qui reste celui d'un trouble éminemment langagier, avec son cortège de difficultés d'intensité variable dans l'acquisition du langage oral, et surtout phonologique retentissant de manière proportionnelle sur la lecture. Dans les cas plus proprement dyspraxiques, au contraire, le profil cognitif est atypique, avec souvent un avantage des performances verbales sur les tâches non verbales au niveau du QI, écart parfois de l'ordre de plusieurs dizaines de points. Ce profil plus rare est souvent qualifié de « syndrome développemental non verbal », ou encore « hémisphérique droit », pour rappeler que les fonctions altérées sont celles classiquement attribuées à l'hémisphère droit, alors que les fonctions de nature linguistique, donc plus proprement hémisphériques gauches, sont relativement préservées. Il faut cependant admettre que cette distinction entre déficit verbal et non verbal, éminemment basée sur l'observation clinique de secteurs cognitifs et sensorimoteurs altérés ou au contraire intacts, et qui a eu un succès certain avant les années 1990 (voir par exemple Rourke, 1989 et 1995), n'est pratiquement plus citée dans les recherches actuelles. Il est probable que cette prise de distance de la part des chercheurs vis-à-vis d'une telle conception des troubles d'apprentissage, sans doute jugée trop globale, a le tort de s'éloigner par là même de la réalité clinique et sans doute d'occulter de nouvelles pistes de recherche potentiellement intéressantes.

Précocité et surdoués

Les travaux statistiques sur l'association entre précocité[30] et troubles d'apprentissage sont rares. Hormis l'association classique entre précocité et préférence manuelle atypique (Halpern, 2000) et les données incontestables en faveur d'une nette prédominance de garçons parmi les enfants doués en mathématiques (Benbow, 1988), il n'y a pratiquement aucun article scientifique consacré à l'étude de l'association précocité/trouble d'apprentissage. La seule association parfois relevée est l'hyperactivité, encore cette dernière n'est-elle pas particulièrement commentée ni discutée dans ses mécanismes

30. Si le concept commence à être assez unanimement reconnu comme une entité neuropsychologique, définie par un chiffre de quotient intellectuel supérieur à 130, la diversité des termes utilisés (enfant intellectuellement précoce, enfant à haut ou fort potentiel, enfant surdoué, en Anglais « *gifted child* ») traduit une absence de consensus sur les mécanismes sous-jacents.

(Kaufmann et coll., 2000). Assez paradoxalement, les commentaires de nature pédagogique abondent sous forme non scientifique, par exemple dans des dizaines d'articles ou de témoignages recueillis sur Internet. Ainsi, la recherche des mots clés *giftedness + dyslexia* donne 15 600 réponses sur le moteur de recherche généraliste « Google » et aucune sur la base de données scientifiques « Pubmed ».

Comme l'ont montré Kaufmann et coll. (2000), le syndrome d'hyperactivité est plus sévère chez les intellectuellement précoces, ce qui semble suggérer que les précoces moins sévèrement touchés parviennent à compenser leur hyperactivité modérée, de sorte que seuls les plus sévèrement hyperactifs peuvent être diagnostiqués.

Les enfants précoces avec trouble d'apprentissage peuvent être répartis en trois catégories :
- les enfants doués identifiés comme souffrant de trouble discret d'apprentissage ;
- les enfants non identifiés comme précoces ni comme dyslexiques, et dont la réussite scolaire, en général moyenne, nécessite des efforts constants et démesurés par rapport à leurs véritables compétences ;
- les enfants suivis et traités pour leur trouble d'apprentissage et dont on découvre tardivement la précocité (Baum, 1990).

Les estimations les plus basses indiquent que 2 à 10 % des enfants enrôlés dans les études américaines sur les surdoués souffrent également de troubles spécifiques d'apprentissage (Dix et Schafer, 1996), ce qui n'est pas significativement plus fréquent que dans la population générale, mais environ 40 % des écoliers surdoués ne sont pas diagnostiqués avant le lycée (Ferri et coll., 1997).

Dans la population française de 209 enfants avec troubles d'apprentissage (Habib, 2003), le diagnostic de précocité a été posé 25 fois ce qui représente environ 12 % des cas, alors que si on s'en tient à la définition classique du surdoué comme ayant un QI supérieur à 130, ils représenteraient moins de 2,5 % de la population générale. Certes, ici encore, on peut penser que le recrutement d'une consultation hospitalière spécialisée est biaisée en faveur de cas exceptionnels, mais l'écart constaté est, pour le moins, massif. Cette incidence est considérable quand on réalise que ces enfants ont souvent une réussite scolaire médiocre, avec son cortège de dépréciation par leur entourage et par eux-mêmes, pouvant compromettre durablement leur avenir socioprofessionnel, alors que leurs capacités intrinsèques devraient en théorie leur donner des facilités intellectuelles largement au-dessus de celles de leurs pairs. C'est dire l'importance pour le clinicien de ne pas passer à côté de cette éventualité face à un trouble d'apprentissage, au risque de compromettre définitivement l'avenir de ces enfants. C'est dire aussi que la fréquence de l'association a plus de chances d'être sous-estimée que surestimée.

Quant aux autres comorbidités observées chez les 25 cas de précocité, 17 (68 %) étaient également dyslexiques, en général une dyslexie de type visuelle (11) plutôt que phonologique (6), 8 étaient dysgraphiques, 6 avaient des troubles attentionnels et 7 des troubles d'acquisition du langage oral. Ces chiffres ne signifient pas que 68 % des enfants précoces ont des difficultés de lecture, puisque ce recrutement ne concernait que les enfants souffrant de difficultés d'apprentissage, ce qui n'est pas le cas de tous les enfants précoces…

Si les arguments font encore défaut pour associer dyslexie et précocité, ceux-ci ne manquent pas en revanche pour suggérer un développement cérébral atypique chez le surdoué. Dans une étude récente de 195 enfants ayant un quotient intellectuel supérieur à 130, Louis et coll. (2005) ont retrouvé deux types de facteurs significativement associés à la précocité : des facteurs d'ordre psychosocial, en particulier le statut marital des parents et leur niveau d'études, mais aussi des facteurs évoquant une altération d'ordre neurobiologique (grossesse anormale, stress périnatal, et terrain migraineux). Les auteurs discutent en particulier le possible effet à la fois physiologique et psychologique d'un stress périnatal sur le développement de l'enfant. Dans la littérature anglo-saxonne, les études sur les corrélats biologiques de la précocité ont surtout concerné des populations d'étudiants à haut degré de performance en mathématique. Les études de Camilla Benbow sont ainsi parmi les plus célèbres, dont celle montrant un plus grand nombre de gauchers et d'allergiques de même qu'un fonctionnement cognitif plutôt bihémisphérique (Benbow, 1986), autant de facteurs potentiels également invoqués à l'origine de la dyslexie.

Dans un cadre un peu différent, certains auteurs se sont demandés si une population de dyslexiques pourrait posséder un avantage cognitif sur la population générale, souvent désigné sous le terme de « talent ». L'un de ces talents souvent reconnus au dyslexique est une capacité supérieure dans le traitement visuo-spatial. Pourtant, les études réalisées dans ce domaine ont donné des résultats assez contradictoires. L'une des dernières, toutefois, est en faveur d'une supériorité générale des dyslexiques dans une tâche de décision sur des figures tridimensionnelles « impossibles », nécessitant de mettre en jeu une stratégie purement visuelle de rotation mentale (von Karolyi et coll., 2003). Une autre étude récente (Chiarello et coll., 2006) rapporte par le détail l'observation d'un adulte de 28 ans, à l'évidence sévèrement dyslexique et intellectuellement précoce, brillant étudiant en sciences sociales, avec un QI non verbal au 86e percentile (PM 38) et pourtant en difficulté dans divers domaines de ses capacités cognitives dont le langage écrit, la mémoire et les capacités d'apprentissage, mais paradoxalement aussi certains aspects des mathématiques alors qu'il se disait globalement doué pour les maths. Par exemple, il enseignait brillamment les statistiques, mais se trouvait gêné par des calculs simples lorsqu'il devait faire une démonstration en cours. Globalement, après une scolarité à peine médiocre, il réussit de

brillantes études supérieures. Enfin, toutes les épreuves de langage écrit (sauf la compréhension) et certaines épreuves de langage oral, comme la morpho-syntaxe, étaient très déficitaires, laissant présumer de considérables facultés de compensation pour expliquer sa réussite actuelle. Les auteurs analysèrent avec attention son IRM cérébrale sur laquelle ils ont pu mettre en évidence un patron d'anatomie des sillons et des circonvolutions de la région pariétale inférieure, tout à fait inhabituel, se traduisant par une absence d'opercule pariétal sur l'hémisphère droit. Or, cet aspect est tout à fait exceptionnel, puisque les auteurs ne l'ont jamais retrouvé sur une soixantaine de sujets témoins. De manière très troublante, cet aspect a été également cité dans un cas célèbre de la littérature, le cerveau d'Albert Einstein, analysé il y a une dizaine d'années par Witelson et coll. (1999), une constatation qui avait donné lieu à l'époque à une énorme contestation dans le milieu scientifique, dénonçant quasi-unanimement un « inacceptable réductionnisme » et une « voie de recherche sans issue » (voir par exemple Galaburda, 1999). L'étude récente de Chiarello semblerait bien prouver le contraire[31].

Incontestablement, la littérature est encore insuffisamment précise dans le domaine pour permettre de mesurer la fréquence exacte de l'association entre précocité et trouble des apprentissages, et de nouvelles études sont nécessaires. Mais si le fait se confirme, considérer la précocité intellectuelle comme une comorbidité de la dyslexie et des autres troubles d'apprentissage serait d'une importance théorique indéniable, fournissant un puissant instrument de réflexion pour aborder la question des mécanismes sous-jacents. En effet, plus encore que la co-occurrence de deux types de déficits, comme par exemple la dyslexie et la dyscalculie, l'observation chez un même individu d'un déficit et d'un talent particulier oblige à raisonner de manière différente. L'observation de deux déficits peut se concevoir à la lumière de la neuropsychologie modulaire classique comme l'effet d'un même processus pathologique sur deux modules distincts, tout comme une embolie cérébrale, par exemple, peut provoquer deux lésions distantes, l'une frontale, l'autre pariétale, et donner ainsi l'addition de symptômes de dysfonction frontale à des symptômes de dysfonction pariétale. Par analogie, on pourra alors présumer qu'un processus neurodéveloppemental pathologique puisse résulter à la fois en un déficit de nature linguistique (évoquant une dysfonction frontale gauche) et en un déficit de nature visuo-spatiale, évoquant une dysfonction pariétale droite. Dans ce contexte, on expliquera volontiers les différences entre syndromes lésionnels et syndromes développementaux par les qualités

31. De manière générale, les travaux d'imagerie dans le domaine de la précocité intellectuelle sont excessivement rares. On retiendra les écrits de Michael O'Boyle, en particulier une étude de sujets « mathématiquement doués» (O'Boyle et coll., 2005) dans laquelle ces auteurs retrouvent en IRM fonctionnelle un patron d'activation par une tâche de rotation mentale significativement plus vaste, en particulier dans les régions pariétales supérieures et frontales internes, par rapport à des sujets témoins.

de plasticité que possède le cerveau de l'enfant et que ne possède plus le cerveau adulte (Thomas et Karmiloff-Smith, 2002).

Mais si une telle explication peut à la rigueur se concevoir pour l'association de deux types de déficits, elle rend bien moins aisément compte de l'association d'un déficit avec un talent particulier. Dans ce cas, il est nécessaire d'imaginer qu'un processus commun ait été capable de provoquer à la fois la dysfonction d'un module et le meilleur fonctionnement d'un autre, ce qui contraint considérablement les modèles explicatifs potentiels. Par exemple, l'explication classique faisant du trouble phonologique l'unique déterminant du trouble d'apprentissage chez le dyslexique, peut être mise en difficulté par la constatation de déficits comorbides, et plus encore par celle de talents concomitants.

En conclusion, cette revue de littérature montre à quel point le concept de comorbidité est fondamental dans les troubles d'apprentissage et facteur de complexité tant pour le clinicien que pour le chercheur. Le clinicien doit rechercher et prendre en charge toutes les facettes du trouble, facettes relevant souvent de compétences professionnelles différentes, incitant encore une fois à promouvoir de manière impérative une attitude multidisciplinaire, volontiers aujourd'hui matérialisée sous la forme de réseaux de soins.

Pour le chercheur, ce concept est un puissant moteur pour avancer des hypothèses tentant d'expliquer par un ou des facteurs communs la survenue concomitante de plusieurs conditions, telles que celles revues ci-dessus. Il est clair qu'en retour, les avancées de la recherche ne pourront qu'être profitables à la démarche du clinicien.

Bibliographie

AHISSAR M, PROTOPAPAS A, REID M, MERZENICH MM. Auditory processing parallels reading abilities in adults. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 2000, **97** : 6832-6837

ALBARET JM. Évaluation psychomotrice des dyspraxies de développement. *Evolutions Psychomotrices* 1995, **7** : 3-11

AUGUST G, GARFINKEL B. Comorbidity of ADHD and reading disability among clinic-referred children. *J Abnorm Child Psychol* 1990, **18** : 29-45

BAUM S. The gifted/learning disabled: A paradox for teachers. *Education Digest* 1990, **8** : 54-57

BENBOW CP. Physiological correlates of extreme intellectual precocity. *Neuropsychologia* 1986, **24** : 719-725

BENBOW CP. Sex differences in mathematical reasoning ability in intellectually talented preadolescents: their nature, effects and possible causes. *Brain Behav* 1988, **11** : 169-232

BENSON DF, GESCHWIND N. Developmental Gerstmann syndrome. *Neurology* 1970, **20** : 293-298

BILLARD C, DUCOT B, PINTON F, COSTE-ZEITOUN D, PICARD S, WARSZAWSKI J. Validation de la BREV, Batterie clinique d'évaluation des fonctions cognitives, en comparaison à une batterie de référence, dans les troubles des apprentissages. *Arch Fr Ped* 2006, **13** : 23-31

BISHOP DVM, SNOWLING MJ. Developmental Dyslexia and Specific Language Impairment: Same or Different? *Psychological Bulletin* 2004, **130** : 858-886

BRUN-HÉNIN F, CAY-MAUBUISSON M, HABIB M. Troubles de l'écriture résiduels chez l'adulte dyslexique. Manuscrit en préparation

CASTLES A, COLTHEART M. Varieties of developmental dyslexia. *Cognition* 1993, **47** : 149-180

CUVELLIER JC, PANDIT F, CASALIS S, LEMAÎTRE MP, CUISSET JM, et coll. Analyse d'une population de 100 enfants adressés pour troubles d'apprentissage scolaire. *Archives de pédiatrie* 2004, **11** : 201-206

CHIARELLO C, LOMBARDINO LJ, KACINIK NA, OTTO R, LEONARD CM. Neuroanatomical and behavioral asymmetry in an adult compensated dyslexic. *Brain Lang* 2006, **98** : 169-181

DAFFAURE V, DE MARTINO S, CHAUVIN C, CAY-MAUBUISSON M, CAMPS R, et coll. Dyslexie de développement et trouble temporel : de la perception auditive à la perception du temps conventionnel. *Rev Neuropsychol* 2001, **11** :115-116

DEHAENE S, MOLKO N, COHEN L, WILSON AJ. Arithmetic and the brain. *Current Opinion in Neurobiology* 2004, **14** : 218-224

DEWEY D, KAPLAN BJ. Subtyping of developmental motor deficits. *Developmental Neuropsychology* 1994, **10** : 265-284

DEWEY D, KAPLAN BJ, CRAWFORD SG, WILSON BN. Developmental coordination disorder: associated problems in attention, learning, and psychosocial adjustment. *Hum Mov Sci* 2002, **21** : 905-918

DIX J, SCHAFER S. From paradox to performance: Practical strategies for identifying and teaching gt/ld students. *Gifted Child Today Magazine* 1996, **19** : 22-31

DYKMAN RA, ACKERMAN PT. ADD and Specific Reading Disability: Separate but often overlapping disorders. *Journal of Learning Disabilities* 1991, **24** : 96-103

FAWCETT AJ, NICOLSON RI. Automatization deficits in balance for dyslexic children. *Perceptual and Motor Skills* 1992, **75** : 507-529

FERRI B, GREGG N, HEGGOY S. Profiles of college students demonstrating learning disabilities with and without giftedness. *J Learning Disabilities* 1997, **30** : 552-559

FLETCHER-FLINN C, ELMES H, STRUGNELL D. Visual-perceptual and phonological factors in the acquisition of literacy among children with congenital developmental coordination disorder. *Dev Med Child Neurol* 1997, **39** : 158-166

FRICK PJ, KAMPHAUS RW, LAHEY BB, LOEBER R, CHRIST MAG, et coll. Academic underachievement and the disruptive behavior disorders. *Journal of Consulting and Clinical Psychology* 1991, **59** : 289-294

GALABURDA AM. Albert Einstein's brain. *Lancet* 1999, **354** : 1821-1822

GILGER JW, PENNINGTON BF, DEFRIES JC. A twin study of the etiology of comorbidity: Attention deficit-hyperactivity disorder and dyslexia. *Journal of the American Academy of Child and Adolescent Psychiatry* 1992, **31** : 343-348

GIRAUD K, DEMONET DÉMONET JF, HABIB M, MARQUIS P, CHAUVEL P, LIEGEOIS-CHAUVEL C. Auditory Evoked Potential Patterns to Voiced and Voiceless Speech Sounds in Adult Developmental Dyslexics with Persistent Deficits. *Cereb Cortex* 2005, **15** : 1524-1534

GROSS-TSUR V, MANOR O, SHALEV RS. Developmental dyscalculia : Prevalence and demographic features. *Developmental Medicine and Child Neurology* 1996, **38** : 25-33

HABIB M. La dyslexie à livre ouvert. Résodys, Marseille, 2003 : 171 p

HALPERN D. Sex differences in Cognitive abilities. 3d edition, Erlbaum, Mahwah, NJ, 2000

HAWKINS J, LISHNER D. Schooling and delinquency. *In* : Handbook of crime and delinquency prevention. JOHNSON EH (ed). New York, Guilford Press, 1987 : 179-221

HILL EL. Non-specific nature of specific language impairment: A review of the literature with regard to concomitant motor impairments. *International J Language Communication Disorders* 2001, **36** : 149-171

HOARE D. Subtypes of developmental coordination disorder. *Adapted Physical Activity Quarterly* 1994, **11** : 158-169

IVRY RB, KEELE SW. Timing functions of the cerebellum. *J Cogn Neurosci* 1989, **1** : 136-152

IVRY RB, SPENCERRMC, ZELAZNIKHN, DIEDRICHSEN J. The cerebellum and event timing. *Ann N Y Acad Sci* 2002, **978** : 302-317

KADESJO B, GILLBERG C. Developmental coordination disorder in Swedish 7-year-old children. *J AmAcad Child Adol Psychiatry* 1999, **38** : 820-828

KAPLAN BJ, WILSON BN, DEWEY D, CRAWFORD SG. DCD may not be a discrete disorder. *Human Movement Science* 1998, **17** : 471-490

KAUFMANN F, KALBFLEISCH ML, CASTELLANOS FX. Attention deficit disorders and gifted students : what do we really know? Storr, CT, National Research Center on the Gifted ans Talented, University of Connecticut, 2000

KING WM, LOMBARDINO LJ, CRANDELL CC, LEONARD CC. Comorbid Auditory Processing Disorder in Developmental Dyslexia. *Ear & Hearing* 2003, **24** : 448-456

KNOPIK VS, ALARCON M, DEFRIES JC. Comorbidity of mathematics and reading deficits: evidence for a genetic etiology. *Behav Genet* 1997, **27** : 447-453

LANDERL K, BEVAN A, BUTTERWORTH B. Developmental dyscalculia and basic numerical capacities: A study of 8–9 year old students. *Cognition* 2004, **93** : 99-125

LESNY IA. Developmental dyspraxia-dysgnosia as a cause of congenital children's clumsiness. *Brain &Development* 1980, **2** : 69-71

LEWIS C, HITCH G, WALKER P. The prevalence of specific arithmetic difficulties and specific reading difficulties in 9- and 10-year-old boys and girls. *J Child Psychol Psychiatry* 1994, **35** : 283-292

LIÉGEOIS-CHAUVEL C, DEGRAAF JB, LAGUITTON V, CHAUVEL P. Specialization of left auditory cortex for speech perception in man depends on temporal coding. *Cereb Cortex* 1999, **9** : 484-496

LOUIS J, REVOL O, NEMOZ C, GULAC RM, FOURNERET P. Les facteurs psychophysiologiques de la précocité intellectuelle : résultats d'une enquête comparative chez l'enfant entre 8 et 11 ans. *Arch Pédiatrie* 2005, **12** : 520-525

LYYTINEN H, AHONEN T, EKLUND K, GUTTORM T, KULJU P, et coll. Early Development of Children at Familial Risk for Dyslexia : Follow-up from Birth to School Age. *Dyslexia* 2004, **10** : 146-178

LLÍNAS R. Is dyslexia a dyschronia ? *Ann NY Acad Sci* 1993, **682** : 48-56

MACNAB JJ, MILLER LT, POLATAJKO HJ. The search for subtypes of DCD: Is cluster analysis the answer? *Human Movement Science* 2001, **20** : 49-72

MANIS FR, SEIDENBERG MS, DOI LM, MCBRIDE-CHANG C, PETERSEN A. On the bases of two subtypes of development dyslexia. *Cognition* 1996, **58** : 157-195

NICOLSON, RI, FAWCETT AJ, DEAN P. Time estimation deficits in developmental dyslexia: evidence for cerebellar involvement. *Proceedings of the Royal Society* 1995, **259** : 43-47

O'BOYLE MW, CUNNINGTON R, SILK TJ, VAUGHAN D, JACKSON G, SYNGENIOTIS A, EGAN GF. Mathematically gifted male adolescents activate a unique brain network during mental rotation. *Cognitive Brain Research* 2005, **25** : 583-587

O'HARE A, KHALID S. The association of abnormal cerebellar function in children with developmental coordination disorder and reading difficulties. *Dyslexia* 2002, **8** : 234-248

OSTAD SE. Comorbidity between mathematics and spelling difficulties. *Logopedics Phoniatrics Vocology* 1998, **23** : 145-154

PIEK JP, PITCHER TM, HAY DA. Motor coordination and kinaesthesis in boys with attention deficit-hyperactivity disorder. *Developmental Medicine and Child Neurology* 1999, **41** 159-165

RAMUS F, PIDGEON E, FRITH U. The relationship between motor control and phonology in dyslexic children. *Journal of Child Psychology and Psychiatry* 2003a, **44** : 712-722

RAMUS F, ROSEN S, DAKIN SC, DAY BL, CASTELLOTE JM, et coll. Theories of developmental dyslexia: Insights from a multiple case study of dyslexic adults. *Brain* 2003b, **126** : 841-865

RASMUSSEN P, GILLBERG C. Natural outcome of ADHD with developmental coordination disorder at age 22 years: A controlled, longitudinal, community-based study. *J Am Acad Child Adol Psychiatry* 2000, **39** : 1424-1431

REY V, DE MARTINO S, ESPESSER R, HABIB M. Temporal processing and phonological impairment in dyslexia. Effect of phoneme lengthening on order judgement of two consonants. *Brain Lang* 2002, **80** : 576-591

ROSEN S. Auditory processing in dyslexia and specific language impairment: is there a deficit? What is its nature? Does it explain anything? *J Phonetics* 2003, **31** : 509-527

ROURKE BP. Arithmetic disabilities, specific and otherwise: A neuropsychological perspective. *J Learning Disabilities* 1993, **26** : 214-226

ROURKE BP. Syndrome of non-verbal learning disabilities: neurodevelopmental manifestations. New York, NY, Gilford Press, 1995

RUTTER M, YULE W. Reading retardation and antisocial behavior: The nature of the association. *In* : Education health and behavior. RUTTER M, TIZARD J, WHITMORE K (eds). Longmans, London, 1970 : 240-255

SAMUELSSON S, LUNDBERG I, HERKNER B. ADHD and reading disability in male adults: is there a connection? *J Learn Diabil* 2004, **37** : 155-168

SEMRUD-CLIKEMAN M, BIEDERMAN J, SPRICH-BUCKMINSTER S, LEHMAN B, FARAONE S, NORMAN D. Comorbidity between ADHD and learning disability: A review and report in a clinically referred sample. *J Am Acad Child Adol Psychiatry* 1992, **31** : 439-448

SHAYWITZ BA, FLETCHER JM, SHAYWITZ SE. Defining and classifying learning disabilities and attention-deficit/hyperactivity disorder. *Journal of Child Neurology* 1995, **10** : S50-57

THOMAS M, KARMILOFF-SMITH A. Are developmental disorders like cases of adult brain damage? Implications from connectionist modelling. *Behavioral and Brain Sciences* 2002, **25** : 727-788

VELLUTINO FR. Dyslexia: Research and theory. MIT Press, Cambridge, MA, 1979

VISSER J. Developmental coordination disorder: a review of research on subtypes and comorbidities. *Human Movement Science* 2003, **22** : 479–493

VON KÁROLYI C, WINNER E, GRAY W, SHERMAN GF. Dyslexia linked to talent: Global visual-spatial ability. *Brain and Language* 2003, **85** : 427-431

WILLCUTT EG, PENNINGTON BF. Comorbidity of reading disability and attention-deficit/ hyperactivity disorder: Differences by gender and subtype. *Journal of Learning Disabilities* 2000, **33** : 179-191

WITELSON SF, KIGAR DL, HARVEY T. The exceptional brain of Albert Einstein. *Lancet* 1999, **353** : 2149-2153

13

Troubles comportementaux ou émotionnels associés à la dyslexie

Plusieurs travaux de la littérature apportent des preuves significatives de la fréquence d'une association entre les difficultés d'apprentissages et les troubles comportementaux ou émotionnels. Ces troubles associés peuvent alors être secondaires à la situation d'échec scolaire et/ou aux conditions environnementales sociales, familiales ou psychoaffectives aggravant le trouble cognitif ou bien s'inscrire, au contraire, dans une réelle comorbidité, avec un lien d'ordre génétique, entre les deux affections.

Même si la question du mécanisme sous-jacent à l'association « troubles des apprentissages et troubles comportementaux et émotionnels » est loin d'être résolue, il apparaît indispensable de reconnaître chez les enfants, les caractéristiques des troubles cognitifs « spécifiques » pour leur accorder la prise en charge pédagogique et de soins adaptée.

Revue de la littérature

Prior et coll. (1999) ont étudié l'association entre les troubles comportementaux et émotionnels et les apprentissages scolaires à partir d'un échantillon initial de 2 443 enfants australiens suivis longitudinalement depuis l'âge de 7-8 ans et examinés à 11-12 ans sur le plan de leurs comportements et de leurs apprentissages. Parmi les 2 443 préadolescents, 183 ont été considérés comme le groupe « clinique », présentant un trouble psychopathologique, en ce sens que le CBQ (*Child Behavior Questionnaire*) révélait pour deux ou plus informateurs (parents, enfant et enseignant) un score d'au moins une déviation standard au-dessous de la norme à au moins une des échelles de troubles psychologiques externalisés (hostile-agressif, hyperactif-distractible) ou internalisé (anxieux-apeuré). Une interview individuelle complémentaire a cherché à effectuer un diagnostic de troubles du comportement ou troubles émotionnels selon les critères du DSM : chez 47,3 % des enfants du groupe « clinique », le diagnostic d'un, deux ou plus de troubles a été retenu. Un groupe témoin a été constitué de 96 enfants, sans trouble

au CBQ, appariés au groupe « clinique » selon l'âge et les facteurs socioculturels. Parmi les enfants de ce groupe témoin, 9,3 % seulement ont reçu un diagnostic selon les critères du DSM. Le score du QI évalué par la forme brève du WISC est plus faible chez les enfants du groupe clinique (105,95 *versus* 112,44) mais néanmoins dans les normes. Les compétences en lecture (test ACER), orthographe (WRAT-R) et mathématiques (WRAT-R) du groupe « clinique » sont significativement plus faibles (en moyenne respectivement 36e centile, 43e et 51e) que dans le groupe témoin (52e, 61e et 74e centile). Cette étude très complète confirme la comorbidité entre troubles des apprentissages et troubles comportementaux et émotionnels. Si la cormorbidité avec les troubles externalisés est très largement décrite dans la littérature (Hinshaw, 1992), cette étude indique également l'existence d'une comorbidité avec les troubles internalisés tels que l'anxiété détectée par l'interview de l'enfant. Le suivi longitudinal de cette cohorte montre que les troubles des apprentissages détectés à 7-8 ans persistent très largement à 11-12 ans (80 % de persistance pour les difficultés en langage écrit et 57 % pour les difficultés en mathématiques). Les troubles des apprentissages touchent aussi fréquemment les filles que les garçons. En cohérence avec l'expérience clinique, l'association entre difficultés d'apprentissages et troubles internalisés apparaît fréquente, principalement chez les filles.

Néanmoins, cette étude ne détaille pas les caractéristiques des troubles des apprentissages observés chez les enfants du groupe « clinique » avec troubles comportementaux et/ou émotionnels, ni en terme de sévérité ni en terme de profil.

Dans le même ordre d'idée, Maugham et coll. (2003) ont étudié l'association entre troubles de la lecture et humeur dépressive à partir d'un échantillon de 1 416 garçons âgés de 7 à 10 ans. Dans cet échantillon, 9,1 % des enfants (soit 134) ont été détectés comme pauvres lecteurs du fait d'un score au CAT (*California Achievement Test*) inférieur au 6e centile lors de l'évaluation initiale et dont les difficultés persistaient lors du suivi longitudinal. Une humeur dépressive a été recherchée sur l'ensemble de la cohorte par le SMFQ (*Short Version of the Mood and Feelings Questionnaire*) et un trouble psychopathologique externalisé ou internalisé par le questionnaire CBCL (*Child Behavior Check List*). Les données ont été recueillies de façon longitudinale sur plusieurs années. Une analyse multivariée a permis d'apprécier le rôle des différents facteurs. Une humeur dépressive est associée de manière indépendante à deux facteurs démographiques et familiaux : l'existence de punitions physiques administrées par les parents (p=0,002) et un déficit de supervision parentale (p=0,03), alors que le niveau socioéconomique apparaît moins corrélé (p=0,098). Par ailleurs, une humeur dépressive est associée à un trouble des conduites (p=0,02) et à la délinquance (p=0,038), ainsi qu'à un trouble de l'attention indépendamment

des troubles de conduite ou délinquance. Dans l'analyse multivariée des corrélations démographiques, familiales et comportementales, les troubles de lecture sont liés aux facteurs ethniques (fréquence plus élevée chez les africains américains, p<0,001) et au niveau socioéconomique (p=0,001). La comorbidité des troubles de lecture est élevée avec les troubles de conduite (p=0,078), le trouble déficit de l'attention/hyperactivité (TDAH) (p=0,04) et l'inattention (p=0,009).

Les enfants en difficultés de lecture sont significativement plus déprimés (9,6 % chez les bons lecteurs *versus* 23 % chez les mauvais lecteurs, p<0,01) et l'association reste très élevée lorsque l'analyse multivariée inclut tous les facteurs confondants (p=0,007). Si l'association entre troubles de la lecture et humeur déprimée persiste lors des trois points du suivi longitudinal, il n'est pas montré d'exacerbation du risque de dépression. Les garçons en difficultés de lecture les plus jeunes ont trois fois plus de risques que leurs pairs d'être déprimés lors de la première évaluation. Le niveau socioéconomique plus faible chez les lecteurs en difficulté, ou les punitions physiques infligées par les parents et le déficit de supervision parentale, plus fréquents chez les enfants déprimés, affectent peu la corrélation entre trouble de lecture et dépression. De même, l'association entre troubles de la lecture et humeur dépressive reste significative et forte après exclusion des troubles psychiatriques externalisés. Enfin, le suivi longitudinal suggère que les effets d'une dépression précoce sur les scores de lecture sont faibles. Il est plus vraisemblable que les difficultés de lecture sont d'emblée associées à la dépression dans une réelle comorbidité.

Les résultats de ces deux études sont en accord avec le travail de Pennington (1992) qui montre également un taux accru de troubles internalisés chez les mauvais lecteurs.

Enfin, les caractéristiques comportementales d'une population de 130 enfants souffrant d'une dyscalculie développementale (62 garçons et 68 filles) ont été étudiées par le questionnaire CBCL en comparaison à une population témoin appariée non dyscalculique (Shalev et coll., 1995). Globalement, le pourcentage de problèmes comportementaux, aussi bien externalisés qu'internalisés est significativement plus élevé dans la population dyscalculique que dans la population normale mais moins élevé que dans une population d'enfants référés en psychiatrie. Ceci est aussi vrai chez les filles que les garçons. Parmi ces enfants, 37 % des garçons et 25 % des filles avec dyscalculie avaient un score pathologique au CBCL.

Avec une population plus restreinte (25 enfants dyslexiques) comparée à un groupe témoin et dont le comportement a été évalué à 10-12 ans par le CBCL rempli par les parents, le TRF (*Teacher Self report*) rempli par l'enseignant et le YSR (*Youth Self Report*) rempli par le pré-adolescent, Heiervang et coll. (2001) aboutissent aux mêmes conclusions. Dans le groupe dyslexique, les troubles psychopathologiques sont plus fréquents d'après le CBCL et le

TRF. La différence pour le YSR n'atteint pas le seuil de significativité. Les groupes diffèrent également sur le plan social, les risques périnatals, le poids de naissance, le QI et les difficultés à l'âge préscolaire, mais ces facteurs ne rendent pas compte du niveau de trouble comportemental dans la population dyslexique.

Dans un échantillon français, Billard et coll. (2006) retrouvaient, lors de l'examen médical, psychologique et orthophonique, des difficultés psychoaffectives chez 48 des 173 enfants de 4 à 9 ans porteurs d'un trouble des apprentissages.

Néanmoins, aucune de ces études ne compare précisément le profil cognitif de la population avec troubles des apprentissages et troubles psychoaffectifs associés à celui de la population sans trouble psychoaffectif (en référence aux neurosciences cognitives). La reconnaissance de cette fréquente association doit amener à des études plus fines sur les caractéristiques cognitives et psychopathologiques, sur leur évolution et les effets des prises en charge respectives.

Une synthèse de l'*American Academy of Child and Adolescent Psychiatry* (AACAP, 1998) sur l'évaluation et le traitement des troubles du langage et des apprentissages de l'enfant décrit également cette comorbidité avec les troubles psychopathologiques de l'axe I du DSM-IV chez 50 % des enfants (Cantwell et Baker, 1991 ; Standford et Hynd, 1994 ; Beitchman et coll., 1996). Ces données sont issues aussi bien d'évaluations d'enfants référés à un système spécialisé d'éducation en raison, à la fois, d'un trouble psychiatrique et d'un trouble du développement, que d'évaluations psychiatriques d'enfants référés uniquement pour un trouble des apprentissages. L'anxiété de performance, les difficultés de relations avec les pairs, les relations familiales conflictuelles et la faible estime de soi sont également fréquemment rencontrées dans cette population même si les critères pour un trouble psychiatrique de l'axe I du DSM-IV ne sont pas remplis (Falik, 1995). L'association avec le TDAH est fréquente (Hinshaw, 1992). Un trouble de parole ou de langage est fréquemment associé à une anxiété, principalement chez les filles (Beitchman, 1996). Un trouble des apprentissages et/ou du langage prédispose souvent à un trouble psychiatrique ultérieur de l'axe I (Cantwel et Baker, 1991), même si celui-ci n'existait pas lors de la première évaluation. Les troubles émotionnels et/ou comportementaux peuvent masquer les difficultés d'apprentissages. Ceci souligne la nécessité pour le clinicien d'être vigilant dans l'évaluation et la prise en charge des troubles d'apprentissage : aspect cognitif, émotionnels et comportementaux. Une thérapie individuelle ou de groupe peut être envisagée en fonction de la symptomatologie et en association à la prise en charge pédagogique et rééducative.

Dyslexie et trouble déficit de l'attention avec ou sans hyperactivité

La littérature la plus abondante concerne l'association troubles des apprentissages, en général ou dyslexie en particulier, et trouble déficit de l'attention avec ou sans hyperactivité (TDAH). Si un enfant présente soit une dyslexie, soit un TDAH, le risque qu'il manifeste l'autre trouble est évalué autour de 25 à 40 % (Semrud-Clikeman et coll., 1992 ; Willcutt et Pennington, 2000), voire une fourchette de fréquence encore plus large dans certaines études (10 à 92 %, Biederman et coll., 1991). Le choix des critères de définition pour le TDAH et les troubles des apprentissages, les instruments de mesure, l'âge de l'enfant et le lieu de recrutement sont autant de facteurs pouvant expliquer la disparité de la fréquence de cette comorbidité selon les études. Ce type d'association est également fréquemment retrouvé dans une population d'enfants français (Touzin et Mouren-Simeoni, 2000).

Plusieurs hypothèses de causalité peuvent être soulevées. La première hypothèse est que le TDAH peut conduire à l'échec scolaire, que l'on invoque un facteur psychopathologique ou un facteur cognitif (déficit des fonctions exécutives) à l'origine du trouble comportemental. La seconde hypothèse est que l'échec scolaire engendre une hyperactivité, qu'il s'agisse d'un vrai syndrome TDAH ou plutôt d'une phénocopie (Pennington et coll., 1993). La troisième hypothèse suggère une origine commune sous-tendant les deux troubles.

Cette dernière hypothèse semble être privilégiée dans l'étude du *Colorado Learning Disabilities Research Center* qui recherche l'étiologie de la dyslexie et des troubles comorbides dans un échantillon de 394 jumeaux (Willcutt et Pennington, 2000). L'existence d'une ou des deux troubles (TDAH et dyslexie) est explorée à partir de questionnaires rétrospectifs (sur l'existence d'un TDAH ou d'une dyslexie dans l'enfance des parents et chez les enfants), de l'échelle du DSM-IV du TDAH, ainsi que d'une évaluation des compétences en lecture et orthographe (*Peabody Individual Achievement Test*) réalisée chez les enfants. Les auteurs trouvent que les enfants dyslexiques ont significativement plus de troubles d'allure psychiatrique que les non-dyslexiques. Parmi ces troubles, ils distinguent deux groupes : les troubles dits « externalisés » (agression, délinquance, trouble oppositionnel avec provocation, trouble des conduites) et les troubles « internalisés » (anxiété, dépression). Si les dyslexiques présentent plus fréquemment des troubles des deux types, une analyse par régression logistique montre que seuls ceux du deuxième groupe entretiennent un lien direct avec la dyslexie, lorsque le facteur hyperactivité est contrôlé. En d'autres termes, la fréquence plus élevée de troubles comportementaux de type externalisé chez les dyslexiques semble directement liée à la comorbidité entre dyslexie et hyperactivité. L'association entre anxiété et dépression, d'une part, et dyslexie d'autre part

est indépendante de l'hyperactivité, qu'il s'agisse d'une comorbidité ou de la conséquence d'un vécu négatif par l'enfant de ses difficultés d'apprentissage. En outre, fait remarquable, le lien entre dyslexie et troubles externalisés est spécifique du sexe masculin, alors que celui entre troubles internalisés et dyslexie est plus fort chez les dyslexiques de sexe féminin. Quant au facteur génétique, il apparaît dans cette étude qu'au sein d'une paire de jumeaux où seul l'un des enfants est dyslexique, la présence de troubles externalisés est commune aux deux jumeaux alors que les troubles internalisés sont spécifiques aux individus dyslexiques, suggérant ici encore un facteur génétique commun pour les troubles externalisés (incluant donc au premier chef l'hyperactivité) et non pour les troubles internalisés.

Des travaux récents en génétique moléculaire semblent confirmer cette hypothèse en montrant un lien entre l'association TDAH + dyslexie et certains sites sur le chromosome 14 (Gayan et coll., 2005) ou encore les chromosomes 16p et 17q (Loo et coll., 2004), de même qu'entre le polymorphisme d'un gène codant pour un récepteur adrénergique (ADRA2A) et l'association comorbide dyslexie-hyperactivité (Stevenson et coll., 2005). Citons enfin la possibilité d'intervention d'un phénomène dit de « *non-random mating* ». Telle que proposée initialement par Faraone et coll. (1993), cette hypothèse est basée sur l'observation que les épouses d'hommes souffrant de TDAH seraient plus souvent elles-mêmes dyslexiques, de sorte que, de par la transmission génétique indépendante des deux affections, leurs enfants auraient plus de risque d'être porteurs des deux troubles, une constatation qui n'a pas été confirmée dans une étude plus récente (Friedman et coll., 2003).

Finalement, cette tendance actuelle à considérer la comorbidité entre les deux affections comme essentiellement constitutionnelle ne doit pas occulter le fait que les troubles d'attention, symptôme cognitif majeur du tableau de TDAH, ont nécessairement une influence négative sur les apprentissages en général. Plusieurs études ont ainsi montré que les formes inattentives de TDAH sont les plus à même de retentir négativement sur les apprentissages et sur les performances scolaires (Aro et coll., 2005). Enfin, comme le font remarquer ces derniers auteurs, le trouble d'attention est source d'importantes frustrations et de possible démotivation dans les apprentissages en général, et les apprentissages fondamentaux (lecture, écriture, calcul) en particulier. Le trouble de l'attention peut aussi être « défensif », élaboré par l'enfant dans une tentative désespérée de rehausser son estime de soi, devenant ainsi une composante plausible de ses difficultés et participant au « cercle vicieux » de l'échec scolaire. Pour éviter ces effets confondants lors des études scientifiques, la priorité semble devoir être donnée aux études longitudinales multidimensionnelles, les plus à même d'affirmer le sens de la causalité suspectée entre deux types de symptômes. Ici, comme dans beaucoup d'autres domaines en matière de troubles des apprentissages, il convient de garder à l'esprit le caractère complexe et multifactoriel des effets

observés en clinique, même si les observations des chercheurs semblent relativement univoques.

En résumé, la comorbidité entre trouble déficit de l'attention/hyperactivité et troubles des apprentissages est une réalité. Même s'il n'est pas possible d'affirmer le lien de causalité, la part des facteurs génétiques ou des conséquences psychopathologiques à l'origine de cette association, il est une fois de plus indispensable d'évaluer chez les enfants porteurs d'un trouble des apprentissages les compétences attentionnelles et le degré d'hyperactivité, ainsi que les autres symptômes psychopathologiques associés, afin d'en déduire les conséquences thérapeutiques.

Troubles des apprentissages et psychanalyse

Plusieurs équipes ont largement décrit leur expérience de pédopsychiatre ou psychologue de formation ou d'orientation psychanalytique avec les enfants porteurs de troubles des apprentissages. Dès les années 1950, à la suite de l'émergence de la littérature anglo-saxonne et scandinave sur la dyslexie, les équipes d'Ajuriaguerra, Diatkine, en lien avec Borel-Maisonny se sont intéressées aux troubles du langage. Diatkine, dans son chapitre sur les troubles de la parole et du langage du « Nouveau Traité de Psychiatrie de l'Enfant et de l'Adolescent » (1985), décrit les troubles d'acquisitions de lecture des enfants dysphasiques ainsi que le concept de dyslexie-dysorthographie. Plus récemment, Birraux (2001), Berger (2003), Flagey (1996) reprennent, comme Diatkine, les critères actuels de définition des troubles spécifiques des apprentissages, ainsi que la nécessité d'un repérage précoce de ces troubles et d'une évaluation rigoureuse des compétences cognitives de l'enfant. La diversité des présentations cliniques des déficits instrumentaux présentés par les enfants est reconnue dans cette littérature (Flagey, 1996 ; Berger, 2003) : troubles du schéma corporel, des repères temporels, spatiaux, des discriminations perceptives (auditives, visuelles…), troubles du langage oral et écrit, des acquisitions en mathématiques, ainsi que leur point commun de s'inscrire tous dans des compétences intellectuelles globalement préservées. Il est également important de considérer comment ces déficits préexistants s'inscrivent dans le fonctionnement psychique de l'enfant. Les développements cognitif et affectif se trouvent, en effet, très tôt entremêlés.

Sollicités par les rééducateurs et les pédagogues, particulièrement lorsque l'évolution n'était pas optimale, les psychiatres et psychanalystes se sont intéressés à l'environnement et surtout au fonctionnement psychique dans lequel survenaient les difficultés d'apprentissage de l'enfant afin de mieux cerner les approches thérapeutiques à proposer. Berger (2003) décrit des tableaux cliniques très divers, à première vue disparates, dans lesquels s'inscrivent les difficultés d'apprentissage. Certaines difficultés d'apprentissage

peuvent être associées à un trouble envahissant du développement tel que défini par le DSM-IV, ou à une dysharmonie évolutive telle que décrite dans la Classification française des troubles mentaux de l'enfant et l'adolescent (Mises et coll., 2000), cette pathologie primitive mentale excluant donc le diagnostic de troubles spécifiques des apprentissages (donc de dyslexie). Pour d'autres enfants, les difficultés d'apprentissages peuvent s'inscrire dans des interactions précoces difficiles, ou dans une insuffisance de stimulation environnementale. Mais tous les auteurs s'accordent à dire que les dyslexies, comme les dyspraxies, peuvent survenir dans des familles « suffisamment bonnes » pour reprendre les termes de Winnicott (Diatkine, 1999 ; Mises, 2001 ; Flagey, 2002). Ces troubles spécifiques d'origine neurodéveloppementale peuvent alors entraîner de façon secondaire une souffrance liée à la situation d'échec. La grande diversité de ces situations est à rapprocher de façon générale de celle d'un handicap qui peut contraindre enfant et parents à une organisation psychique particulière (Lapalus-Netter, 1987).

Lorsque l'enfant et sa famille sont en souffrance, et/ou lorsque la rééducation appropriée ne donne pas les résultats escomptés, l'analyse du développement psychique de l'enfant et de ses interactions avec son environnement, utilisant les modèles psychanalytiques, peut s'articuler avec les données cognitives. Dans une étude comparant les résultats du test projectif de Rorschach chez 40 enfants non-lecteurs (Joubert et coll., 1994), à ceux d'un groupe témoin d'enfants tout-venant de 9 à 11 ans (Beizman, 1982), les auteurs concluent que l'impossibilité de lire ne s'appuie pas sur une organisation de personnalité univoque mais sur une grande diversité individuelle. Claudon et De Tychey (1998), comparant les résultats des données projectives de 18 enfants dyslexiques, en échec de rééducation orthophonique, à leurs homologues non dyslexiques décrivent des problèmes de résolution de l'Œdipe. Pour certains auteurs, les troubles des apprentissages peuvent s'associer à un trouble du registre narcissique (Flagey, 1996). Pour d'autres, les difficultés en lecture associées à des difficultés en mathématiques, sans déficience intellectuelle, peuvent évoquer un tableau d'inhibition psychique (Helman, 1954 ; Flagey, 1977), que les auteurs replacent dans le développement de la pensée et de l'intelligence et dans les conflits inconscients (Freud, 1926). La difficulté d'accéder au code alphabétique serait parfois à éclairer par l'histoire personnelle et familiale (Bergès, 2003 ; Rose, 2003).

L'objet même de la psychanalyse de l'enfant est l'étude du contexte psychoaffectif dans lequel se situe son développement. Certains psychanalystes insistent néanmoins sur la nécessité de connaître, reconnaître, et prendre en compte également les aspects cognitifs. Birraux (2001), dans son chapitre sur les troubles des fonctions cognitives du traité de psychopathologie de l'enfant, écrit : « La réalité des facteurs instrumentaux et cognitifs qui participent aussi au bon développement de l'enfant… est trop souvent négligée dans la clinique psychanalytique. » Quelle que soit la conception retenue du développement du langage, Diatkine, comme Berger et Flagey insistent sur

le rôle fondamental d'une rééducation appropriée et Diatkine rend hommage à l'expérience de Borel-Maisonny. On peut s'étonner avec Flagey (1996) « de la difficulté qu'ont beaucoup de professionnels de la santé mentale à prendre en compte la complexité de ces cas qui nous invite à articuler des points de vue différents : les facteurs biologiques, le fonctionnement cognitif, la structuration du psychisme et l'organisation fantasmatique, les systèmes familiaux et sociaux… Ces enfants au carrefour de toutes nos théories, nous lancent un défi passionnant, et nous invitent à mieux comprendre, en nous aussi, les rapports de la vie affective et de la connaissance ». L'approche psychanalytique vient donc apporter un éclairage complémentaire.

En conclusion, même si ceci semble paradoxal avec le caractère spécifique des troubles des apprentissages, la littérature comme la réalité clinique nous montrent que les enfants en souffrant ont aussi fréquemment des troubles comportementaux ou émotionnels. Il peut s'agir de troubles externalisés, dont le plus fréquemment étudié est l'hyperactivité et le déficit d'attention. Il peut s'agir aussi de troubles internalisés, moins visibles, qu'il convient de rechercher. Nous ne sommes pas aujourd'hui en mesure de définir précisément la relation de causalité. Néanmoins, la possibilité de cette association doit être reconnue pour une prise en compte des deux types de troubles sans exclusion. Les approches abordant différemment le développement de l'enfant, l'un cognitif basé sur les neurosciences, l'autre psychique basé sur les modèles psychanalytiques, sont loin d'être incompatibles. Elles peuvent même, à condition que l'une n'exclue pas l'autre, permettre une prise en charge de l'enfant dans sa globalité et sa diversité tant au plan cognitif, qu'au plan de sa relation à son environnement.

BIBLIOGRAPHIE

AJURRIAGUERRA J DE. À propos des troubles de l'apprentissage de la lecture ; critiques méthodologiques. *Enfance* 1951, **4** : 389-399

AJURRIAGUERRA J DE, BOREL-MAIZONNY S, DIATKINE R, STAMBAK M. Le groupe des audimutités. Psychiatr. *Enfant* 1958, **1** : 7-61

AMERICAN ACADEMY OF CHILD AND ADOLESCENT PSYCHIATRY (AACAP). Practice parameters for the assessment and treatment of children and adolescents with language and learning disorders. *J Am Child Adolesc Psychiatry* 1998, **37** : 10

ARO T, SEMRUD-CLIKEMAN M, LAPVETELÄINEN AM, LYYTINEN H. Developmental underpinnings of the association of attention deficit hyperactivity disorder and its subtypes to neuropsychological and academic weaknesses. *In* : Attention Deficit Hyperactivity Disorder: from genes to patients. GOZAL D, MOLFESE D (eds). Humana Press, Totowa, NJ, 2005

BEITCHMAN J, BROWNLIE E, INGLIS A, FERGUSON B, SCHACHTER D. Seven-year follow up of speech/Language impaired and control children: psychiatric outcome. *J Child Psychol Psychiatry* 1996, **37** : 961-970

BEIZMAN C. Le Rorschach de l'enfant à l'adulte, étude génétique et clinique. Neuchatel-Paris, Delachaux et Niestlé, 1982

BERGER M, FERRANT A. Le travail psychanalytique dans la prise en charge des troubles spécifiques des apprentissages. *Neuropsychiatrie de l'enfance et de l'adolescence* 2003, **51** : 212-222

BERGES J, BERGÈS-BOUNES M, CLAMETTES-JEAN S. Ce que nous apprenne les enfants qui n'apprennent pas. Édition Erès, Paris, 2003

BIEDERMAN J, NEWCORN J, SPRICH SE. Comorbidity of attention disorders. *Am J Psychiatry* 1991, **148** : 564-577

BILLARD C, DUCOT B, PINTON F, COSTE-ZEITOUN D, PICARD S, WARSZAWSKI J. Validation de la BREV, Batterie clinique d'évaluation des fonctions cognitives, en comparaison à une batterie de référence, dans les troubles des apprentissages. *Arch Fr Ped* 2006, **13** : 23-31

BIRRAUX A. Les troubles des fonctions cognitives *In* : Psychopathologie de l'enfant. Edition Impress, Paris, 2001

CANTWELL DP, BAKER L. Association between attention deficit-hyperactivity disorder and learning disorders. *J Learn Disabil* 1991, **24** : 88-95

DIATKINE R. Conditions psychologiques nécessaires à l'apprentissage de la lecture. *In* : La Dyslexie en question. Difficultés et échec d'apprentissage de la langue écrite. STAMBAK M, VIAL M, DIATKINE R, PLAISANCE E (eds). Arnaud Colin 1972 : 37-47

DIATKINE R. Les troubles de parole et de langage. *In* : Nouveau Traité de Psychiatrie de l'Enfant et de l'Adolescent. LEBOVICI S, DIATKINE R, SOULÉ M (eds). Les troubles de la parole et du langage. Quadrige PUF, Paris, 1999 (1ère édition 1985) : 1599-1640

FALIK LH. Family patterns of reaction to a child with a learning disability: a mediational perspective. *J Learn Disabil* 1995, **28** : 335-341

FARAONE SV, BIEDERMAN J, LEHMAN BK, KEENAN K, NORMAN D, et coll. Evidence for the independent familial transmission of attention deficit hyperactivity disorder and learning disabilities: results from a family genetic study. *Am J Psychiatry* 1993, **150** : 891-895

FLAGEY D. L'évolution du concept de troubles instrumentaux. *Psychiatrie de l'enfant* 1977, **20** : 471-492

FLAGEY D. Les enfants à troubles instrumentaux : des sujets pour toutes les théories. *Dialogue-Recherches cliniques et sociologiques sur le couple et la famille* 1996, **131** : 29-37

FLAGEY D. Mal à penser, mal à être. Troubles instrumentaux et pathologie narcissique. Paris : Gallimard, 2002

FREUD S. Inhibition, symptôme et angoisse 1926 (trad. Tort) Presses universitaires de France, Paris, 1965

FRIEDMAN MC, CHHABILDAS N, BUDHIRAJA N, WILLCUTT EG, PENNINGTON BF. Etiology of the comorbidity between RD and ADHD: Exploration of the non-random mating hypothesis. *American journal of Medical Genetics Part B* 2003, **120B** : 109-115

GAYAN J, WILLCUTT EG, FISHER SE, FRANCKS C, CARDON LR, et coll. Bivariate linkage scan for reading disability and attention-deficit/hyperactivity disorder localizes pleiotropic loci. *J Child Psychol Psychiatry* 2005, **46** : 1045-1056

HEIERVANG E, STEVENSON J, LUND A, HUGDAHL K. Behaviour problems in children with dyslexia. *Nord J Psychiatry* 2001, **55** : 251-256

HELMAN I. Observations on mothers of children with intellectual inhibition. *Psychoanalytic Study of the Child* 1954, **IX** : 259-273

HINSHAW SP. Externalizing behavior problems and academic underachievment in childhood and adolescence: causal relationships and underlying mechanisms. *Psychol Bull* 1992, **111** : 127-155

JOUBERT B, PECQUET F. Les non-lecteurs à l'épreuve du Rorschach. *In* : Les enfants hors du lire. PRÉNERON C, MELJAC C, NETCHINE PAÏDOS S (eds). Recherche Bayard éditions, Editions Inserm/Ctnerhi, Paris, 1994 : 315-343

LAPALUS-NETTER G. Le travail psychothérapique avec les parents d'enfants handicapés. *Revue Internationale de Pédiatrie* 1987, **170** : 5-10

LOO SK, FISHER SE, FRANCKS C, OGDIE MN, MACPHIE IL, et coll. Genome-wide scan of reading ability in affected sibling pairs with attention-deficit/hyperactivity disorder: Unique and shared genetic effects. *Mol Psychiatry* 2004, **9** : 485-493

MAUGHAN B, ROVE R, LOEBER R, STOUTHAMER-LOEBER M. Reading problems and depressed mood. *Journal of abnormal child psychology* 2003, **31** : 219-229

MISES R, QUEMADA N, BOTBOL M, BURSZTEJN CL, DURAND B, et coll. Nouvelle édition de la Classification française des troubles mentaux de l'enfant et de l'adolescent. CFTMEA R-2000

MISES R. L'exclusion de la psychopathologie. À leur tour les enfants dyslexiques. *La Lettre de Psychiatrie Française* 2001, **109** : 1-2

PENNINGTON BF, GILGER JW, OLSON RK ET DEFRIES JC. The external validity of age-discrepancy versus IQ-discrepancy definitions of reading disability-Lessons from a twin study. *Journal of Learning Disabilities* 1992, **25** : 562-573

PENNINGTON BF, GROISSER D, WELSH MC. Contrasting cognitive deficits in ADHD versus reading disability. *Dev Psychol* 1993, **29** : 511-523

PRIOR M, SMART D, SANSON A, OBERKLAID F. Relationships between learning difficulties and psychological problems in preadolescent children from a longitudinal sample. *J Am Child Adolesc Psychiatry* 1999, **38** : 429-436

RAUSCH DE TRAUNENBERG N, BOIZOU MF. Le Rorschach en clinique infantile, l'imaginaire et le réel chez l'enfant. Bordas, Paris, 1984

ROSE C. Lecture, croyances, doute et fragilité. Le « dilemme existentiel » des enfants non lecteurs. *In* : Les enfants hors du lire. PRÉNERON C, MELJAC C, NETCHINE PAÏDOS S

(eds). Recherche Bayard éditions, Editions Inserm/CTNERHI, Paris, 1994 : 177-190

SEMRUD-CLIKEMAN M, BIEDERMAN J, SPRICH-BUCKMINSTER S, LEHAMAN BK, FARAONE SV, NORMAN D. Comorbidity between ADDH and learning disability: a review and report in a clinically referred sample. *J Am Acad of Child Psychol Psychiatry* 1992, **31** : 439-448

SHALEV RS, AUERBACH J, GROSS-TSUR V. Developmental dyscalculia, behavioral and attentional aspects: a research note. *J Child Psychiat* 1995, **36** : 1261-1268

STANDFORD LD, HYND GW. Congruence of behavioral symptomatology in children with ADD/H, ADD/WO, and learning disabilities. *J Learn Disabil* 1994, **27** : 243-253

STEVENSON J, LANGLEY K, PAY H, PAYTON A, WORTHINGTON J, et coll. Attention deficit hyperactivity disorder with reading disabilities: preliminary genetic findings on the involvement of the ADRA2A gene. *J Child Psychol Psychiatry* 2005, **46** : 1081-1088

TOUZIN M, MOUREN-SIMEONI MC. Les troubles des apprentissages des enfants hyperactifs. *Ann Psychiatr* 2000, **15** : 176-183

WILLCUTT EG, PENNINGTON BF. Comorbidity of Reading disability and Attention-Deficit/hyperactivity disorder: Differences by gender and subtype. *J Learn Disabil* 2000, **33** : 179-191

III

Théories explicatives de la dyslexie

Introduction : Des premières approches de la dyslexie aux hypothèses actuelles[32]

Trente ans à peine après la publication fondatrice de Paul Broca (1865), localisant le siège du langage articulé (ou langage oral) dans le tiers postérieur de la troisième circonvolution frontale gauche, deux autres écrits majeurs, et tout aussi fondateurs, révèlent l'existence de deux autres tableaux cliniques affectant spécifiquement la gestion du langage écrit :

- le premier émane de Déjerine (1892) et établit les caractéristiques de patients présentant, après accident vasculaire cérébral survenu à l'âge adulte, une atteinte sélective de la lecture en l'absence de troubles de l'écriture (cécité verbale pure, encore dénommée alexie pure ou alexie sans agraphie) ;
- le second, œuvre de Pringle Morgan (1896), décrit un jeune adolescent de 14 ans, Percy, scolarisé depuis l'âge de 7 ans, intelligent mais dont la lecture-écriture était massivement perturbée. Ce cas est classiquement considéré comme le premier exemple de ce qui fut ultérieurement appelé « dyslexie ».

La confrontation des deux types de pathologies était dès lors lancée, une confrontation d'autant plus indispensable que, en dépit de symptômes superficiels identiques, ceux-ci intervenaient clairement dans deux contextes différents : chez des adultes ayant maîtrisé le langage oral et écrit pendant des décennies avant la survenue de l'accident vasculaire cérébral, dans le premier cas ; chez des enfants en cours d'apprentissage de la lecture, dans le second.

Dans ce qui suit, nous focaliserons d'abord notre attention sur l'évolution des conceptions en matière de caractérisation des troubles acquis de la lecture/écriture, dans le contexte de ce que la terminologie neurolinguistique a nommé *ab origine* « cécité verbale » ou « alexie ». Ensuite, nous retracerons un bref historique des études sur la dyslexie du développement et édifierons quelques passerelles entre dyslexies acquises et développementales.

32. Texte écrit en collaboration avec JL Nespoulous, Institut des sciences du cerveau de Toulouse

Approche neuropsycholinguistique des troubles du langage écrit : la quête de dissociations

Avant d'entamer l'historique de l'étude des troubles acquis du langage écrit, il convient de bien cerner l'objectif poursuivi par les pionniers de la neuropsychologie du langage, objectif qui demeure d'actualité, pour l'essentiel, à l'aube du 21e siècle. Un tel objectif consiste à établir, autant que faire se peut, des corrélations entre tel ou tel symptôme linguistique et le site cérébral dont la lésion est à l'origine de leur engendrement. Il s'agit de la « méthode anatomo-clinique », chère à Déjerine. Une telle démarche repose sur un postulat, souvent implicite, selon lequel le comportement humain – ici le langage – serait décomposable en divers sous-systèmes susceptibles de faire l'objet d'atteintes spécifiques, d'où l'importance – aux plans à la fois théorique et méthodologique – de la mise à jour de « dissociations » tendant à étayer l'existence de telles sous-composantes « modulaires » (Fodor, 1983).

Ainsi, concernant le statut du langage écrit dans l'ensemble des capacités cognitivo-linguistiques humaines, au moins trois questions fondamentales ont été posées dès l'aube de la neuropsycholinguistique :

- une perturbation du langage écrit peut-elle survenir en l'absence de troubles parallèles du langage oral ? C'est le problème de l'éventuelle indépendance de l'écrit, acquis secondairement, par rapport à l'oral, intégré dès le berceau !
- dans le contexte du langage écrit, une perturbation de la lecture peut-elle être observée indépendamment d'un trouble de l'écriture ? C'est poser la question, également pertinente pour l'oral, de l'éventuelle indépendance et autonomie de la production par rapport à la perception ;
- dans quelle mesure les perturbations du langage écrit affectent-elles (ou non) parallèlement d'autres capacités cognitives non linguistiques (et, vice-versa) ? C'est poser la question de la spécificité des processus qui sous-tendent le fonctionnement langagier par rapport à ceux qui président à la production (ou praxies) ou à la perception/compréhension (ou gnosies) d'items non linguistiques.

L'historique des troubles acquis traduit bien ces interrogations, qui sont également pertinentes dans le contexte des troubles développementaux du langage écrit.

Dysfonctionnements « acquis » du langage écrit[33]

Dans le contexte de l'approche associationniste du langage et de la cognition humaine, en vogue à la fin du 19e siècle au moment où Broca jette les bases de l'aphasiologie, c'est sans conteste à Kussmaul (1884) que revient le

33. Pour la plupart des travaux cités, voir la synthèse de Zesiger et Partz (1994) et Nespoulous (1994)

privilège d'identifier une pathologie spécifique de la lecture, consécutive à la survenue d'une lésion cérébrale : la cécité verbale ou impossibilité de percevoir (reconnaître) les lettres et les mots[34]. Constatant que les patients atteints de cécité verbale ne présentent aucun déficit visuel et qu'ils demeurent capables de parler, de comprendre le langage oral et, surtout, d'écrire, Kussmaul en conclut que « ces faits ne méritent pas d'être désignés sous le nom d'aphasie ». Comme le démontrera Westphal (1907), ces patients demeurent aptes à reconnaître les lettres en suivant leur contour du doigt.

Lichteim (1884), reprenant les travaux de Kussmaul, propose successivement deux schémas associationnistes du fonctionnement langagier et de ses composantes. Dans sa seconde et dernière version, il rajoute une huitième forme d'aphasie aux sept qu'il a décrites dans la première version. Cette huitième forme correspond précisément à la cécité verbale de Kussmaul, laquelle repose sur la préservation de l'ensemble des fonctions linguistiques, à l'exception de la lecture silencieuse et à haute voix !

En France, c'est à Charcot que revient le mérite d'introduire l'associationnisme dans l'interprétation de l'aphasie. Selon Ombredane (1951), la modélisation de Charcot « comportait le grave inconvénient de légitimer l'existence d'une multitude de formes dissociables qui ne s'étaient jamais rencontrées à l'état dissocié ». Suivant en cela Freud, et réagissant à l'émiettement des composantes sous-tendant le fonctionnement du langage chez l'être humain, Déjerine et ses disciples (Miraillé, Vialet, Thomas, Roux, Bernheim…) tendent à simplifier la taxonomie des aphasies, s'appuyant sur les « indications de la clinique et de l'anatomie pathologique » (Ombredane, 1951). Cela le conduit toutefois à identifier un « centre des images visuelles verbales » dont le siège serait le pli courbe, lequel serait en liaison avec « le centre de la vision générale du côté correspondant ».

L'apport majeur de Déjerine intervient en 1892, lorsqu'il examine anatomiquement un cas dont l'observation clinique, publiée en 1888 par Landolt à Utrecht, décrivait deux stades distincts, tous deux intéressants dans le contexte de la présente réflexion. « Pendant le premier stade qui a duré quatre ans, le malade présenta le tableau clinique le plus pur qu'on puisse imaginer… de la cécité verbale pure sans altération aucune de l'écriture spontanée ou sous dictée. Pendant le deuxième stade qui n'a duré qu'une quinzaine de jours, une agraphie complète avec paraphasie est venue compliquer la cécité verbale » (Ombredane, 1951). Deux tableaux cliniques distincts sont ainsi identifiés, correspondant chez ce patient à deux stades évolutifs de la maladie : cécité verbale pure en phase initiale (ou « alexie sans agraphie »), suivie ultérieurement par une alexie avec agraphie. Dans les termes

34. Parallèlement, Kussmaul identifie la « surdité verbale », équivalent, dans la modalité auditive, de la pathologie dont il est ici question, dans la modalité visuelle, en matière de traitement du langage écrit.

d'Ombredane, « à ces deux stades cliniques répondaient, ainsi que l'autopsie le montra, deux lésions anatomiques distinctes de l'hémisphère gauche : l'une, ancienne, occupait les zones du cortex visuel primaire (une partie du lobe occipital, incluant en particulier le gyrus fusiforme) ; l'autre lésion, de date récente, occupait les zones du cortex associatif (le pli courbe et le lobule pariétal inférieur), c'est-à-dire la région que nous sommes habitués à voir lésée dans le cas de cécité verbale avec trouble de l'écriture (l'alexie avec agraphie). »

En réaction à la fragmentation des tableaux cliniques (cf. *supra*) et de leurs caractéristiques, Pierre Marie, « l'iconoclaste » anti-associationniste, en vint à prétendre que l'aphasie était « une ». À propos de la cécité verbale, il en admet l'existence mais il en fait un « syndrome extrinsèque d'agnosie visuelle » (Ombredane, 1944[35]). L'« alexie pure », dans une terminologie différente, dépend d'une lésion du lobule lingual et du lobule fusiforme, comme l'avait envisagé Déjerine. Elle résulte de la conjonction d'une lésion des voies visuelles avec celle de réseaux neuronaux constituant le cœur de la « zone du langage ». Une fois mise de côté l'alexie pure qui n'est pas une aphasie mais une « agnosie spécialisée », dans les termes de Pierre Marie, il convient de se pencher à présent sur les perturbations de la lecture d'origine centrale, lesquelles sont, le plus souvent accompagnées d'une agraphie (d'où leur appellation habituelle, « alexie-agraphie ») et ont été classiquement associées à une lésion du pli courbe gauche.

Hécaen (1972), de même que Lecours et Lhermitte (1979), considèrent l'existence de plusieurs types de troubles de la lecture et proposent une taxonomie qui, pour l'essentiel, demeure « descriptive » en cela qu'elle repose sur la nature des unités linguistiques préférentiellement perturbées. Sont ainsi différenciés les tableaux cliniques suivants :

- l'alexie littérale, venant perturber la lecture des lettres, présentées une à une ;
- l'alexie verbale, affectant la lecture des mots et leur compréhension ;
- l'alexie textuelle, se manifestant par la production de nombreuses « paralexies » ou substitutions lexicales reposant sur une forte « similarité formelle entre segment remplaçant et segment remplacé » (Lecours et Lhermitte, 1979) et qui n'est clairement objectivable que lorsque les deux types précédents d'alexie sont, au moins partiellement, amendés et/ou compensés.

À peu près à la même époque, sous l'impulsion de Marshall et de Newcombe, une nouvelle approche des troubles acquis de la lecture est proposée, plus fonctionnelle que structurale cette fois, issue de l'entrée en interaction de la psychologie cognitive et de la neuropsychologie. Celle-ci sera

35. Dans cet ouvrage, Ombredane décrit le cas de Paulo, patient présentant une alexie pure sans agraphie.

concrétisée et amplifiée par la modélisation de la lecture avancée par Morton dès 1979 et connaîtra divers raffinements ultérieurs. Une nouvelle taxonomie des alexies, dénommées plutôt « dyslexies acquises » à partir de cette époque, est alors proposée, laquelle reste d'actualité en ce début de 21e siècle.

Dysfonctionnements « développementaux » du langage écrit

Le premier cas de dyslexie du développement a été publié en 1896 par Pringle Morgan, à la même époque que le premier cas de dyslexie acquise. D'autres cas de dyslexie du développement ont été rapportés par Hinshelwood à la fin du 19e siècle.

Autour de la première moitié du 20e siècle, les études sur la dyslexie du développement se sont développées essentiellement aux États-Unis et, en Europe, quasi-uniquement dans les pays Scandinaves, particulièrement au Danemark[36] où a été créé à la fin des années 1930 le premier centre de diagnostic et d'enseignement pour dyslexiques. Un des plus influents chercheurs de cette période est Orton, qui a exploité l'idée encore très populaire, à savoir que les dyslexiques font des confusions entre des lettres proches visuellement.

Comme pour la dyslexie acquise, le renouveau des études sur la dyslexie du développement est dû à l'émergence, autour des années 1970, de disciplines nouvelles, telles que la psychologie cognitive et les neurosciences. Le laboratoire Haskins aux États-Unis a joué un rôle pionnier par des travaux de psychologie cognitive, en particulier ceux d'Isabelle et Alvin Liberman montrant que les compétences phonologiques sont des déterminants majeurs de l'apprentissage de la lecture et de la dyslexie. Les premiers travaux de neurosciences sont également dus à une équipe américaine, celle de Geschwind et de Galaburda, qui ont mis en évidence le fait que le cerveau des dyslexiques présenterait des anomalies spécifiques, localisées dans les zones périsylviennes de l'hémisphère gauche. Or, ces sites sont justement ceux qui sont atteints dans la plupart des cas de dyslexie acquise.

De même, les tableaux cliniques de dyslexie développementale sont souvent proches de ceux observés dans la dyslexie acquise. Enfin, et ceci explique peut-être cela, les méthodologies utilisées dans le cadre des études sur la dyslexie du développement sont largement issues des travaux sur la dyslexie acquise. En dépit de cette communauté de méthodes et de résultats, peu de chercheurs ont

36. Ce qui peut éventuellement s'expliquer par le fait que le danois, comme l'anglais, a une écriture peu transparente, qui ne facilite pas l'apprentissage de la lecture (cf. Seymour et coll., 2003, pour une comparaison des résultats obtenus en lecture, au début de cet apprentissage, par des enfants de différents pays européens, incluant des Anglais, des Danois, des Français…).

travaillé à la fois sur ces deux types de pathologie. Morton fait partie de ces exceptions. Il a en particulier développé un modèle causal des troubles du développement, incluant la dyslexie (Morton et Frith, 1995 ; Morton, 2004). Ce modèle tient compte des niveaux neurobiologiques, cognitifs et comportementaux ainsi que des facteurs environnementaux susceptibles d'interagir avec ces différents niveaux, en particulier, l'environnement linguistique des sujets et les pédagogies, au sens large, dont ils ont pu bénéficier.

Jusqu'à une période récente, la France a été totalement absente sur la scène de la recherche internationale dans le domaine de la dyslexie du développement, alors que les chercheurs français ont été omniprésents, et à l'origine des travaux pionniers sur la dyslexie acquise. En France, des débats idéologiques ont pendant longtemps opposé les tenants d'un courant qui se situe dans le sillage de la tradition française de neuropsycholinguistique (qui ont fortement contribué, dans un premier temps, à la diffusion des recherches internationales dans le domaine), à ceux qui supposent que la dyslexie provient d'un trouble de la personnalité, voire qu'elle n'existe pas[37].

En conclusion, la communauté de résultats relevés tant au niveau comportemental que neurologique ne conduit pas nécessairement, bien entendu, à conclure à l'identité entre dyslexie acquise et dyslexie développementale, pas plus qu'à l'identité de leurs déterminismes sous-jacents. La question centrale posée est de taille : jusqu'à quel point des similitudes de symptômes conduisent-elles à une interprétation identique du déterminisme sous-jacent des deux pathologies (acquises *versus* développementales) observées chez des sujets dont les premiers font face à une « désintégration » du langage alors que les seconds sont en pleine phase d'« intégration » (ou d'acquisition) de cette même faculté ? À cette question, s'en ajoute une autre, d'un grand intérêt théorique : même s'il s'avérait que les déterminismes sous-jacents de ces deux grands types de dysfonctionnements du langage écrit étaient différents, jusqu'à quel point des modélisations neuropsycholinguistiques identiques peuvent-elles servir de cadre de référence unique en matière d'architecture fonctionnelle du langage (ici écrit) humain ? Ces questions, entres autres, sont au cœur de cette partie de l'expertise.

Bibliographie

FODOR JA. The modularity of mind. MIT Press, Cambridge, Mass, 1983

HÉCAEN H. Introduction à la neuropsychologie. Larousse, Paris, 1972

37. Voir les actes du colloque du Ministère de l'éducation de 1979 (Apprentissage et pratique de la lecture à l'école : Publication du CNDP, Mémoires et Documents scolaires, Brochure 2051)

LECOURS R, LHERMITTE F. L'aphasie. Paris, Flammarion, 1979

MORTON J. Word recognition. *In* : Psycholingistics (Series 2). MORTON J, MARSHALL JC (eds). Elek, London, 1979

MORTON J, FRITH U. Causal modeling: A structural approach to developmental psychopathology. *In* : Developmental psychopathology (Vol. 1). CICCHETTI D, COHEN DJ (eds). Theory and Methods, Wiley, New York, 1995

MORTON J. Understanding Developmental Disorders: A Causal Modelling Approach. Blacwell, London, 2004

NESPOULOUS JL. Introduction (Chapitre 10). *In* : Neuropsychologie Humaine. SÉRON X, JEANNEROT M (eds). Mardaga, Bruxelles/Liège, 1994

OMBREDANE A. Études de psychologie médicale. 3 vol. Atlantica Editora, 1944

OMBREDANE A. L'aphasie et l'élaboration de la pensée explicite. Presses Universitaires de France, Paris, 1951

SEYMOUR PHK, ARO M, ERSKINE JM. Foundation literacy acquisition in European orthographies. *British Journal of Psychology* 2003, **94** : 143-174

ZESIGER P, DE PARTZ MP. Perturbations du langage écrit: les dyslexies et les dysgraphies. *In* : Neuropsychologie Humaine. SÉRON X, JEANNEROT M (eds). Mardaga, Bruxelles/Liège, vol. 10, 1994 : 419-437

14
Théorie phonologique

Le fondement de la théorie phonologique est que la lecture est une activité langagière. Cette théorie part également du constat que la langue écrite, qui s'est mise en place après la langue orale dans la phylogenèse (le développement de l'espèce humaine) se met également en place après la langue orale dans l'ontogenèse (le développement de l'individu). De plus, quel que soit le système d'écriture, la langue écrite est, de façon intrinsèque, un système second par rapport à la langue orale : même si la perception de l'écrit dépend de la vision alors que celle de l'oral dépend de l'audition, le lecteur peut toujours avoir accès à la forme sonore des mots qu'il lit. Enfin, la théorie phonologique s'appuie sur la définition de la dyslexie, qui est un trouble spécifique d'apprentissage de la lecture ne résultant pas, entre autres, de déficiences sensori-motrices avérées. Ces différentes explications permettent de comprendre pourquoi l'activité de lecture implique surtout les réseaux neuronaux utilisés pour traiter le langage oral.

Dans ce chapitre, après la présentation des fondements de la théorie phonologique, sont exposés les principaux résultats qui ont permis de l'étayer, en tenant compte des explications alternatives quand cela est nécessaire. Enfin, une nouvelle interprétation de cette théorie est proposée, ainsi qu'un modèle qui permet d'intégrer les données comportementales et de neuroimagerie à l'appui de cette interprétation.

Fondements de la théorie phonologique

Toutes les écritures, y compris les écritures logographiques comme celle du chinois, transcrivent des unités de la langue orale. En conséquence, même si la perception de l'écrit ne dépend pas de la même modalité sensorielle que la perception de l'oral, le langage « pour l'œil » n'est pas indépendant, dans son principe, du langage « pour l'oreille ». Ce qui oppose les différents systèmes d'écriture, c'est la taille des unités orales transcrites et leur nature : unités qui ont un sens, comme les mots pour les écritures logographiques, ou qui n'ont pas de signification, comme les syllabes pour les écritures syllabiques ou les phonèmes pour les écritures alphabétiques. L'unité écrite de base de ce

dernier type d'écriture est l'élément graphique qui correspond au phonème, unité de base du système phonologique d'une langue particulière (le répertoire des phonèmes varie en effet selon les langues, le phonème étant la plus petite unité sonore permettant de distinguer deux mots dans une langue donnée). En théorie, cet élément devrait être la lettre. En fait, ce n'est pas toujours le cas, principalement parce que l'alphabet utilisé vient du grec, qui avait un système phonologique spécifique. Par exemple, on ne dispose que de 5-6 lettres pour les voyelles, ce qui permet de transcrire les 5 voyelles simples de l'espagnol, mais pas les quelques 10 à 16 voyelles du français ou de l'allemand. Il a donc fallu utiliser une combinaison de lettres, ou une lettre à laquelle s'ajoute une marque spécifique, pour transcrire, entre autres, certaines voyelles (en français, « é » et « ou » par opposition à « e » et « u » ou encore « an », « on », « un » et « in » par opposition aux voyelles orales correspondantes : « a », « o », « u » et « i »). Ces unités, qui codent les phonèmes, sont appelées « graphèmes ».

Comme signalé dans l'introduction, la place centrale de la phonologie dans l'explication de la réussite et de l'échec de l'apprentissage de la lecture est probablement due au fait que le langage écrit, dans l'histoire de l'humanité comme dans celle du petit d'homme, se met en place après le langage oral. Il n'est donc pas surprenant que l'enfant s'appuie d'abord sur ce qu'il connaît – son langage oral – pour apprendre à lire, ce d'autant plus que, dans une écriture alphabétique, le recours au décodage grapho-phonémique est peu coûteux pour la mémoire : il suffit en effet de mémoriser un nombre limité d'associations régulières entre graphèmes et phonèmes, plus quelques exceptions, pour lire. De nombreux enfants apprennent à lire en recourant à un tel système, y compris en chinois. Un pinyin qui utilise l'alphabet latin a en effet été introduit dans les années 1970 en Chine continentale pour faciliter l'apprentissage de la lecture pour tous. Ce système est maintenant obligatoire dans les écoles élémentaires, les caractères chinois étant introduits progressivement. Ce fait est révélateur des difficultés rencontrées quand l'enfant doit apprendre à lire dans une écriture logographique, qui a pour unité de base les mots de la langue orale. En effet, il lui faut alors mémoriser des milliers de formes orthographiques différentes avant de pouvoir lire un texte, ce qui demande plusieurs années. En revanche, cet apprentissage s'effectue en quelques mois dans une écriture alphabétique pour la plupart des enfants.

Quel que soit le système d'écriture, le mot est une unité de base de l'écrit. Cela peut expliquer pourquoi les compétences spécifiques à la lecture se situent au niveau des procédures d'identification des mots écrits. Le développement d'automatismes dans cette identification permet à l'enfant d'atteindre un niveau de compréhension écrite égal à celui de sa compréhension orale, en le dégageant du poids d'un décodage lent et laborieux. Dans une écriture alphabétique, cette identification peut être obtenue soit par le décodage, qui s'appuie sur les correspondances grapho-phonémiques, soit par la procédure

lexicale, qui s'appuie sur les mots. Toutefois, le décodage ne renvoie pas seulement à la lecture laborieuse du débutant : le lecteur expert peut en effet identifier en quelques centaines de millisecondes des mots qu'il ne connaît pas (les noms des rues, des stations de bus ou de métro…). D'autre part, la procédure lexicale n'est pas une procédure visuelle globale, ni une procédure purement visuelle. En effet, cette procédure qui ne s'appuie pas sur la silhouette des mots écrits (leur forme globale), permet à l'expert d'avoir accès, également en quelques centaines de millisecondes, à leur code visuel, mais aussi à leur code phonologique et sémantique.

Ce qui caractérise le dyslexique, c'est justement une sévère difficulté de mise en œuvre – et d'automatisation – du décodage. En effet, le dyslexique a des difficultés pour mettre en relation les graphèmes avec les phonèmes. Après avoir montré que ce déficit est fiable, ce qui signifie qu'il a été systématiquement relevé dans les études, et qu'il est aussi prévalent, ce qui signale qu'il se manifeste chez la plupart des dyslexiques, on examinera les explications proposées par la théorie phonologique, tout en tenant compte le plus possible des explications alternatives (pour une synthèse en français, Sprenger-Charolles et Colé, 2003).

Déficit de la procédure phonologique de lecture et dyslexie

La fiabilité entre études du déficit de la procédure phonologique de lecture ressort clairement des données présentées dans le chapitre sur les troubles spécifiques de l'acquisition de la lecture (voir dans le chapitre 9, la partie « Procédures d'identification des mots écrits dans la dyslexie : études de groupes »). En effet, ces études indiquent que les performances de groupes de dyslexiques sont particulièrement déficitaires en lecture de pseudo-mots, c'est-à-dire quand ils ne peuvent s'appuyer que sur les correspondances grapho-phonémiques pour lire, et donc sur leurs compétences phonologiques. Un déficit de cette procédure de lecture a été relevé de façon convergente dans pratiquement toutes les études examinées, y compris dans les comparaisons avec des enfants plus jeunes qu'eux, mais de même niveau de lecture (voir les revues de Rack et coll., 1992 et de Van Ijzendoorn et Bus, 1994). Ce n'est pas le cas pour le déficit de la procédure lexicale de lecture (voir la méta-analyse de Metsala et coll., 1998). En outre, le déficit de la procédure phonologique de lecture est plus notable quand les dyslexiques sont confrontés à une écriture peu transparente au niveau des relations grapho-phonémiques (par exemple, en anglais comparativement au français, à l'allemand, ou à l'italien : Lindgren et coll., 1985 ; Landerl et coll., 1997 ; Paulesu et coll., 2001). Enfin, dans les langues qui ont une orthographe transparente, ce déficit se note principalement par leur lenteur en lecture de pseudo-mots (en français : Casalis, 1995 ; Sprenger-Charolles et coll., 2000 ; Casalis, 2003 ; Grainger et coll., 2003 ; en allemand : Wimmer, 1993 ; Wimmer,

1995 ; Landerl et coll., 1997 ; Ziegler et coll., 2003 ; en espagnol : Jimenez-Gonzalez et Valle, 2000) et non par la précision de la réponse comme en anglais (Landerl et coll., 1997 ; Ziegler et coll., 2003). Ces résultats signalent que, lorsque l'orthographe est transparente par rapport à la langue orale, les dyslexiques arrivent à associer les graphèmes aux phonèmes correspondants, cette opération étant toutefois coûteuse en temps, ce qui témoigne du fait qu'il ne s'agit pas d'un automatisme chez eux, à la différence de ce qui est relevé chez les lecteurs experts. Ces données, qui indiquent la fiabilité entre études du déficit de la procédure phonologique de lecture des dyslexiques, ne permettent toutefois pas de se prononcer sur la proportion des individus qui, à l'intérieur d'un groupe de dyslexiques, souffrent d'un tel déficit.

Les études qui ont évalué la prévalence de ce type de déficit l'ont en général fait en partant des profils de dyslexie. Dans ce domaine, on distingue traditionnellement les dyslexiques phonologiques, qui souffrent d'un déficit spécifique de la voie phonologique, les dyslexiques de surface, qui ont des difficultés sélectives de mémorisation de la forme visuelle des mots (la voie lexicale), et les profils mixtes, qui ont un double déficit. Comme l'indiquent les études de cas multiples passées en revue dans le chapitre sur les troubles spécifiques de l'acquisition de la lecture (voir dans le chapitre 9, la partie «Procédures d'identification des mots écrits dans la dyslexie : études de séries de cas de dyslexiques », voir aussi Sprenger-Charolles et coll., sous presse), les habiletés phonologiques de lecture des dyslexiques phonologiques sont généralement plus faibles que celles d'enfants plus jeunes mais de même niveau de lecture ; ce n'est pas le cas pour les habiletés lexicales de lecture des dyslexiques de surface (en anglais : Castles et Coltheart, 1993 ; Manis et coll., 1996 ; Stanovich et coll., 1997 ; en français : Génard et coll., 1998 ; Sprenger-Charolles et coll., 2000). Ces résultats reproduisent ceux relevés dans les études de cas uniques (pour la dyslexie phonologique : Snowling et coll., 1986 ; Temple et Marshall, 1983, selon l'analyse de Bryant et Impey, 1986 ; Valdois et coll., 2003 ; pour la dyslexie de surface : Coltheart et coll., 1983, selon l'analyse de Bryant et Impey, 1986 ; Valdois et coll., 2003). Ils suggèrent que la trajectoire développementale des dyslexiques phonologiques est déviante, mais pas celle des dyslexiques de surface. Cependant, des déficits phonologiques ont très souvent été rapportés dans les études de cas uniques de dyslexie de surface (par exemple, Coltheart et coll., 1983, selon l'analyse de Bryant et Impey, 1986 ; Valdois et coll., 2003), comme dans la plupart des études de cas multiples (par exemple, Seymour, 1986 ; Sprenger-Charolles et coll., 2000 ; Jimenez-Gonzalez et Ramirez-Santana, 2002 ; Zabell et Everatt, 2002). Ces déficits ont été relevés principalement dans trois domaines : en lecture de pseudo-mots ainsi que dans des tâches d'analyse ou de mémoire phonologique et de dénomination rapide. Il est donc difficile de soutenir que les compétences phonologiques des dyslexiques de surface sont préservées. Enfin, la seule étude dans laquelle les performances des dyslexiques ayant un profil mixte (et donc un double déficit) ont été finement examinées (Stanovich et coll., 1997), sig-

nale que les capacités phonologiques de ces dyslexiques sont aussi fortement détériorées que celles des dyslexiques phonologiques.

Ces résultats suggèrent que le déficit de la procédure phonologique de lecture est robuste et prévalent. Ils indiquent aussi que la dyslexie correspondrait à une déviance développementale et non à un simple retard d'apprentissage.

Origine du déficit de la procédure phonologique de lecture

Selon la théorie phonologique classique, le fait que les dyslexiques rencontrent des difficultés sévères et spécifiques de mise en œuvre des correspondances grapho-phonémiques, s'explique principalement par des déficiences d'analyse phonémique et de mémoire à court terme phonologique, voire par des difficultés de précision et de rapidité d'accès au lexique oral. Ces explications vont être confrontées à deux autres : d'une part, celle qui attribue ces déficits à une déficience auditive sous-jacente ; d'autre part, celle qui les explique par un déficit subtil de perception des phonèmes.

Théorie phonologique « classique »

La théorie phonologique « classique » explique les difficultés sévères rencontrées par les dyslexiques en lecture de mots nouveaux par la faiblesse de leurs habilités phonologiques en dehors de la lecture, entre autres, en analyse phonémique et en mémoire à court terme phonologique. Des déficits dans ces domaines peuvent entraver la mise en place du décodage vu que, pour utiliser cette procédure, il faut d'abord mettre en correspondance les unités sublexicales de l'écrit, les graphèmes, avec les unités correspondantes de l'oral, les phonèmes. Il faut ensuite assembler les unités résultant du décodage pour accéder aux mots. La première opération nécessite des habiletés d'analyse phonémique, la seconde implique la mémoire phonologique à court terme. Un enfant incapable d'extraire les phonèmes et souffrant en plus d'un déficit mnésique va difficilement pouvoir utiliser le décodage (Liberman et coll., 1982 ; Mann et Liberman, 1984 ; McDougall et coll., 1994 ; Scarborough, 1998). Ce type de déficit proviendrait donc d'un déficit cognitif spécifique, de nature phonologique (Snowling, 2000).

Plus récemment, il a été mis en relief des déficits de précision, et surtout de rapidité, dans l'accès au lexique chez les dyslexiques (Bowers et Wolf, 1993 ; Wolf et Bowers, 1999 ; Wolf et coll., 2000 ; Wolf et coll., 2002). Partant de ce constat, certains auteurs assument qu'il y aurait deux sources indépendantes expliquant les déficits en lecture des dyslexiques, l'une reliée aux compétences d'analyse et de mémoire phonologique (généralement évaluées par la précision de la réponse), l'autre reliée à l'accès lexical, généralement

évaluée par le temps de réponse dans des tâches de dénomination rapide (*Rapid Automatic Naming*, ou RAN) impliquant des items très fréquents : images d'objet (une table, un ballon…), ou de couleur (rouge, bleu…), suites de nombres ou de lettres. Deux arguments expérimentaux ont été apportés à l'appui de cette hypothèse. D'une part, la réussite aux tâches de dénomination rapide permet d'expliquer une part unique de la variance en lecture, en plus de celle expliquée par les tâches d'analyse et de mémoire phonologique. D'autre part, les capacités d'analyse phonologique et de dénomination rapide ne sont pas reliées aux mêmes compétences de lecture, la première expliquant la précision de la réponse, la seconde le temps de traitement. Cette interprétation a été fortement critiquée (Wagner et coll., 1997 ; Schatschneider et coll., 2002 ; Vellutino et coll., 2004) dans la mesure où ces résultats peuvent s'expliquer aussi bien par le type de mesure utilisé (précision pour les tâches phonologiques, temps de traitement pour les autres), que par le type de tâche. De plus, la tâche de dénomination le plus souvent utilisée implique des lettres, et donc des capacités directement liées à la lecture. Il est actuellement largement admis que les tâches de dénomination d'image d'objet ou de couleur permettent d'évaluer certaines compétences phonologiques : la précision et la rapidité de l'accès au lexique. Ce type de compétence pourrait, quand l'enfant utilise essentiellement le décodage, lui permettre d'accéder rapidement et précisément au mot oral qui correspond à la chaîne de lettres qu'il a décodée, et donc faciliter la création de liens entre code orthographique et code phonologique des mots. Ce type de tâche a donc été intégré dans les batteries d'évaluation des compétences phonologiques.

Dans cette partie, sont surtout examinées les études dans lesquelles les évaluations ont porté en même temps sur les troubles phonologiques et non phonologiques des dyslexiques (déficits auditifs, visuels ou moteurs) ce qui permet de confronter les résultats des évaluations aux hypothèses explicatives de la dyslexie.

Consistance des déficits phonologiques hors lecture chez les dyslexiques

L'hypothèse phonologique s'appuie sur le fait que des déficits phonologiques ont été observés de façon consistante dans les études de groupe sur la dyslexie (Snowling, 2000). De plus, toutes les études qui ont examiné en même temps l'hypothèse phonologique et les hypothèses alternatives signalent que les dyslexiques souffrent d'un déficit phonologique, mais pas forcement d'un déficit auditif, visuel ou moteur (Wimmer et coll., 1998 ; Schulte-Körne et coll., 1998 et 1999 ; Wimmer et coll., 1999 ; Rosen et Manganari, 2001 ; Chiappe et coll., 2002 ; Kronbichler et coll., 2002 ; Share et coll., 2002 ; Ramus et coll., 2003a et b ; White et coll., sous presse). D'autres études indiquent que les dyslexiques ayant des troubles visuels ont également des déficits phonologiques (Borsting et coll., 1996 ; Cestnick et Coltheart, 1999 ; Slaghuis et Ryan, 1999).

Par exemple, dans une étude longitudinale, un groupe de 20 dyslexiques recrutés parmi une cohorte de plus de 500 enfants a été suivi depuis les toutes premières étapes de l'apprentissage de la lecture jusqu'à l'âge de 14 ans (Kronbichler et coll., 2002). À cette époque, ils ont passé une large batterie de tests phonologiques, ainsi que d'autres épreuves permettant d'évaluer leurs capacités visuelles et auditives. Les performances des dyslexiques, en tant que groupe, sont déficitaires uniquement dans différentes tâches phonologiques : répétition de pseudo-mots, analyse et mémoire phonologique.

Prévalence des déficits phonologiques hors lecture chez les dyslexiques

La prévalence des déficits a été examinée dans l'étude de Ramus et coll. (2003b) qui a porté sur des adultes dyslexiques recrutés à l'université. Leurs habilités phonologiques ont été évaluées à partir de tâches d'analyse phonémique, de mémoire à court terme phonologique et de dénomination rapide. Comparativement à des normolecteurs de même âge, tous les dyslexiques ont des troubles phonologiques sur l'ensemble de ces tâches. Le nombre de sujets souffrant de déficits phonologiques est moindre dans deux autres études qui ont porté sur des enfants (Ramus et coll., 2003a ; White et coll., sous presse). Ainsi, dans l'étude de Ramus et coll. (2003a), la batterie de tests phonologiques incluait une épreuve de lecture de pseudo-mots, des tâches d'analyse phonologique, de dénomination rapide et de fluence verbale (les enfants devaient produire le plus de mots possibles commençant ou se terminant par un phonème ou une rime donnés). Sur l'ensemble de ces tâches, un déficit phonologique a été relevé chez 17 des 22 dyslexiques (77 %). Pratiquement les mêmes tâches phonologiques ont été utilisées dans l'étude de White et coll. (sous presse). À la différence de l'étude de Ramus et coll. (2003a) sur les enfants, la lecture de pseudo-mots n'est pas incluse dans la variable phonologie. Cette étude fait ressortir une proportion plus faible de dyslexiques présentant des troubles phonologiques que dans les deux études précédentes.

Les choix méthodologiques peuvent expliquer les différences entre les deux études portant sur les enfants. En effet, dans l'étude de White et coll. (sous presse) qui a porté sur des enfants, comme dans celle de Ramus et coll. (2003b) qui a porté sur des adultes, le seuil permettant de caractériser les performances déficitaires a été fixé à 1,65 écart-type, alors qu'il était à 1 écart-type dans l'étude de Ramus et coll. (2003a). De plus, l'étude de Ramus et coll. (2003a) a intégré la lecture de pseudo-mots dans les facteurs phonologiques explicatifs de la dyslexie, ce qui est problématique, l'objectif de ce type d'étude étant de mettre en relief ce qui, en dehors de la lecture, peut expliquer le déficit de lecture des dyslexiques.

Deux des études qui ont rapporté des données individuelles (Ramus et coll., 2003b ; White et coll., sous presse) indiquent de plus qu'il n'y a que peu de recouvrement entre les différents déficits. En effet, il ne se dégage aucun

sous-groupe clairement affecté par plus d'un déficit et un nombre important de dyslexiques n'ont en fait aucun déficit sensori-moteur alors que tous (Ramus et coll., 2003b), ou la plupart d'entre eux (White et coll., sous presse), ont un déficit phonologique. De plus, les déficits sensori-moteurs ne permettent pas d'expliquer les difficultés de lecture. Ces déficits seraient donc plutôt des symptômes secondaires que des caractéristiques fondamentales de la dyslexie. Néanmoins, la plupart des études indiquent que la prépondérance des troubles sensori-moteurs est généralement plus élevée chez les dyslexiques que chez des normolecteurs. Ces troubles pourraient toutefois concerner un sous-groupe particulier de dyslexiques, ceux qui ont des troubles de l'attention en plus de leurs difficultés de lecture.

Pouvoir explicatif des déficits phonologiques hors lecture chez les dyslexiques

Dans certaines études, des analyses de régression ont été effectuées pour déterminer les facteurs qui prédisent le mieux le niveau de lecture. Dans les études de Ramus et coll. (2003b), de White et coll. (sous presse), comme dans celle de Chiappe et coll. (2002), la variable phonologie permet d'expliquer la majeure partie de la variance en lecture (entre 50 et 76 %). C'est la seule variable significative dans l'étude de Chiappe et coll. (2002) et dans celle de White et coll. (sous presse), qui ont évalué en même temps les capacités auditives, visuelles et motrices des dyslexiques (voir également Wimmer et coll., 1999 ; Kronbichler et coll., 2002 ; Share et coll., 2002 ; Ramus, 2003a). Dans l'étude de Ramus et coll. (2003b), la contribution des autres capacités est soit faible (4,2 pour l'audition), soit non significative (pour la vision), voire non conforme aux hypothèses (pour la motricité).

Un autre argument en faveur du rôle des capacités phonologiques, et plus spécifiquement des capacités d'analyse phonémique, dans la dyslexie provient d'études comparatives entre dyslexiques et normolecteurs plus jeunes mais de même niveau de lecture. Il ressort de cette comparaison une infériorité des scores des dyslexiques dans les tâches d'analyse phonémique (en anglais : Bruck, 1992 ; Fawcett et Nicholson, 1994 ; en allemand : Wimmer, 1993). Ce déficit ne peut donc pas être imputé au rôle de la lecture sur les capacités d'analyse phonémique vu que les deux groupes ont été appariés sur ce niveau. De plus, les études longitudinales ont permis de relever un déficit d'analyse phonémique chez de futurs dyslexiques avant même l'apprentissage de la lecture (en allemand : Wimmer, 1993 et 1996 ; en français : Sprenger-Charolles et coll., 2000).

Autres données : études longitudinales

D'autres résultats provenant d'études dans lesquelles des enfants tout-venants ou des lecteurs à risque pour l'apprentissage de la lecture ont été suivis pendant plusieurs années, depuis une période précédant l'apprentissage de la lecture, indiquent aussi que les prédicteurs les plus fiables de cet apprentissage sont les capacités d'analyse et de mémoire phonologique ainsi que celles de

dénomination rapide. C'est ce qui ressort de la méta-analyse de Scarborough (1998), qui a porté sur 61 études incluant plus de 30 enfants suivis pendant un à trois ans depuis un âge se situant entre 4 ans et demi et 6 ans. Les habiletés non verbales précoces (QI non-verbal, capacités visuelles, motrices et visuo-motrices) ne sont que faiblement reliées au futur niveau de lecture comparativement à ce qui est relevé pour les capacités phonologiques (analyse et mémoire phonologiques, dénomination sérielle rapide), qui permettent de pronostiquer précocement les enfants à risque pour cet apprentissage, avec une fiabilité élevée (Elbro et Scarborough, 2003).

En outre, parmi les capacités d'analyse phonologique, les arguments expérimentaux en faveur d'une contribution précoce des capacités d'analyse d'unités phonologiques plus larges que les phonèmes (syllabe et attaque-rime, en particulier) sur le niveau ultérieur de lecture sont faibles. Ainsi, Castles et Coltheart (2004) ont identifié 18 études dans lesquelles le niveau de pré-lecture des enfants a été évalué. En fait, toutes celles incluant un examen des capacités d'analyse phonémique précoces montrent une contribution significative de ces capacités sur les compétences ultérieures en lecture et en écriture. Ces résultats, qui ont été reproduits dans des études plus récentes (Kirby et coll., 2003 ; Parrila et coll., 2004 ; Schatschneider et coll., 2004), permettent aussi de comprendre pourquoi les entraînements à l'analyse phonémique ont un effet sur l'apprentissage de la lecture (Ehri et coll., 2001, méta-analyse de 52 études). Cet effet est toutefois plus notable chez les enfants à risque pour cet apprentissage que chez les lecteurs en difficultés, ce qui signale qu'il est plus facile de prévenir que de guérir. L'effet de ce type d'entraînement est néanmoins plus important si, en plus, les enfants pouvaient manipuler les lettres correspondant aux phonèmes, ce qui suggère que le développement de la conscience phonémique est un facteur important dans l'apprentissage de la lecture, mais pas une condition suffisante.

En résumé

L'hypothèse phonologique est robuste vu que, d'une part, dans les études de groupes qui ont comparé les habiletés phonologiques et non phonologiques des dyslexiques, aucun résultat contradictoire avec cette hypothèse n'a été relevé. De plus, dans les études qui ont examiné les données individuelles, la majorité des dyslexiques souffrent d'un déficit phonologique. En outre, les analyses de régression indiquent que ces capacités sont les seules qui expliquent la majeure partie de la variance en lecture. Enfin, les études longitudinales signalent que ce sont les capacités phonologiques, en particulier celles d'analyse phonémique, qui sont les meilleurs prédicteurs du futur niveau de lecture des enfants, des entraînements dans ce domaine ayant une incidence positive sur la lecture.

Dans la plupart des études sur la dyslexie, le facteur « phonologie » intègre toutefois des capacités diverses, précision et rapidité de l'accès au lexique,

mémoire à court terme phonologique et capacités d'analyse d'unités phonologiques de différentes tailles (syllabe, rime et phonème) de façon plus ou moins explicite (par exemple, fluence verbale à partir d'un indice phonologique *versus* manipulation de phonème). En fait, les déficits relevés dans ces différents domaines pourraient s'expliquer par un facteur sous-jacent, soit un déficit des traitements auditifs rapides, soit un déficit de discrimination des phonèmes.

Troubles phonologiques et déficits auditifs

Selon certains chercheurs, le déficit phonologique des dyslexiques proviendrait d'une déficience des traitements rapides en perception auditive, qu'il s'agisse de perception du langage ou non. Ce déficit affecterait le traitement des sons brefs et des transitions temporelles rapides.

Les premières études dans ce domaine, qui ont été effectuées par Tallal, ont porté sur des dysphasiques (Tallal et Percy, 1973). Deux stimuli identiques ou différents étaient présentés successivement, l'enfant devant indiquer s'il a ou non entendu la même chose (tâche de discrimination) et dans quel ordre (tâche de jugement d'ordre temporel). Les stimuli incluaient des sons non-verbaux courts ou longs, des voyelles brèves ou longues ainsi que des syllabes de type /ba/-/da/. La durée des intervalles inter-stimuli était longue ou courte. Les dysphasiques réussissent moins bien les tâches comportant des tons courts, des voyelles brèves ou des transitions consonne-voyelle brèves, surtout quand les intervalles entre les stimuli sont courts. Une étude ultérieure (Tallal, 1980) a porté sur 20 dyslexiques de 8 à 12 ans (moyenne, 9 ans 7 mois) qui ont passé uniquement les tâches impliquant les sons non verbaux. Leurs performances ont été comparées à celles d'un groupe témoin de normolecteurs un peu plus jeune (8 ans 5 mois). Dans le test de jugement d'ordre temporel, les scores des dyslexiques sont inférieurs à ceux des normolecteurs uniquement pour les intervalles courts. Le même résultat a été relevé pour le test de discrimination. Pour vérifier si ce déficit est bien lié au déficit lexique, les corrélations entre les réponses correctes au test de discrimination présenté en condition rapide et différents tests de lecture ont été examinées. Cette analyse, qui n'a porté que sur les dyslexiques, confirme l'hypothèse de départ : toutes les corrélations sont significatives (entre 0,58 et 0,81 selon le test), la plus élevée étant avec un test de lecture de pseudo-mots. En revanche, les performances en discrimination ne dépendent pas du niveau d'intelligence ou de l'âge des enfants.

Toutefois dans cette étude, d'une part, seuls les résultats globaux pour les intervalles dits brefs sont présentés. Or, ces intervalles varient fortement : 8, 15 et 308 ms (ce dernier intervalle étant proche de 428 ms, la durée dite longue). D'autre part, les comparaisons entre groupes masquent de fortes variations entre individus, 11 à 12 dyslexiques selon le test ayant

des performances dans les normes (soit entre 55 et 60 %). Enfin, seuls ont été utilisés des sons non verbaux, aucune comparaison entre parole et non parole n'est donc possible. En conséquence, cette étude ne permet pas de soutenir que le déficit auditif des dyslexiques est prévalent et qu'il s'agit d'une déficience auditive liée aux traitements auditifs rapides.

Déficit auditif et traitements temporels rapides

Trois caractéristiques des stimuli sont en fait impliquées dans ce que Tallal appelle les traitements temporels : l'ordre d'apparition des stimuli, leur durée individuelle et la rapidité de leur succession, c'est-à-dire l'intervalle entre deux stimuli. Ce mélange de variables hétérogènes a été critiqué par Studdert-Kennedy et Mody (1995). À la suite de cet article, des expériences ont été effectuées, d'une part, pour tenter de reproduire les résultats originaux de Tallal, d'autre part, pour évaluer séparément l'incidence des trois dimensions temporelles sur les performances en lecture et enfin pour vérifier si le type de déficit mis en relief par Tallal ne serait pas en fait spécifique au traitement du langage vu que ce sont justement des sons très brefs (comme les bruits d'explosion des consonnes occlusives), et des transitions rapides (les transitions consonne-voyelle) qui sont à la base de la perception des phonèmes.

Plusieurs études ont évalué si le déficit des dyslexiques ressort principalement pour les intervalles courts. La variation des performances en fonction de la durée des intervalles et du niveau de lecture a été examinée dans une étude longitudinale qui a impliqué plus de 500 enfants suivis durant 3 ans, depuis le début de l'apprentissage de la lecture (Jorm et coll., 1986a et b ; Share et coll., 2002). Ces auteurs ont utilisé la tâche de jugement d'ordre temporel mise au point par Tallal, avec les mêmes sons non verbaux et les mêmes intervalles courts et longs. Les deux phases de test – d'abord avec l'intervalle long et ensuite avec les intervalles courts – ont été précédées par une phase d'apprentissage au cours de laquelle les stimuli étaient présentés un par un. Les résultats obtenus avant l'apprentissage de la lecture, à 5 ans, par les enfants classés dyslexiques trois ans plus tard sont présentés dans le tableau 14.I.

Aucune différence entre les groupes n'est relevée pour la phase d'apprentissage. En revanche, dans la tâche de jugement d'ordre temporel, les dyslexiques ont des scores plus faibles pour l'intervalle long, ce qui est à l'opposé de ce qui a été rapporté par Tallal (1980). Ce résultat peut éventuellement s'expliquer par une différence dans le *sex-ratio* des enfants, le groupe des dyslexiques comportant surtout des garçons (88 % contre 45 % chez les normolecteurs). Pour vérifier cette hypothèse, Share et coll. (2002) ont effectué une seconde analyse en appariant les groupes en âge, sexe, QI et statut socioéconomique. Les résultats sont similaires à ceux de l'analyse précédente mais ils s'expliquent surtout par les scores de 8 des 17 dyslexiques (47 %), ce qui est congruent avec l'étude de Tallal (1980) où seulement 45 % des

dyslexiques avaient des performances inférieures à celles des normolecteurs. Cependant, le sous-groupe de dyslexiques de l'étude de Share et coll. (2002) se caractérise toujours par des performances déficitaires pour l'intervalle long, et non pour les intervalles brefs, encore une fois en contradiction avec les résultats originaux de Tallal (1980). Ces contradictions peuvent provenir de différences de l'âge des enfants, la tâche de jugement d'ordre temporel ayant été passée avant l'apprentissage de la lecture chez de futurs dyslexiques et de futurs normolecteurs dans l'étude de Share et coll. (2002), mais pas dans celle de Tallal (1980).

Tableau 14.I : Moyenne et écart-type au test de jugement d'ordre temporel à 5 ans pour des enfants classés en seconde année du primaire comme étant ou non dyslexiques (d'après Share et coll., 2002)

	Dyslexiques		Non dyslexiques	
	Moyenne (écart-type)	Nombre	Moyenne (écart-type)	Nombre
Phase d'apprentissage (max=24)	19,2 (4,29)	25	19,9 (4,38)	414
Intervalles longs* (max=12)	7,2 (3,13)	17	8,8 (3,01)	301
Intervalles courts (max=12)	3,9 (3,94)	17	4,4 (2,92)	301

*Différence significative ($t=2,2$; $p < 0,05$)

Les dyslexiques de l'étude de Share et coll. (2002) ont été revus à 9 ans. Leurs performances dans le test de jugement d'ordre temporel ont été comparées à celles de normolecteurs de même niveau de lecture appariés en fonction du QI et du sexe. Les résultats sont présentés dans le tableau 14.II. Aucun déficit n'est relevé chez les dyslexiques pour l'épreuve de jugement d'ordre temporel. En revanche, leurs performances en lecture et en écriture de pseudo-mots sont déficitaires. Ces données reproduisent les résultats classiques à l'appui de l'hypothèse phonologique. Elles indiquent aussi que le déficit de la procédure phonologique de lecture est sévère puisqu'il ressort y compris comparativement à des enfants plus jeunes mais de même niveau de lecture qu'eux, ce qui n'est pas le cas pour les capacités de lecture de mot en contexte ou pour celles de compréhension. Les résultats de cette étude ne permettent donc pas de soutenir que le déficit de la procédure phonologique de lecture des dyslexiques s'expliquerait par une déficience des traitements temporels rapides. Toutefois, comme dans l'étude de Tallal (1980), seuls des sons non verbaux ont été utilisés dans le test de jugement d'ordre temporel, et toujours comme dans l'étude de Tallal, les intervalles courts variaient de 8 à 308 ms, cette dernière durée étant en fait proche de 428 ms, la durée dite longue.

Tableau 14.II : Moyenne et écart-type pour des dyslexiques de 9 ans et des normolecteurs de même niveau de lecture (d'après Share et coll., 2002)

	Dyslexiques (n=18)	Normolecteurs de même niveau de lecture (n=18)
Caractéristiques principales	Moyenne (écart-type)	Moyenne (écart-type)
QI	111,9 (12,25)	111,1 (12,10)
Lecture de mots (précision)	27,2 (9,48)	26,4 (8,72)
Compréhension en lecture	10,9 (4,04)	11,0 (3,40)
Lecture de pseudo-mots	34,8 (17,91)	40,3 (21,22)
Écriture de pseudo-mots*	6,1 (4,43)	9,3 (5,25)
Jugement d'ordre temporel		
Phase d'apprentissage (max=24)	22,2 (3,46)	22,6 (2,34) n=17
Intervalles longs (max=12)	11,3 (1,58) n=15	10,7 (1,67) n=15
Intervalles courts (max=12)	9,2 (2,34) n=15	8,5 (2,20) n=15

*Différence significative (t=1,96 ; p < 0,05)

Dans une autre étude (Chiappe et coll., 2002), l'intervalle entre les stimuli a été manipulé dans deux épreuves, une de jugement d'ordre temporel et une de discrimination (dire si deux sons sont ou non identiques). Les intervalles entre les stimuli, des syllabes /ba/-/da/, variaient de 10 à 100 ms. Des dyslexiques adultes ont été comparés à deux groupes de normolecteurs : un de même âge et un de même niveau de lecture. Les différences entre dyslexiques et témoins de même âge ne sont significatives, ni pour les intervalles brefs (entre 10 et 25 ms), ni pour les longs (entre 30 et 100 ms). Le même résultat a été relevé dans une troisième épreuve, dans laquelle soit un son de 170 ms, soit deux sons de 75 ms étaient présentés avec des intervalles entre 5 et 60 ms, les sujets devant dire s'ils entendaient un ou deux sons. Comme dans l'étude de Share et coll. (2002), les dyslexiques ont des scores inférieurs à ceux des témoins de même niveau de lecture dans des épreuves classiques évaluant leurs capacités phonologiques en lecture (lecture de pseudo-mots) et hors lecture (analyse phonémique et syllabique).

Deux revues de la littérature (Ramus, 2003 ; Rosen, 2003) signalent qu'il est maintenant de plus en plus clair que les troubles auditifs, lorsqu'ils sont présents, ne sont pas liés à la rapidité de la succession des stimuli auditifs. Tout d'abord, parmi les études qui ont utilisé les mêmes tâches que celles de Tallal, en plus de celles de Chiappe et coll. (2002) et de Share et coll. (2002), plusieurs n'ont pas permis de relever que le déficit des dyslexiques était limité aux intervalles brefs (Reed, 1989 ; Nittrouer, 1999 ; Marshall et coll., 2001). Des résultats ne permettant pas de soutenir cette hypothèse ont été mis en évidence avec d'autres tâches, par exemple la détection du

nombre de sons entendus en fonction de la durée de l'intervalle, les sujets ayant tendance à n'entendre qu'un seul son quand ce dernier est court (McAnally et Stein, 1996 ; Schulte-Körne et coll., 1998 et 1999 ; Ahissar et coll., 2000).

Déficit auditif ou déficit spécifique au traitement du langage ?

Les études présentées dans la partie précédente portaient sur les traitements auditifs dits rapides ; une autre hypothèse est que le déficit des dyslexiques concernerait tous les sons, qu'il s'agisse ou non de sons du langage. L'étude originale de Tallal (1980) ne permettait pas de vérifier cette hypothèse vu que seuls des sons non langagiers avaient été utilisés. Cette question a été réexaminée dans plusieurs études, en particulier celle de Mody et coll. (1997), qui a porté sur des lecteurs plus ou moins habiles âgés de 7 à 9 ans. Les deux groupes ont été sélectionnés dans une population de 220 enfants. Au minimum, un an de différence en niveau de lecture sépare les faibles des bons lecteurs, qui ont respectivement plus de 5 mois d'avance ou de retard en lecture d'après deux épreuves du Woodcock (1987). Deux pré-expérimentations ont été effectuées, l'une pour vérifier que les déficits ne peuvent pas être imputés à une mauvaise compréhension de la consigne, l'autre pour s'assurer que les difficultés des faibles lecteurs sont bien liées à des problèmes de gestion de l'ordre temporel des informations. Seuls ont été retenus les enfants capables d'identifier correctement des paires de stimuli /ba/-/da/, le groupe des faibles lecteurs incluant uniquement ceux qui ont fait plus de 3 erreurs dans le pré-test de jugement d'ordre temporel et celui des bons lecteurs, uniquement ceux qui n'ont pas fait d'erreur. Enfin, les deux groupes ont été appariés en âge et en niveau cognitif verbal et non verbal. Il est à souligner que les variations à l'intérieur du groupe des faibles lecteurs, en particulier pour l'âge et le niveau de lecture, sont réduites et qu'il n'y a aucun recouvrement entre les niveaux de lecture des faibles et des bons lecteurs. Cette population, même si les faibles lecteurs ne sont pas des dyslexiques, est donc plus contrôlée que celle de Tallal (1980)[38].

Dans une première expérience, les auteurs ont utilisé des paires de stimuli linguistiques qui diffèrent par un seul – ou par plus d'un – trait phonologique (/ba/-/da/ *versus* /ba/-/sa/ ou /da/-/$a/[39]). Ces signaux ont été présentés avec des intervalles plus ou moins brefs (10, 50 et 100 ms) tant en discrimination qu'en jugement d'ordre temporel. Dans tous les cas, quelle que soit la rapidité de la succession entre les stimuli ou la tâche, les performances des bons lecteurs plafonnent. En revanche, celles des faibles lecteurs sont affectées

38. Dans l'étude de Tallal (1980), les scores des dyslexiques en lecture de pseudo-mots variaient entre 30 % et 95 % de réponses correctes, avec une moyenne de 55, un quart d'entre eux (5) ayant des scores égaux ou supérieurs à 75 %.

39. /$/ désigne ici le phonème qui correspond au graphème « ch ».

par la réduction des intervalles inter-stimuli dans les deux types de tâche, mais uniquement pour les paires les plus proches sur le plan phonologique, pas pour les autres. Leur déficit semble donc lié à la discrimination des phonèmes, et non au traitement temporel. Dans une seconde expérience, pour vérifier si le déficit des lecteurs en retard est bien spécifique au traitement du langage, les auteurs ont utilisé des sons verbaux et non verbaux aussi proches que possible quant à leurs caractéristiques acoustiques. Les sons verbaux étaient des syllabes de type /ba/-/da/, les sons non verbaux ont été construits à partir de ces mêmes syllabes. L'incidence négative du raccourcissement de l'intervalle inter-stimuli ne se retrouve chez les faibles lecteurs que lorsque la tâche implique les sons verbaux, ce qui suggère que leur déficit est spécifique au traitement de sons de la parole.

Dans l'étude de Serniclaes et coll. (2001), la spécificité linguistique du déficit de perception des phonèmes a été testée à l'aide d'analogues sinusoïdaux de sons de parole variant le long d'un continuum de lieu d'articulation de /ba/ à /da/. Ces sons sont entendus comme étant de simples sifflements par un auditeur naïf. Exactement les mêmes sons ont été présentés par paires, d'abord en condition non-parole, puis en condition parole. Dans le premier cas, les stimuli étaient dits être des sifflements, dans le second, des syllabes (/ba/ ou /da/). Le sujet devait dire si les deux sons qu'il entendait étaient ou non identiques. Si une différence est observée en condition parole, mais pas en condition non-parole, il est alors possible de l'attribuer à des problèmes spécifiques au traitement du langage, et non à des différences acoustiques, ce qui peut être le cas pour toutes les autres études dans le domaine (des stimuli différents ayant été utilisés en condition parole et non-parole). Ce protocole a été utilisé avec des dyslexiques ayant un retard de lecture d'au moins 24 mois et des normolecteurs de même âge chronologique (13 ans, Serniclaes et coll., 2001). Conformément à l'hypo-thèse d'une spécificité linguistique du déficit des dyslexiques, les deux groupes diffèrent principalement en condition parole. Il est de plus à signaler que ces signaux n'activent pas les mêmes réseaux corticaux selon qu'ils sont présentés comme étant ou non de la parole à des adultes normolecteurs (Dehaene-Lambertz et coll., 2005).

Un déficit plus fortement marqué en condition parole qu'en condition non-parole a été relevé dans d'autres études impliquant des dyslexiques (Schulte-Körne et coll., 1998 et 1999 ; Rosen et Manganari, 2001). Ainsi, Schulte-Körne et coll. (1999) n'ont observé aucune différence entre dyslexiques et normolecteurs dans deux tâches impliquant des aspects sonores non langagiers, alors que les performances de ces deux groupes diffèrent pour la discrimination de sons de la parole. Il est également possible d'attribuer à un déficit linguistique les résultats observés par Lorenzi et coll. (2000), les performances auditives des dyslexiques étant plus fortement détériorées aux fréquences critiques pour la perception de la parole (4 Hz). Toutefois, une différence entre parole et non-parole n'a pas été retrouvée dans d'autres

études sur les dyslexiques (par exemple, avec des adultes : Ramus et coll., 2003b ; avec des enfants : White et coll., sous presse). Les investigations permettant d'évaluer la spécificité des déficits dans les traitements auditifs comportaient pourtant de nombreuses tâches, certaines reproduisant partiellement le protocole mis au point par Mody et coll. (1997). L'examen des résultats individuels des enfants suggère cependant qu'au moins une partie d'entre eux souffrirait d'un déficit spécifiquement langagier.

Relations entre déficit auditif, déficit phonologique et difficultés de lecture

Une autre question est de savoir si le déficit phonologique des dyslexiques, qui expliquerait leurs difficultés de lecture, a lui-même pour cause un déficit auditif. Comme le signale Ramus (2003), la réponse semble être négative. En effet, dans l'étude de Ramus et coll. (2003b), comme dans celle Chiappe et coll. (2002) ou de White et coll. (sous presse), alors que la variable phonologie permet d'expliquer la majeure partie de la variance en lecture, la contribution des capacités auditives est faible (4,2 %, Ramus et coll., 2003b) ou non significative (Chiappe et coll., 2002 ; White et coll., sous presse).

D'autres études indiquent qu'il n'y a pas de relation entre le déficit auditif temporel et les capacités de catégorisation phonémique (Rosen et Manganari, 2001 ; Chiappe et coll., 2002), pas plus qu'entre les mesures des capacités auditives et les habiletés phonologiques ou de lecture (Marshall et coll., 2001). De même, dans l'étude longitudinale de Share et coll. (2002), les capacités auditives précoces ne prédisent pas les déficits subséquents en lecture. D'autre part, si c'est parmi les dyslexiques souffrant de déficits auditifs sévères que se retrouvent les sujets qui ont également les déficits phonologiques et de lecture les plus sévères, l'inverse n'est pas vrai. Des performances auditives supérieures ont même été relevées dans certaines tâches auditives chez les dyslexiques (Serniclaes et coll., 2001 ; Kronbichler et coll., 2002 ; White et coll., sous presse) alors que, comme le suggèrent les données longitudinales recueillies dans certaines études (Sprenger-Charolles et coll., 2000 ; Serniclaes et coll., 2001 ; Kronbichler et coll., 2002 ; Share et coll., 2002), les performances phonologiques de ces enfants étaient déficitaires, y compris avant l'apprentissage de la lecture.

En résumé, d'après les études recensées, le déficit auditif ne paraît pas prévalent, il n'est probablement pas lié à des problèmes de traitement rapide et ne permet pas d'expliquer le déficit des compétences phonologiques des dyslexiques.

Nouvelle hypothèse sur l'origine du déficit phonologique des dyslexiques

Pour mettre en relation les graphèmes avec les phonèmes correspondants, il faut non seulement pouvoir isoler les phonèmes, il faut également être

capable de les discriminer. Si de nombreux travaux ont porté sur les liens entre l'apprentissage de la lecture et la première capacité (évaluée par des tâches de comptage ou de suppression de phonèmes), très peu ont évalué l'incidence de la qualité des représentations phonémiques sur cet apprentissage. Or, le phonème est le résultat d'un découpage arbitraire et spécifique à une langue. En effet, d'une part, dans un continuum acoustique, on catégorise, ce qui veut dire que l'on perçoit toute une gamme de sons acoustiquement différents comme /p/ et d'autres comme /t/ ou /k/. D'autre part, le répertoire des phonèmes diffère d'une langue à l'autre, le phonème étant l'unité minimale qui permet de différencier deux mots. Ainsi, /b/ et /v/ sont deux phonèmes différents en français, qui permettent de distinguer « bol » de « vol », mais pas en espagnol. En revanche, R simple et R roulé sont deux phonèmes différents en espagnol permettant de distinguer « pero » (mais) de « perro » (chien) alors qu'en français, ces deux R ne sont que des variantes dialectales, des allophones, d'un même phonème.

Il a été montré que le bébé est prédisposé à percevoir différentes oppositions phonétiques susceptibles d'intervenir dans les langues du monde (Kuhl, 2004). Progressivement, au cours de la première année de sa vie, ce répertoire se restreint aux catégories phonémiques nécessaires pour traiter sa langue orale, ce qui implique un processus de sélection, et de restructuration des catégories phonétiques initiales. Ce processus pourrait ne pas avoir été bien mené à terme chez les futurs dyslexiques, tout au moins chez certains d'entre eux. De fait, différents résultats suggèrent que les catégories phonémiques des dyslexiques ne sont pas spécifiées de la même façon que celles des normolecteurs : d'une part ils discriminent moins bien qu'eux les phonèmes de différentes catégories, d'autre part, ils perçoivent mieux qu'eux certaines différences intra-phonémiques, ce double déficit ne provenant pas de déficiences des mécanismes auditifs en amont (Mody et coll., 1997 ; Schulte-Körne et coll., 1998 et 1999 ; Rosen et Manganari, 2001 ; Serniclaes et coll., 2001).

Perception catégorielle et dyslexie

Les études princeps dans ce domaine ont été effectuées par Brandt et Rosen (1980), Godfrey et coll. (1981) ainsi que par Werker et Tees (1987). Ces études, comme d'autres (Manis et coll., 1997; Serniclaes et coll., 2001 et 2004 ; Manis et Keating, 2004), ont montré que les dyslexiques ont une perception moins catégorielle que les normolecteurs. Ce déficit se manifeste le plus souvent par une moins bonne discrimination des différences entre catégories et par une meilleure discrimination des différences intra-catégorielles. C'est ce qu'indique la figure 14.1, qui présente les scores de discriminations correctes de dyslexiques et de normolecteurs pour deux variants de /ba/ et deux variants de /da/, la différence acoustique entre les variants intra-catégoriels (les deux /ba/ ou les deux /da/ différents) étant de même amplitude que celle entre la paire inter-catégorielle (/ba/ et /da/).

Figure 14.1 : Pourcentage de discriminations correctes (sons parlés) pour des dyslexiques et des normolecteurs de 13 ans (d'après Serniclaes et coll., 2001)

Le déficit de perception catégorielle a également été examiné à l'aide d'expériences d'identification en comparant les pentes des fonctions d'identification, une pente plus faible indiquant que la frontière catégorielle est moins précise. Un tel déficit a été relevé dans ces études (Reed, 1989 ; Manis et coll., 1997 ; Joanisse et coll., 2000), même s'il n'a parfois été trouvé que dans le sous-groupe des dyslexiques les plus sévèrement atteints. Enfin, des différences qui n'apparaissent pas dans la précision des réponses (examen des erreurs) peuvent se manifester soit dans la vitesse de traitement (examen des temps de réaction, Ruff et coll., 2001), soit dans les corrélats neurologiques (Ruff et coll., 2002).

Perception allophonique et dyslexie

Les résultats précédents suggèrent que les performances des dyslexiques sont, sous certains aspects, supérieures à celles des normolecteurs (cf. la perception des différences intra-catégorielles). Ce phénomène a été examiné en détail par Serniclaes et coll. (2004) dans une étude consacrée à l'examen des capacités de catégorisation du trait de voisement (VOT)[40] qui a porté sur des dyslexiques

40. Le VOT (*Voice Onset Time*), qui est l'intervalle de temps entre la détente de l'occlusion orale et le départ des vibrations laryngées (ou départ de la voix), est respectivement négatif ou positif selon que le départ de la voix précède ou suit la détente.

de 9 ans, des normolecteurs de même âge et des adultes. Les résultats, présentés dans la figure 14.2, indiquent que les performances des dyslexiques se caractérisent par un pic de discrimination plus faible à la frontière phonémique (vers +15 ms de VOT), ce qui signale une nouvelle fois qu'ils ont un déficit de catégorisation phonémique. En plus, un second pic, situé à l'écart de cette frontière (aux environs de -30 ms de VOT), est observé chez eux, ce pic étant pratiquement de même amplitude que le premier. Le plus surprenant est que la localisation du second pic n'est pas aléatoire : elle correspond en fait à l'une des prédispositions phonétiques utilisée pour percevoir le voisement.

Figure 14.2 : Pourcentage de réponses « différent » pour des dyslexiques et des normolecteurs de 9 ans et des adultes (d'après Serniclaes et coll., 2004)

En effet, les oppositions phonétiques ancrées à -30 ou +30 ms de VOT font partie des prédispositions perceptives du nouveau-né (Lasky et coll., 1975 ; Aslin et coll., 1981). Elles correspondent à des frontières phonémiques dans les langues à trois catégories de voisement (par exemple, le « thaï »). En revanche, ces oppositions sont des réalisations contextuelles, donc allophoniques, de l'opposition de voisement en français (Serniclaes, 1987). La sensibilité accrue des dyslexiques aux composants phonétiques des oppositions phonémiques suggère que l'on se trouve en présence d'un mode de perception de la parole particulier.

Implications pour l'apprentissage de la lecture et la dyslexie

Le double « déficit » de perception catégorielle des dyslexiques peut n'avoir que des conséquences mineures sur l'acquisition de la langue orale, l'accès au lexique mental pouvant s'opérer à partir de représentations allophoniques, quoique de manière moins économique que s'il s'effectue à partir de représentations phonémiques, au moins en termes de volume d'information à traiter. En revanche, ce type de déficit peut gravement entraver l'acquisition du langage écrit : pour relier les graphèmes aux phonèmes correspondants, il faut en effet des catégories phonémiques bien spécifiées. Si, d'une part, le dyslexique perçoit moins bien des différences entre deux phonèmes qui font partie du répertoire des phonèmes de sa langue et si, en plus, il perçoit des allophones d'un même phonème, qui ne font pas partie du répertoire des phonèmes de sa langue, il va difficilement pouvoir relier les phonèmes aux graphèmes correspondants.

Ce mode particulier de perception pourrait également expliquer les déficits de manipulation des phonèmes rencontrés par les dyslexiques dans les tâches classiques d'analyse phonémique. Il pourrait aussi rendre compte des déficits de mémoire à court terme phonologique, qui seraient dus au poids des exigences de stockage s'expliquant par un répertoire élargi, allophonique plutôt que phonémique. Il pourrait enfin expliquer certaines difficultés d'accès au lexique, telles que celles mises en relief par les tâches de dénomination sérielle rapide. D'où la possibilité d'un syndrome sous-jacent aux différents déficits intégrés dans le cadre de l'explication phonologique classique de la dyslexie.

Ces résultats apportent des arguments nouveaux à l'appui de l'hypothèse explicative de la dyslexie par un déficit phonologique. Des études complémentaires sont toutefois nécessaires, pour évaluer, d'une part, la prépondérance de ces déficits, d'autre part, leur pouvoir explicatif ainsi que les relations qu'ils entretiennent avec les autres déficits phonologiques, et enfin, pour préciser leurs corrélats neuro-anatomiques.

Des données comportementales à la neuro-imagerie

Il est aujourd'hui largement accepté que la neuro-anatomie fonctionnelle de la lecture est dominée par un réseau localisé dans l'hémisphère gauche autour des zones supposées être impliquées dans le traitement du langage oral. Ce réseau intègre un composant antérieur centré sur le gyrus frontal inférieur (impliqué dans les traitements phonologiques de sortie, au niveau articulatoire). Cette aire est reliée à deux voies postérieures : la voie ventrale, qui inclut les aires occipito-temporales, en particulier le gyrus fusiforme postérieur (qui est probablement une aire traitant automatiquement la

forme visuelle des mots) et la voie dorsale, qui inclut les aires temporo-pariétales, particulièrement le gyrus angulaire et le gyrus supramarginal (probablement dédiés aux traitements impliquant la phonologie).

Chez des normolecteurs, le circuit dorsal, relativement lent, prédomine au début, comme le suggère la plus faible activation du gyrus fusiforme chez eux que chez des adultes (Booth et coll., 2003). Toutefois, les tâches de lecture qui impliquent obligatoirement des traitements phonologiques (par exemple, juger si des mots écrits se prononcent de la même façon) provoquent une moindre activation du gyrus angulaire chez les enfants que chez les adultes (Booth et coll., 2004). Ce patron de résultats est conforme à celui relevé dans les études comportementales, qui ont montré que les lecteurs habiles ont un accès plus rapide et plus automatique au code phonologique du mot écrit que les lecteurs moins habiles, particulièrement les dyslexiques (Booth et coll., 1999 ; Booth et coll., 2000).

Les corrélats neuronaux des traitements phonologiques dans des tâches n'impliquant pas la lecture (analyse phonémique et mémoire à court terme phonologique) ont également été investigués. Dans leur examen de la littérature, Démonet et coll. (2004) soulignent que la plupart des études ont montré des activations réduites des aires périsylviennes gauches (plutôt que bilatérales) chez les dyslexiques, ces hypo-activations concernant surtout le gyrus supramarginal gauche. Un pattern similaire a été relevé quand les dyslexiques ont eu à effectuer des tâches implicites de discrimination de contrastes phonémiques (Ruff et coll., 2002 ; Dufor et coll., 2005), alors même que leurs compétences dans ce domaine, d'après les résultats comportementaux, semblaient non détériorées, ce qui suggère l'existence des mécanismes compensatoires.

Comme le signalent Shaywitz et Shaywitz (2005), à la différence du système bien intégré observé chez les normolecteurs, les dysfonctionnements des aires postérieures de la lecture pourraient avoir conduit à l'établissement de mécanismes neuronaux compensatoires chez les dyslexiques. Ces mécanismes s'appuieraient sur des aires cérébrales auxiliaires, en particulier les aires antérieures du gyrus frontal inférieur, cruciales pour l'articulation. Leur activation serait le signe que, pour pouvoir lire des mots, les dyslexiques doivent s'appuyer sur des traces motrices, en produisant des mouvements articulatoires plus ou moins manifestes. Cette stratégie compensatoire peut leur permettre de traiter des mots écrits, bien que plus lentement et moins efficacement que s'ils se fondaient sur le système occipito-temporal rapide qui permet de les identifier. Ces résultats corroborent ceux obtenus en comportemental indiquant que le déficit de lecture des dyslexiques peut être partiellement surmonté grâce à des stratégies compensatoires.

La figure 14.3 présente un cadre qui reprend schématiquement les principaux arguments présentés pour expliquer la dyslexie développementale. Ce cadre, inspiré du modèle développé par Morton (1989), tient compte des

niveaux neurobiologiques, cognitifs et comportementaux. Il inclut également le rôle des facteurs environnementaux et des stratégies compensatoires qui, en plus des mécanismes d'ordre neurobiologique, peuvent entraver l'apprentissage de la lecture, en particulier, l'opacité de l'orthographe et la plus ou moins grande exposition à l'écrit. D'autres facteurs non signalés sur cette figure, tels que les méthodes d'enseignement ou la nature des remédiations qui sont proposées aux dyslexiques, doivent également avoir un impact sur cet apprentissage.

En conclusion, l'hypothèse phonologique est robuste, des déficits phonologiques ayant été relevés de façon consistante dans les études de groupes. De plus, d'après les études de cas multiples, ces déficits sont prévalents. En outre, cette hypothèse permet d'expliquer les performances en lecture des dyslexiques (ce qui n'est pas le cas, par exemple, pour l'hypothèse auditive), qu'il s'agisse de leurs performances concomitantes (analyse de régression) ou futures (études longitudinales). Enfin, le fait que des dysfonctionnements neuronaux aient principalement été relevés dans les aires cérébrales impliquées dans le traitement du langage (aires périsylviennes gauche), ces dysfonctionnements se manifestant surtout par des hypo-activations des aires dédiées aux traitements phonologiques, est un argument fort à l'appui de cette hypothèse.

Figure 14.3 : Explication des dysfonctionnements dans la dyslexie selon l'hypothèse phonologique : niveaux neurobiologique, cognitif et comportemental avec prise en compte du rôle de certains facteurs environnementaux et des stratégies compensatoires

BIBLIOGRAPHIE

AHISSAR M, PROTOPAPAS A, REID M, MERZENICH MM. Auditory processing parallels reading abilities in adults. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 2000, **97** : 6832-6837

ASLIN RN, PISONI DB, HENNESSY BL, PERREY AV. Discrimination of voice onset time by human infants: New findings and implications for the effect of early experience. *Child Development* 1981, **52** : 1135-1145

BOOTH JR, BURMAN DD, MEYER JR, GITELMAN DR, PARRISH TB, MESULAM MM. Development of brain mechanisms for processing orthographic and phonologic representations. *Journal of Cognitive Neuroscience* 2004, **16** : 1234-1249

BOOTH JR, BURMAN DD, MEYER JR, LEI Z, CHOY J, et coll. Modality-specific and independent developmental differences in the neural substrate for lexical processing. *Journal of Neurolinguistics* 2003, **16** : 383-405

BOOTH JR, PERFETTI CA, MACWHINNEY B. Quick, automatic and general activation of orthographic and phonological representations in young readers. *Developmental Psychology* 1999, **35** : 3-19

BOOTH JR, PERFETTI CA, MACWHINNEY B, HUNT SB. The association of rapid temporal perception with orthographic and phonological processing in children and adults with reading impairment. *Scientific Studies of Reading* 2000, **4** : 101-132

BORSTING E, RIDDER WH, DUDECK K, KELLEY C, MATSUI L, MOTOYAMA J. The presence of a magnocellular defect depends on the type of dyslexia. *Vision Research* 1996, **36** : 1047-1053

BOWERS P, WOLF M. Theoretical links among naming speed, precise timing mechanisms and orthographic skill in dyslexia. *Reading and Writing: An Interdisciplinary Journal* 1993, **5** : 69-95

BRANDT J, ROSEN JJ. Auditory phonemic perception in dyslexia: Categorical identification and discrimination of stop consonants. *Brain and Language* 1980, **9** : 324-333

BRUCK M. Word-recognition skills of adults with childhood diagnoses of dyslexia. *Developmental Psychology* 1990, **26** : 439-454

BRUCK M. Persistence of dyslexics' phonological awareness deficits. *Developmental Psychology* 1992, **28** : 874-886

BRYANT PE, IMPEY L. The similarities between normal readers and developmental and acquired dyslexic children. *Cognition* 1986, **24** : 121-137

BRYANT PE, MACLEAN M, BRADLEY LL, CROSSLAND J. Rhyme and alliteration, phoneme detection, and learning to read. *Developmental Psychology* 1990, **26** : 429-438

CASALIS S. Lecture et dyslexies de l'enfant. Septentrion, Paris, 1995

CASALIS S. The delay-type in developmental dyslexia: Reading processes. *Current Psychology Letters: Behavior, Brain and Cognition* 2003, **10**. http://cpl.revues.org/document95.html.

CASTLES A, COLTHEART M. Varieties of developmental dyslexia. *Cognition* 1993, **47** : 149-180

CASTLES A, COLTHEART M. Is there a causal link from phonological awareness to success in learning to read? *Cognition* 2004, **91** : 77-111

CESTNICK L, COLTHEART M. The relationship between language-processing and visual-processing deficits in developmental dyslexia. *Cognition* 1999, **71** : 231-255

CHIAPPE P, STRINGER N, SIEGEL LS, STANOVICH K. Why the timing deficit hypothesis does not explain reading disability in adults. *Reading and Writing: An Interdisciplinary Journal* 2002, **15** : 73-107

COLTHEART M, MASTERSON J, BYNG S, PRIOR M, RIDDOCH J. Surface dyslexia. *Quarterly Journal of Experimental Psychology* 1983, **35** : 469-595

DEHAENE-LAMBERTZ G, PALLIER C, SERNICLAES W, SPRENGER-CHAROLLES L, JOBERT A, DEHAENE S. Neural correlates of switching from auditory to speech perception. *NeuroImage* 2005, **24** : 21-33

DÉMONET JF, TAYLOR MJ, CHAIX Y. Developmental dyslexia. *The Lancet* 2004, **363** : 1451-1460

DUFOR O, SERNICLAES W, BALDUYCK S, SPRENGER-CHAROLLES L, DÉMONET JF. Learning of phonemic categorical perception in dyslexia: A speech perception study using PET. Poster presented at the 11th Annual Meeting of the Organization for Human Brain Mapping (OHBM, 1128). Canada, Toronto, 2005

EHRI LC, NUNES SR, WILLOWS DM, SCHUSTER BV, VAGHOUB ZADEH Z, SHANAHAN T. Phonemic awareness instruction helps children learn to read: Evidence from the National Reading Panel's meta-analysis. *Reading Research Quarterly* 2001, **36** : 250-287

ELBRO C, SCARBOROUGH H. Early identification. *In* : Handbook of children's literacy. NUNES T, BRYANT P (eds). Kluwer Academic Publishers bv, 2003

FAWCETT AJ, NICOLSON RI. Persistence of phonological awareness deficit in older children with dyslexia. *Reading and Writing: An Interdisciplinary Journal* 1994, **7** : 361-376

GÉNARD N, MOUSTY P, CONTENT A, ALEGRIA J, LEYBAERT J, MORAIS J. Methods to establish subtypes of developmental dyslexia. *In* : Problems and interventions in literacy development. REITSMA P, VERHOEVEN L (eds). Kluwer, Dordrecht, The Netherlands, 1998 : 163-176

GODFREY JJ, SYRDAL-LASKY AK, MILLAY KK, KNOX CM. Performance of dyslexic children on speech perception tests. *Journal of Experimental Child Psychology* 1981, **32** : 401-424

GRAINGER J, BOUTTEVIN S, TRUC C, BASTIEN M, ZIEGLER J. Word superiority, pseudoword superiority, and learning to read: A comparison of dyslexic and normal readers. *Brain and Language* 2003, **87** : 432-440

HARM MW, SEIDENBERG MS. Phonology, reading acquisition, and dyslexia: Insights from connectionist models. *Psychological Review* 1999, **106** : 491-528

JIMENEZ-GONZALEZ JE, VALLE IH. Word identification and reading disorders in the Spanish language. *Journal of Learning Disabilities* 2000, **33** : 44-60

JIMENEZ-GONZALEZ JE, RAMIREZ-SANTANA G. Identifying subtypes of reading disability in a transparent orthography. *The Spanish Journal of Psychology* 2002, **5** : 3-19

JOANISSE MF, MANIS FR, KEATING P, SEIDENBERG MS. Language deficits in dyslexic children: Speech perception, phonology, and morphology. *Journal of Experimental Child Psychology* 2000, **77** : 30-60

JORM AF, SHARE DL, MACLEAN R, MATTHEWS RG. Phonological recoding skill and learning to read: A longitudinal study. *Applied Psycholinguistics* 1984, **5** : 201-207

JORM AF, SHARE DL, MACLEAN R, MATTHEWS RC. Cognitive factors at school entry predictive of specific reading retardation and general reading backwardness: A research note. *Journal of Child Psychology and Psychiatry* 1986a, **27** : 5-54

JORM AF, SHARE DL, MATTHEWS R, MACLEAN R. Behaviour problems in specific reading retarded and general reading backward children: a longitudinal study. *J Child Psychol Psychiatry* 1986b, **27** : 33-43

KIRBY JR, PARRILA RK, PFEIFFER SL. Naming Speed and Phonological Awareness as Predictors of Reading Development. *Journal of Educational Psychology* 2003, **95** : 453-464

KRONBICHLER M, HUTZLER F, WIMMER H. Dyslexia: Verbal impairments in the absence of magnocellular impairments. *Neuroreport* 2002, **13** : 617-620

KUHL PK. Early language acquisition: Cracking the speech code. *Nature Reviews Neuroscience* 2004, **5** : 831-843

LANDERL K, WIMMER H, FRITH U. The impact of orthography consistency on dyslexia: A German-English comparison. *Cognition* 1997, **63** : 315-334

LASKY RE, SYRDAL-LASKY A, KLEIN RE. VOT discrimination by four to six and a half months old infants from Spanish environments. *Journal of Experimental Child Psychology* 1975, **20** : 215-225

LIBERMAN IY, MANN VA, WERFELMAN M. Children's memory for recurring linguistic and non-linguistic material in relation to reading ability, *Cortex* 1982, **18** : 367-375

LINDGREN SD, DE RENZI E, RICHMAN LC. Cross-national comparisons of developmental dyslexia in Italy and the United States. *Child Development* 1985, **56** : 1404-1417

LORENZI C, DUMONT A, FULLGRABE C. Use of temporal envelope cues by children with developmental dyslexia. *Journal of Speech Language and Hearing Research* 2000, **43** : 1367-1379

MANIS FR, KEATING P. Speech perception in dyslexic children with and without language impairments. *In* : The connections between language and reading disabilities. CATTS HW, KAMHI AG (eds). Erlbaum, Mahwah, NJ, 2004 : 77-99

MANIS FR, SEIDENBERG MS, DOI LM, MCBRIDE-CHANG C, PETERSON A. On the basis of two subtypes of developmental dyslexia. *Cognition* 1996, **58** : 157-195

MANIS FR, MCBRIDE-CHANG C, SEIDENBERG MS, KEATING P, DOI LM, et coll. Are speech perception deficits associated with developmental dyslexia? *Journal of Experimental Child Psychology* 1997, **66** : 211-235

MANN VA, LIBERMAN IY. Phonological awareness and verbal short term memory: Can they presage early reading problems? *Journal of Learning Disabilities* 1984, **17** : 592-599

MARSHALL CM, SNOWLING MJ, BAILEY PJ. Rapid auditory processing and phonological ability in normal readers and readers with dyslexia. *Journal of Speech Language and Hearing Research* 2001, **44** : 925-940

MCANALLY KI, STEIN JF. Auditory temporal coding in dyslexia. *Proceedins Royal Society London, B, Biological Sciences* 1996, **263** : 961-965

MCDOUGALL S, HULME C, ELLIS A, MONK A. Learning to read: The role of short term memory and phonological skills. *Journal of Experimental Child Psychology* 1994, **58** : 112-133

METSALA JL, STANOVICH KE, BROWN GDA. Regularity effects and the phonological deficit model of reading disabilities: A meta-analytic review. *Journal of Educational Psychology* 1998, **90** : 279-293

MODY M. Rapid auditory processing deficits in dyslexia: A commentary on two differing views. *Journal of Phonetics* 2003, **31** : 529-539

MODY M, STUDDERT-KENNEDY M, BRADY S. Speech perception deficits in poor readers: Auditory processing or phonological coding? *Journal of Experimental Child Psychology* 1997, **64** : 199-231

MORTON J. An information-processing account of reading acquisition. *In*: From reading to neurons. GALABURDA AM (ed). MIT, Press, Cambridge, Mass, Bradford Book, 1989 : 43-66

NITTROUER S. Do temporal processing deficits cause phonological processing problems? *Journal of Speech, Language, and Hearing Research* 1999, **42** : 925-942

PARRILA RK, KIRBY JR, MCQUARRIE L. Articulation rate, naming speed, verbal short-term memory and phonological awareness: Longitudinal predictors of early reading development? *Scientific Study of Reading* 2004, **8** : 3-26

PAULESU E, DÉMONET JF, FAZIO F, MCCRORY E, CHANOINE V, et coll. Dyslexia, Cultural diversity and Biological unity. *Science* 2001, **291** : 2165-2167

RACK J, SNOWLING MJ, OLSON RK. The nonword reading deficit in developmental dyslexia: A review. *Reading Research Quarterly* 1992, **27** : 29-53

RAMUS F. Developmental dyslexia: Specific phonological deficit or general sensorimotor dysfunction? *Current Opinion in Neurobiology* 2003, **13** : 212-218

RAMUS F, PIDGEON E, FRITH U. The relationship between motor control and phonology in dyslexics children. *Journal of Child Psycholgy and Psychiatry* 2003a, **44** : 712-722

RAMUS F, ROSEN S, DAKIN SC, DAY BL, CASTELLOTE JM, et coll. Theories of developmental dyslexia: Insights from a multiple case study of dyslexic adults. *Brain* 2003b, **126** : 841-865

REED MA. Speech perception and the discrimination of brief auditory cues in dyslexic children. *Journal of Experimental Child Psychology* 1989, **48** : 270-292

REY A, JACOBS AM, SCHMIDT-WEIGAND F, ZIEGLER JC. A phoneme effect in visual word recognition. *Cognition* 1998, **68** : B71-B80

ROSEN S. Auditory processing in dyslexia and specific language impairment: Is there a deficit? What is its nature? Does it explain anything? *Journal of Phonetics* 2003, **31** : 509-527

ROSEN S, MANGANARI E. Is there a relationship between speech and nonspeech auditory processing in children with dyslexia? *Journal of Speech Language and Hearing Research* 2001, **44** : 720-736

RUFF S, BOULANOUAR K, CARDEBAT D, CELSIS P, DÉMONET JF. Brain correlates of impaired categorical phonetic perception in adult dyslexics. *NeuroImage* 2001, **13** : S595

RUFF S, CARDEBAT D, MARIE N, DÉMONET JF. Enhanced response of the left frontal cortex to slowed down speech in dyslexia: An fMRI study. *Neuroreport* 2002, **13** : 1285-1289

SCARBOROUGH HS. Early identification of children at risk for reading disabilities. Phonological awareness and some other promising, predictors. *In*: Specific reading disability: A view of the spectrum. SHAPIRO BK, ACCRADO PJ, CAPUTE AJ (eds). York Press, New York, 1998a : 75-119

SCARBOROUGH HS. Predicting the future achievement of second graders with reading disabilities: Contributions of phonemic awareness, verbal memory, rapid naming, and IQ. *Annals of Dyslexia* 1998b, **48** : 115-136

SCHATSCHNEIDER C, CARLSON CD, FRANCIS DJ, FOORMAN BR, FLETCHER JM. Relationship of rapid automatized naming and phonological awareness in early reading development: Implications for the double-deficit hypothesis. *Journal of Learning Disabilities* 2002, **35** : 245-256

SCHATSCHNEIDER C, FLETCHER JM, FRANCIS DJ, CARLSON CD, FOORMAN BR. Kindergarten Prediction of Reading Skills: A Longitudinal Comparative Analysis. *Journal of Educational Psycholog* 2004, **96** : 265-282

SCHULTE-KÖRNE G, DEIMEL W, BARTLING J, REMSCHMIDT H. Auditory processing and dyslexia: Evidence for a specific speech processing deficit. *Neuroreport* 1998, **9** : 337-340

SCHULTE-KÖRNE G, DEIMEL W, BARTLING J, REMSCHMIDT H. The role of phonological awareness, speech perception, and auditory temporal processing for dyslexia. *Eur Child Adolesc Psychiatry* 1999, **8** : 28-34

SERNICLAES W. Étude expérimentale de la perception du trait de voisement des occlusives du français [Experimental study of the perception of the voicing feature in French stop consonants]. Unpublished Doctoral Dissertation. Université Libre de Bruxelles, 1987 http://www.vjf.cnrs.fr/umr8606/DocHtml/PAGEPERSO/WSerniclaes.htm

SERNICLAES W, SPRENGER-CHAROLLES L, CARRÉ R, DÉMONET JF. Perceptual discrimination of speech sounds in dyslexics. *Journal of Speech Language and Hearing Research* 2001, **44** : 384-399

SERNICLAES W, VAN HEGHE S, MOUSTY PH, CARRÉ R, SPRENGER-CHAROLLES L. Allophonic mode of speech perception in dyslexia. *Journal of Experimental Child Psychology* 2004, **87** : 336-361

SEYMOUR PHK. A cognitive analysis of dyslexia. Routledge and Kegan Paul, London, 1986

SHARE DL, JORM AF, MACLEAN R, MATTHEWS R. Temporal processing and reading disability. *Reading and Writing: An Interdisciplinary Journal* 2002, **15** : 151-178

SHAYWITZ SE, SHAYWITZ BA. Dyslexia (Specific Reading Disability). *Biological Psychiatry* 2005, **57** : 1301-1309

SLAGHUIS WL, RYAN JF. Spatio-temporal contrast sensitivity, coherent motion, and visible persistence in developmental dyslexia. *Vision Research* 1999, **39** : 651-668

SNOWLING MJ. Dyslexia. Blackwell, Oxford, 2000

SNOWLING MJ, STACKOUSE J, RACK J. Phonological dyslexia and dysgraphia: A developmental analysis. *Cognitive Neuropsychology* 1986, **3** : 309-339

SPRENGER-CHAROLLES L, COLÉ P. Lecture et Dyslexie: Approches cognitives (Reading and Dyslexia: Cognitive Approaches). Dunod, Paris, 2003

SPRENGER-CHAROLLES L, COLÉ P, LACERT P, SERNICLAES W. On Subtypes of Developmental Dyslexia: Evidence from Processing Time and Accuracy Scores. *Canadian Journal of Experimental Psychology* 2000, **54** : 88-104

SPRENGER-CHAROLLES L, COLÉ P, SERNICLAES W. Reading Acquisition and developmental dyslexia. Psychology Press, London, 2006

STANOVICH KE, SIEGEL LS, GOTTARDO A. Converging evidence for phonological and surface subtypes of reading disability. *Journal of Educational Psychology* 1997, **89** : 114-127

STUDDERT-KENNEDY M, MODY M. Auditory temporal perception deficits in the reading impaired: A critical review of the evidence. *Psychonomic Bulletin* 1995, **2** : 508-514

TALLAL P. Auditory temporal perception, phonics and reading disabilities in children. *Brain and Language* 1980, **9** : 182-198

TALLAL P, PIERCY M. Developmental aphasia: Impaired rate of nonverbal processing as a function of sensory modality. *Neuropsychologia* 1973, **11** : 389-398

TEMPLE CM, MARSHALL JC. A case study of developmental phonological dyslexia. *British Journal of Psychology* 1983, **74** : 517-533

VALDOIS S, BOSSE ML, ANS B, CARBONNEL S, ZORMAN M, et coll. Phonological and visual processing deficits can dissociate in developmental dyslexia: Evidence from two case studies. *Reading and Writing: An Interdisciplinary Journal* 2003, **16** : 541-572

VAN IJZENDOORN MH, BUS AG. Meta-analytic confirmation of the non-word reading deficit in developmental dyslexia. *Reading Research Quarterly* 1994, **29** : 266-275

VELLUTINO FR, FLETCHER JM, SNOWLING MJ, SCANLON DM. Specific reading disability (dyslexia): What we have learned in the past four decades? *Journal of Child Psychology and Psychiatry* 2004, **45** : 2-40

WAGNER RK, TORGESEN JK, RASHOTTE CA, HECHT SA, BARKER TA, et coll. Changing relations between phonological processing abilities and word-level reading as children develop from beginning to skilled readers: A five year longitudinal study. *Developmental Psychology* 1997, **33** : 468-479

WERKER JF, TEES RC. Cross-language speech perception: Evidence for perceptual reorganization during the first year of life. *Infant Behavior and Development* 1984a, **7** : 49-63

WERKER JF, TEES RC. Phonemic and phonetic factors in adult cross-language speech perception. *Journal of the Acoustical Society of America* 1984b, **75** : 1866-1878

WERKER JF, TEES RC. Speech perception in severely disabled and average reading children. *Canadian Journal of Psychology* 1987, **41** : 48-61

WHITE S, MILNE E, ROSEN S, HANSEN P, SWETTENHAM J, et coll. The role of sensorimotor impairments in dyslexia: A multiple case study of dyslexic children. *Developmental Science* (sous presse)

WIMMER H. Characteristics of developmental dyslexia in a regular writing system. *Applied Psycholinguistics* 1993, **14** : 1-33

WIMMER H. The nonword deficit in developmental dyslexia: Evidence from German children. *Journal of Experimental Child Psychology* 1995, **61** : 80-90

WIMMER H. The early manifestation of developmental dyslexia: Evidence from German children. *Reading and Writing: An Interdisciplinary Journal* 1996, **8** : 171-188

WIMMER H, MAYRINGER H, LANDERL K. Poor reading: A deficit od skill-automatization or a phonological deficit? *Scientific Studies of Reading* 1998, **2** : 321-340

WIMMER H, MAYRINGER H, RABERGER T. Reading and dual-task balancing: Evidence against the automatization deficit explanation of developmental dyslexia: Special Series : Prevention and Treatment of Dyslexia. *Journal-of-learning-disabilities* 1999, **32** : 473-478

WOLF M, BOWERS P. The question of naming speed deficits in developmental reading disabilities: An introduction to the double-deficit hypothesis. *Journal of Educational Psychology* 1999, **19** : 1-24

WOLF M, BOWERS PG, BIDDLE K. Naming-speed processes, timing, and reading: A conceptual review. *Journal of Learning Disabilities* 2000, **33** : 387-407

WOLF M, GOLDBERG O'ROURKE A, GIDNEY C, LOVETT M, CIRINO P, MORRIS R. The second deficit: An investigation of the independence of phonological and naming-speed deficits in developmental dyslexia. *Reading and Writing: An Interdisciplinary Journal* 2002, **15** : 43-72

WOODCOCK RW. Woodcock Reading Mastery Tests-Revised. American Guidance Service, Circle Pines, MN, 1987

ZABELL C, EVERATT J. Surface and phonological subtypes of adult developmental dyslexia. *Dyslexia* 2002, **8** : 160-177

ZIEGLER JC, PERRY C, MA-WYATT A, LADNER D, SCHULE-KÖRNE D. Developmental dyslexia in different languages: Language-specific or Universal? *Journal of Experimental Child Psychology* 2003, **86** : 169-193

15

Théorie visuelle

À la fin du XIXe siècle et au début du XXe siècle, les médecins confrontés à des cas sévères de troubles d'apprentissage de la lecture soupçonnent que des troubles visuels sont à l'origine des dyslexies développementales (Morgan, 1896 ; Hinshelwood, 1900 ; voir Critchley, 1974 pour un historique du sujet). Le terme de « cécité verbale congénitale » est alors utilisé pour rendre compte des difficultés majeures que rencontrent certains enfants dans l'apprentissage de la lecture, en dépit de capacités intellectuelles normales. Le tout premier cas fut décrit en 1896 par le Docteur Morgan dans un article paru dans le *British Medical Journal*. Il y décrivait le cas d'un jeune garçon de 14 ans normalement intelligent mais tout à fait incapable d'apprendre à lire. Morgan écrivait : « Le maître d'école qui l'a suivi pendant des années dit qu'il serait le garçon le plus intelligent de l'école si l'instruction était entièrement orale ». Plusieurs cas de cécité verbale congénitale furent décrits par la suite notamment dans la monographie proposée par Hinshelwood (1917). Commença ensuite « une phase d'analyse et de discussion avec un changement considérable d'orientation. Elle inaugura également une ère de doute, d'indécision et de confusion » (Critchley, 1974, p. 37).

Cette ère de « confusion » s'acheva avec les travaux de Vellutino (1979) qui contestent l'existence de troubles visuels chez les enfants dyslexiques et affirment l'origine phonologique des troubles dyslexiques. De très nombreuses recherches conduites au cours de ces 25 dernières années ont conforté cette dernière hypothèse (Sprenger-Charolles et Colé, 2003 ; Valdois et coll., 2004a ; Vellutino et coll., 2004). Il est ainsi aujourd'hui largement reconnu que la dyslexie résulte d'un trouble phonologique qui empêche l'acquisition des relations graphème-phonème indispensables à l'apprentissage de la lecture (Frith, 1997). Dans son ouvrage, Snowling (2000) affirme que : « La dyslexie est une forme spécifique de trouble du langage qui affecte la façon dont le cerveau encode les traits phonologiques des mots parlés. Le déficit central concerne le traitement phonologique et résulte de représentations phonologiques sous-spécifiées ». Bien qu'un nombre conséquent de recherches témoigne de l'importance incontestable des compétences phonologiques pour l'apprentissage de la lecture (Ehri, 2001 pour une revue) et qu'un trouble phonologique soit classiquement décrit dans le con-

texte de certaines dyslexies, il semble cependant excessif de réduire la diversité des troubles dyslexiques à cette seule dimension.

En fait, les recherches de plus en plus nombreuses qui évaluent les capacités de traitement visuel des enfants dyslexiques tendent à montrer que nombre d'entre eux présentent un déficit des traitements visuels indépendamment de toute atteinte sensorielle (ou périphérique). Il faut d'emblée remarquer que ces troubles visuels ne sont jamais mis en évidence sur la base d'épreuves cliniques classiques mais nécessitent le recours à des épreuves psycho-physiques informatisées. L'absence de troubles visuels indiquée par nombre d'auteurs l'était sur la base d'épreuves cliniques (orientation de lignes, mémoire visuelle, traitements visuo-spatiaux) vraisemblablement peu aptes à témoigner des difficultés de traitement visuel aujourd'hui décrites dans le contexte des troubles dyslexiques. Une assez grande diversité de troubles des traitements visuels ont été décrits chez les individus dyslexiques, la question cruciale étant bien sûr de savoir dans quelle mesure ces troubles sont reliés à l'activité de lecture et peuvent être tenus pour responsables des difficultés d'apprentissage de la lecture de ces enfants. Le lien de causalité est ici fondamental ; le trouble visuel ne doit en aucun cas pouvoir être interprété comme une simple conséquence du faible niveau de lecture de l'enfant et il devrait pouvoir être observé indépendamment de toute atteinte phonologique. La plupart des études menées jusqu'ici n'apportent pas les arguments nécessaires à l'établissement d'un lien de causalité. Mais nous n'en sommes encore qu'à entrevoir les types de déficits visuels potentiellement présents chez les dyslexiques et les recherches dans ce domaine devront être encouragées afin de circonscrire à la fois la diversité des traitements visuels déficitaires chez ces enfants et leur réel impact sur l'apprentissage de la lecture.

Hypothèse magnocellulaire

L'hypothèse qui a donné lieu au nombre le plus important de recherches dans le domaine visuel est l'hypothèse d'une atteinte du système visuel magnocellulaire. Des arguments comportementaux à l'appui de cette hypothèse ont été publiés dès les années 1980 (notamment Lovegrove et coll., 1986) mais c'est l'article de Livingstone et collaborateurs (1991) qui a véritablement initié nombre de recherches sur le sujet. Un cadre théorique a ensuite été proposé d'abord dans le domaine strictement visuel, puis l'hypothèse magnocellulaire a été étendue au domaine auditif (Stein, 2003 ; voir chapitre sur l'analyse critique des modèles explicatifs). Fortement critiquée (Skottun, 2000), l'hypothèse d'une atteinte visuelle magnocellulaire est aujourd'hui encore largement débattue. Par ailleurs, la notion de déficit magnocellulaire renvoie à une atteinte neurophysiologique qui engendrerait des déficits tant des traitements visuels de bas niveau que des traitements

phonologiques ; elle n'est donc pas nécessairement incompatible avec l'idée selon laquelle le trouble phonologique est directement responsable, au niveau cognitif, du trouble dyslexique.

Système visuel magnocellulaire

Dix pour cent des cellules ganglionnaires de la rétine sont sensiblement plus grosses que les autres, davantage myélinisées et pourvues d'axones permettant une transmission rapide de l'information ; ce sont les cellules magnocellulaires (Shapley et Perry, 1986). Ces cellules dont le champ récepteur est plus large que celui des cellules parvocellulaires répondent essentiellement aux stimuli de faible fréquence spatiale (0,5 cycle par degré *versus* 5 cycles par degré pour les cellules parvocellulaires) et de haute fréquence temporelle. Ce système est particulièrement impliqué dans le traitement des faibles contrastes permettant une analyse grossière des stimuli plutôt que l'analyse des détails fins d'un objet à des fins d'identification. Étant peu impliqué dans la perception des couleurs et l'analyse des détails (Merrigan et Maunsell, 1993), le système magnocellulaire n'est pas responsable de l'acuité visuelle telle que mesurée par les tests visuels standard. Une autre caractéristique importante du système visuel magnocellulaire est sa capacité à traiter le mouvement et les changements rapides ; les cellules magnocellulaires répondent ainsi à tout nouvel événement apparaissant dans le champ visuel, qu'il s'agisse de flashs lumineux ou d'une cible en mouvement. Elles communiquent très rapidement toute information de mouvement au cortex visuel via les couches magnocellulaires du corps genouillé latéral (CGL), du thalamus et au colliculus supérieur pour le contrôle réflexe des mouvements oculaires. Les cellules magnocellulaires projettent ensuite essentiellement au niveau du système dorsal, du cortex visuel primaire (V1) vers l'aire médio-temporale du mouvement (MT ou V5) et de là, vers les régions attentionnelles et de contrôle des mouvements des yeux dans le cortex pariétal postérieur pour ensuite gagner les régions visuelles frontales (*frontal eye fields*) et le cervelet (Lovegrove et coll., 1986 ; Stein et Talcott, 1999 ; Stein, 2003). Essentiellement impliqué dans le traitement des formes grossières, des informations périphériques, des stimuli brefs et en mouvement, le système magnocellulaire semble a priori peu adapté à l'activité de lecture qui requiert au contraire d'analyser en détail une information stable présentée en vision centrale.

Trouble visuel magnocellulaire et dyslexies développementales

Dans leur étude, Livingstone et coll. (1991) apportent des données comportementales et histologiques suggérant une atteinte du système visuel magnocellulaire dans le contexte des dyslexies développementales. Les auteurs présentent les performances de 6 participants dyslexiques et 4 sujets témoins appariés dont les potentiels évoqués visuels ont été enregistrés pendant la

présentation passive de matrices de rectangles de contrastes différents. Les participants étaient exposés soit à des matrices alternant des rectangles blancs et noirs (fort contraste) soit à des matrices alternant des rectangles gris clair et gris foncé (faible contraste). L'enregistrement des potentiels évoqués montre, chez les dyslexiques, un tracé EEG similaire à celui des témoins pour les stimuli à fort contraste. En revanche, la réponse électrophysiologique est indifférenciée pour les stimuli à faible contraste contrairement aux témoins qui présentent des potentiels en phase avec le stimulus. Les auteurs concluent à l'atteinte du système visuel spécifiquement impliqué dans le traitement des faibles contrastes, à savoir le système visuel magnocellulaire.

Pour confirmer cette hypothèse, les auteurs présentent des données histologiques recueillies post-mortem sur le cerveau de cinq personnes préalablement identifiées dyslexiques (mais dont certaines présentaient d'autres troubles associés, notamment dysphasiques). Cette seconde étude montre notamment que les cellules du système magnocellulaire au niveau du corps genouillé latéral ont des corps cellulaires de taille réduite (27 % plus petits) chez les dyslexiques comparativement aux cerveaux de personnes non dyslexiques. En revanche, les deux populations ne se différenciaient pas au niveau du système visuel parvocellulaire. Bien qu'elle souffre d'un certain nombre de limites méthodologiques (très petit nombre d'observations, données comportementales et neuro-anatomiques recueillies sur des populations distinctes, non-spécificité des troubles pour l'étude post-mortem), cette étude va stimuler nombre de recherches tentant de démontrer sur de plus larges échantillons l'atteinte du système visuel magnocellulaire dans le contexte des dyslexies.

Un grand nombre de données comportementales ont été depuis publiées et plaident en faveur d'une atteinte du système visuel magnocellulaire chez les personnes (adultes ou enfants) présentant une dyslexie développementale (Stein et Walsh, 1997). Il a ainsi été montré que les dyslexiques présentent une moindre sensibilité aux faibles fréquences spatiales et aux hautes fréquences temporelles (Lovegrove et coll., 1986) ainsi qu'une sensibilité réduite aux points en mouvement (Cornelissen et coll., 1995 ; Eden et coll., 1996). La tâche de détection de mouvement la plus fréquemment utilisée est la tâche RDK (*Random Dot Kinematograms*) qui consiste à présenter un ensemble de points agités de mouvements aléatoires. Au cours de l'expérience, un sous-ensemble de ces points adopte un mouvement cohérent et on mesure le seuil de détection des participants (correspondant à la proportion minimale de points donnant lieu à la détection du mouvement). Ainsi, Eden et coll. (1996) montrent que les dyslexiques sont moins performants que les normolecteurs pour détecter le mouvement d'un ensemble de points. Leur étude comportementale est assortie d'une étude sous IRMf où des participants dyslexiques et normolecteurs sont confrontés à une tâche de vision passive de points en mouvement ou de points immobiles. La perception de points en mouvement entraîne une forte activation de l'aire V5

(encore appelée aire MT ou aire du mouvement) chez les sujets témoins, alors qu'aucune activation de cette aire n'est observée chez les sujets dyslexiques suggérant une atteinte du système visuel magnocellulaire. D'autres études ont mis en évidence une moindre discrimination de la différence de vitesse entre deux cibles en mouvement (Demb et coll., 1998) et une atypie du contrôle oculomoteur (Pavlidis, 1981), également compatibles avec l'hypothèse magnocellulaire. Plusieurs études suggèrent en outre une relation entre les performances des participants sur les épreuves magnocellulaires et leur performance en lecture. Il a ainsi été montré que les seuils de détection de mouvement prédisaient 25% de la variance de performance en lecture (Talcott et coll., 1998 et 2000 ; Witton et coll., 1998). En outre, les performances sur les épreuves magnocellulaires seraient plus spécifiquement reliées à la lecture des mots, notamment irréguliers et ce, indépendamment de toute corrélation avec les aptitudes phonologiques (Talcott et coll., 2000 ; Huslander et coll., 2004).

Malgré son succès et son intérêt indéniable, l'hypothèse magnocellulaire est aujourd'hui controversée. Skottun (2000) affirme que si l'hypothèse d'un trouble visuel magnocellulaire est compatible avec un certain nombre de données comportementales relatives à la sensibilité aux contrastes à basse fréquence spatiale ou haute fréquence temporelle, les articles qui sont beaucoup plus nombreux sont ceux qui démontrent l'absence de tels problèmes de sensibilité ou la présence d'un trouble de la sensibilité aux contrastes dans des zones de fréquence qui ne dépendent pas du système magnocellulaire. Plus précisément, sur les 22 études passées en revue dans cette synthèse, seuls les résultats de 4 études sont conformes aux attentes, dans 11 cas, ils sont contradictoires avec la théorie magnocellulaire, les 7 autres études ne permettant pas de conclure vu qu'aucune perte de sensibilité, quelle que soit la gamme de fréquence évaluée, n'est relevée chez les dyslexiques.

Hypothèse d'un trouble magnocellulaire amodal

L'hypothèse d'une atteinte spécifique du système visuel magnocellulaire a, en outre, peu à peu évolué pour tendre vers l'hypothèse d'un trouble amodal des systèmes magnocellulaires auditifs et visuels. En effet, les études mentionnant des résultats à l'appui de l'hypothèse d'une atteinte du système visuel magnocellulaire avaient tendance à conclure qu'une majorité d'enfants dyslexiques (entre 70 % et 80 %) présentaient un tel trouble (Slaghuis et coll., 1993 ; Stein et coll., 2000a). Sachant qu'il était par ailleurs également établi qu'une majorité d'enfants dyslexiques présentaient un trouble phonologique, il s'ensuivait nécessairement qu'une forte proportion de ces enfants présentait vraisemblablement des difficultés à la fois phonologiques et visuelles.

L'hypothèse de co-occurrence de troubles phonologiques et de troubles visuels magnocellulaires a été confortée par les études portant sur des

populations pré-sélectionnées d'enfants dyslexiques. Borsting et coll. (1996) montrent dans leur étude que les difficultés de traitement des basses fréquences spatiales et des hautes fréquences temporelles ne se manifestent que chez les participants dyslexiques qui présentent un trouble phonologique associé (voir également les résultats de Cestnik et Coltheart, 1999, sur l'épreuve de Ternus). Cette étude, comme celle de Spinelli et collaborateurs (1997), conclut à l'absence de trouble de la sensibilité aux contrastes chez les dyslexiques sans trouble phonologique. Les troubles visuels magnocellulaires ne pourraient donc s'observer que chez les enfants dyslexiques présentant un trouble phonologique associé.

Ceci a conduit John Stein à faire l'hypothèse d'un déficit magnocellulaire amodal touchant tant la sphère auditive que visuelle (Stein et Talcott, 1999 ; Stein, 2003). Il y défend l'idée, proche de celle développée par Tallal (1980 et 1993 ; voir également Hari et Renvall, 2001) quelques années plus tôt au niveau comportemental, selon laquelle les enfants dyslexiques auraient du mal à traiter les informations temporelles rapides visuelles et auditives suite à l'atteinte conjointe des systèmes magnocellulaires visuels et auditifs. Afin de conforter cette hypothèse, Witton et collaborateurs (1998) ont soumis 21 jeunes adultes présentant une dyslexie développementale et 23 témoins appariés à des tâches visuelles et auditives. La tâche auditive consistait à détecter un changement de modulation de fréquence à 2 Hz, 40 Hz et 240 Hz. La détection dépendant des caractéristiques temporelles du stimulus à 2 Hz et 40 Hz et de ses caractéristiques spectrales à 240 Hz, les auteurs s'attendaient à observer une dissociation des performances selon la vitesse de modulation de fréquence. Les participants étaient également soumis à une épreuve visuelle où ils étaient exposés à un ensemble de points agités de mouvements aléatoires (épreuve RDK). Ils devaient détecter la présence d'un mouvement cohérent d'un ensemble de points vers la droite ou vers la gauche. La proportion de points adoptant un mouvement cohérent variait de façon à estimer le seuil (la plus petite proportion de points) à partir duquel le mouvement était perçu. Les résultats de cette étude ont montré des seuils de détection de modulation de fréquence significativement plus élevés chez les dyslexiques que chez les témoins à 2 Hz et 40 HZ, mais aucune différence de traitement à 240 Hz. De la même façon, sur le plan visuel, une proportion plus importante de points devait adopter un mouvement cohérent pour que celui-ci soit détecté par les dyslexiques comparativement aux participants non dyslexiques. Les seuils de détection auditifs et visuels étaient significativement corrélés entre eux et reliés aux performances des sujets en lecture de pseudo-mots. Les auteurs ont conclu à une atteinte du système visuel magnocellulaire et à un déficit de traitement des informations temporelles auditives similaire à ce qui était observé au niveau visuel. Force est cependant de constater qu'existe une forte variabilité de performance chez les sujets dyslexiques de cette étude dont seul un petit nombre présente un déficit marqué de détection des seuils tant en visuel qu'en auditif.

Les résultats d'études neuroanatomiques ont également conforté l'hypothèse magnocellulaire amodale : l'équipe de Galaburda qui avait précédemment montré des différences structurelles au niveau du corps genouillé latéral du thalamus chez les sujets dyslexiques (à l'appui de l'hypothèse d'une atteinte visuelle magnocellulaire) a également mis en évidence des anomalies structurelles des cellules magnocellulaires du corps genouillé médian, dédiées cette fois-ci au traitement des informations auditives (Galaburda et coll., 1994). Les cellules atteintes seraient spécialisées dans la détection des changements rapides de fréquence et d'amplitude nécessaires pour identifier les indices acoustiques caractéristiques des sons de la parole.

Devant la polémique croissante quant à la prévalence des troubles magnocellulaires chez les personnes dyslexiques et à la relation privilégiée entre trouble visuel de bas niveau et déficit phonologique, Ramus et coll. (2003) ont proposé pour la première fois de tester chacune des hypothèses explicatives des troubles dyslexiques – la théorie phonologique (Frith, 1995 ; Snowling, 2000), la théorie perceptive auditive (Tallal, 1980), la théorie cérébelleuse (Fawcett et coll., 1996 ; Nicolson et coll., 2001) et la théorie magnocellulaire (Stein et Walsh, 1997) – auprès des mêmes individus. Leur étude a porté sur 16 étudiants dyslexiques et 16 témoins appariés qui ont été soumis à une batterie très complète d'épreuves nécessitant une dizaine d'heures de passation par personne. Les conclusions de cette étude sont que l'ensemble des dyslexiques évalués présente un trouble phonologique se caractérisant soit par des troubles métaphonologiques, soit par des capacités limitées de mémoire à court terme, soit par un trouble de la dénomination rapide (ou une combinaison de plusieurs de ces troubles). Seul un petit nombre des 16 sujets dyslexiques testés (deux d'entre eux seulement) présentent un trouble associé du système visuel magnocellulaire. Elle montre par ailleurs que le trouble phonologique est assez souvent associé à des difficultés de traitement des indices acoustiques des sons de la parole (chez 10 des 16 participants) et beaucoup plus rarement à des problèmes cérébelleux (chez 4 participants seulement). Cette étude suggère donc contrairement, à l'hypothèse magnocellulaire amodale, que seule une faible proportion de dyslexiques porteurs de trouble phonologique présente à la fois des difficultés de traitement des sons de parole et des difficultés de traitement visuel magnocellulaire. Certains auteurs contestent par ailleurs l'origine magnocellulaire du trouble, même lorsque déficits phonologiques et visuels sont simultanément objectivés chez les dyslexiques (Amitay et coll., 2002).

Limites et controverses

Si de nombreuses études témoignent de l'existence de particularités des traitements visuels chez certaines personnes dyslexiques, il est clair que ces particularités ne concernent pas la fonction visuelle dans son ensemble. Les dyslexiques ne présentent pas de troubles de la perception visuelle et ont

des performances dans la norme des témoins sur les épreuves relevant du système visuel parvocellulaire : discrimination, traitement des couleurs (Sperling et coll., 2003), traitement de configurations statiques (Wilmer et coll., 2004). Les études en relation avec l'hypothèse magnocellulaire montrent une assez forte hétérogénéité de la population dyslexique : seuls certains enfants présentent un déficit sur les épreuves psycho-physiques censées évaluer l'efficacité du système magnocellulaire. L'hétérogénéité existerait au sein même de la population présentant un trouble magnocellulaire : certains dyslexiques présentant un déficit sur certaines dimensions qui relèvent du système magnocellulaire et pas sur d'autres. Wilmer et coll. (2004) montrent ainsi qu'un sous-groupe d'adultes dyslexiques présente un déficit de détection des mouvements cohérents (épreuve RDK) sans trouble de discrimination de vitesse alors que d'autres présentent le profil inverse.

Les questions majeures en recherche sont de savoir :
- si les déficits des traitements visuels objectivés témoignent ou non d'une atteinte spécifique du système magnocellulaire ;
- si ces déficits entretiennent un lien direct avec l'activité de lecture ;
- si le lien est de nature causale, le trouble magnocellulaire étant à l'origine des difficultés d'apprentissage de la lecture des enfants dyslexiques. Les données actuelles ne permettent pas de répondre à ces questions de façon catégorique.

La capacité des épreuves utilisées pour objectiver un trouble spécifiquement magnocellulaire a été largement contestée (par exemple Skottun, 2000) mais certaines études fiables témoignent d'un tel déficit dans le contexte des dyslexies.

L'existence d'un lien avec l'activité de lecture est suggérée par de nombreuses études, mais même lorsque ce lien est objectivé les corrélations entre fonctionnement magnocellulaire et performances de lecture ne sont pas très élevées et la part de variance en lecture expliquée par les performances magnocellulaires reste modeste (Stein, 2003). Les études, menées auprès de normolecteurs qui proposent de manipuler les paramètres auxquels les systèmes magno- et parvocellulaires sont sensibles (Chase et coll., 2003 ; Omtzigt et Hendriks, 2004), sont particulièrement intéressantes et devraient être encouragées.

Enfin, la nature causale de cette relation est fortement contestée : la co-occurrence de troubles visuels et phonologiques chez les mêmes enfants et le lien causal largement établi entre troubles phonologiques et dyslexie, est compatible avec l'hypothèse d'une relation causale entre déficit magnocellulaire amodal et dyslexie mais conduit à considérer les troubles visuels magnocellulaires comme un épiphénomène sans lien direct avec l'activité de lecture (Frith, 1997). L'hypothèse d'une relation causale signifierait que des troubles dyslexiques peuvent exister dans le contexte d'une atteinte du système visuel magnocellulaire indépendamment de toute atteinte phono-

logique, ce qui est contredit par les données actuelles : les enfants sans trouble phonologique ne semblent pas présenter d'atteinte du système visuel magnocellulaire.

Nous ne disposons pas davantage de cadre théorique permettant d'établir un lien direct de cause à effet entre déficit magnocellulaire et trouble d'apprentissage de la lecture. Comme nous l'avons dit précédemment, la lecture semble a priori nécessiter des traitements classiquement attribués au système visuel parvocellulaire (traitement des informations statiques en vision centrale, des détails fins) et au moins une étude de cas de dyslexie a été proposée à l'appui de l'hypothèse d'un trouble parvocellulaire (McCloskey et Rapp, 2000). Une première hypothèse formulée par Breitmeyer (1980) supposait que le système magnocellulaire inhibait le système parvocellulaire pendant la durée des saccades de façon à « effacer » les informations traitées par ce système lors de la précédente fixation et éviter toute superposition avec les informations extraites à la fixation suivante. Un déficit magnocellulaire reviendrait alors à affecter l'efficacité du système parvocellulaire. Des données ultérieures (Burr et coll., 1994) ont montré que contrairement à l'hypothèse de Breitmeyer, c'est le système magnocellulaire qui est inhibé pendant les saccades.

D'autres auteurs ont fait l'hypothèse qu'un déficit magnocellulaire entraînant un trouble des mouvements oculaires pourrait être responsable des difficultés d'apprentissage de la lecture des enfants dyslexiques. Cette hypothèse est compatible avec un certain nombre de recherches qui témoignent de l'existence de particularités oculo-motrices chez les dyslexiques. Cependant, les données actuelles suggèrent que le trouble oculo-moteur des dyslexiques est la conséquence plutôt que la cause de leurs difficultés de lecture. D'une part, le pattern oculo-moteur des dyslexiques est similaire à celui d'enfants plus jeunes de même niveau de lecture (Olson et coll., 1991 ; Hyona et Olson, 1995). D'autre part, les particularités observées en situation de lecture disparaissent lorsque la tâche n'implique pas de lire. Ainsi, Hutzler et coll. (2006) montrent un pattern oculo-moteur très atypique en situation de lecture de séquences de pseudo-mots (« drev », « barn »), pattern qui se normalise lorsqu'on demande simplement aux dyslexiques de repérer les séquences de deux lettres identiques dans une situation de non-lecture en tout point similaire (« drrv », « bdrn »). Cette dernière étude démontre de façon convaincante l'absence de trouble oculo-moteur chez les dyslexiques mais une atypie de ces mouvements en situation de lecture.

La dernière hypothèse susceptible d'expliquer le lien entre trouble magnocellulaire et difficultés de lecture repose sur le fait que le système magnocellulaire intervient dans le guidage de l'attention visuelle qui serait elle-même impliquée dans l'activité de lecture. Cette dernière hypothèse est confortée par des données obtenues auprès de normolecteurs (Omtzigt et coll., 2004) et sera rediscutée dans la section suivante sur les troubles visuo-attentionnels.

Implications cliniques

Les recherches mentionnées précédemment ont au moins l'intérêt de ramener l'attention des chercheurs et cliniciens sur la dimension visuelle de la lecture. Tout le monde s'accorde pour dire que le diagnostic de dyslexie ne peut être posé qu'après avoir vérifié l'absence de trouble de la perception visuelle : un examen ophtalmologique s'impose donc de façon à estimer l'acuité de l'enfant et éliminer tout problème de type hypermétropie, myopie ou astigmatisme. Il convient également d'interroger l'enfant quant aux sensations éprouvées lors de la lecture. Stein et Fowler (1980), Stein et Walsh (1997) mentionnent le cas d'enfants dyslexiques qui ont l'impression que les lettres bougent et se chevauchent pendant la lecture. Ceci traduirait une instabilité du contrôle binoculaire. Tout témoignage de ce type ainsi qu'un certain nombre de signes d'alerte (erreurs visuelles, difficultés à suivre les lignes, problème de sauts de lignes) doivent conduire à demander des examens complémentaires (examen orthoptique et évaluation des capacités de convergence de l'enfant). L'examen clinique doit également s'assurer de l'absence de troubles oculo-moteurs (type nystagmus ou exophorie par exemple).

Stein et coll. (2000b) affirment que le port de verres jaunes sur une durée limitée (environ 9 mois) permet à une majorité d'enfants de retrouver une fixation binoculaire stable et d'améliorer leur niveau de lecture de façon durable (à noter cependant que certains enfants sont davantage réceptifs à d'autres couleurs de filtres). Ils préconisent même chez les plus jeunes (enfants de moins de 10 ans) l'occlusion temporaire d'un œil. Leur étude menée auprès de 143 enfants dyslexiques avec instabilité du contrôle binoculaire montre que le sous-groupe avec occlusion d'un œil (en l'occurrence le gauche) et port d'un verre jaune stabilise plus vite ses fixations (en 3 mois) et s'améliore davantage en lecture que le groupe uniquement porteur de verres jaunes. Ces propositions de prise en charge ne font cependant l'unanimité ni parmi les chercheurs ni parmi les cliniciens spécialistes de la vision. Plusieurs autres études préconisent le recours à des verres chromatiques ou à l'utilisation de transparents de couleurs comme aide à la lecture (Irlen, 1991) mais seulement 1/3 des enfants dyslexiques seraient améliorés par le port de verres jaunes (couleur qui stimule le plus le système magnocellulaire). De l'avis même des partisans de l'utilisation de filtres chromatiques, les variations individuelles sont relativement importantes si bien que le choix de la couleur la plus appropriée doit être adapté à chaque cas (Wilkins, 2002). Force est également de signaler que ces « traitements » manquent encore de validations solides et de cadre théorique explicatif convaincant (voir cependant Stein, 2003 ; Vidyasagar, 2005).

Nous ne disposons pas aujourd'hui d'outil clinique permettant de diagnostiquer un dysfonctionnement magnocellulaire chez les enfants dyslexiques. Les recherches devront être poursuivies afin de déterminer quelles sont les

épreuves les plus sensibles à la mise en évidence de tels dysfonctionnements. Il faudra de plus probablement faire appel à plusieurs épreuves, si comme le suggère l'étude de Wilmer et collaborateurs (2004) la fonction magnocellulaire doit se concevoir comme un ensemble de sous-systèmes susceptibles d'être sélectivement perturbés. Stein (2003) entretient l'espoir de mettre au point des épreuves relativement simples, utilisables chez de très jeunes enfants (pré-lecteurs ou débutants lecteurs) dans une optique préventive. C'est sans doute l'objectif que doit se fixer toute recherche théorique, mais cela suppose préalablement de mieux cerner la nature du système magnocellulaire et son rôle dans l'activité de lecture.

L'hypothèse selon laquelle un apport en acides gras essentiels (présents dans l'huile de foie de morue par exemple, Oméga 3 ou 6) pourrait stimuler le fonctionnement du système magnocellulaire et donc améliorer les performances en lecture des enfants qui en bénéficient a également été évaluée. Les études effectuées jusqu'ici ne semblent cependant pas démontrer un effet sur la lecture de l'apport en acides gras (Richardson et Puri, 2002).

Nous allons à présent aborder d'autres recherches qui tendent à montrer l'existence de troubles de l'attention visuelle chez les enfants dyslexiques. Parce qu'il est plus récent, ce domaine d'étude est moins riche et moins structuré que le précédent. Nous verrons cependant qu'il n'est pas sans entretenir de liens avec l'hypothèse magnocellulaire : d'une part, les troubles d'attention visuelle objectivés au niveau comportemental peuvent aisément se concevoir comme reflétant une atteinte du système magnocellulaire dont le rôle dans le guidage de l'attention visuelle est largement reconnu ; d'autre part, les études reliées à l'hypothèse magnocellulaire mettent de plus en plus l'emphase sur un potentiel rôle de ce système en lecture via son contrôle de l'attention visuelle.

Troubles de l'attention visuelle

Les recherches menées jusqu'ici témoignent de façon consensuelle de l'absence de trouble attentionnel au sens large (problème de vigilance, hyperactivité ou impulsivité) dans le cadre des dyslexies développementales (Bednarek et coll., 2004 ; Thomson et coll., 2005). Certaines études ont conclu à un lien entre inattention et dyslexies développementales (Willcutt et Pennington, 2000 ; Thomson et coll., 2005). Cependant, l'hypothèse d'inattention n'est pas compatible avec d'autres données (Bednarek et coll., 2004) qui orientent plutôt vers un trouble attentionnel très spécifique.

L'hypothèse d'un déficit de l'attention visuelle associé voire responsable des troubles dyslexiques n'a d'abord été formulée que très sporadiquement à travers des études de cas et quelques rares études de groupe. Cette hypothèse a ensuite été plus largement étudiée par le biais de deux paradigmes

expérimentaux essentiellement : les épreuves de recherche d'une cible parmi des distracteurs et les épreuves de détection de cible avec ou sans indiçage, inspirées du paradigme de Posner. Les recherches défendant l'hypothèse d'un déficit de l'attention perceptive se heurtent à l'heure actuelle aux mêmes limites que les recherches reliées à l'hypothèse magnocellulaire à savoir :

- cerner la nature exacte du déficit attentionnel ;
- disposer d'un cadre théorique permettant d'expliquer en quoi un tel déficit est propre à affecter spécifiquement l'apprentissage de la lecture.

Des résultats très récents ouvrent cependant de nouvelles perspectives, en suggérant que les troubles visuo-attentionnels pourraient jouer un rôle important et spécifique dans l'apprentissage de la lecture.

Études préliminaires

Les premières études ayant conclu à un déficit d'attention visuelle dans la population dyslexique se sont fondées sur des résultats ponctuels relativement hétérogènes qui ne permettaient pas d'envisager un cadre théorique explicatif cohérent. Dans leur étude, Geiger et coll. (1992) ont présenté sur écran, à de jeunes adultes dyslexiques et normolecteurs, une lettre centrale alors qu'une seconde lettre apparaissait simultanément et aléatoirement à droite ou à gauche de la lettre centrale à des degrés d'excentricité variables. La tâche consistait pour les participants à dénommer les deux lettres simultanément présentées en gardant le regard fixé au centre de l'écran. Cette épreuve a été proposée à des dyslexiques anglophones d'une part et à des dyslexiques lisant l'hébreu (sens de lecture droite /gauche) d'autre part. Elle a conduit à mettre en évidence un profil dissymétrique, contrairement aux témoins dont les performances étaient parfaitement symétriques pour les champs visuels droit et gauche (voir Lorusso et coll., 2005 pour des résultats similaires). Les dyslexiques présentaient un profil atypique lié au sens de la lecture : leurs capacités d'identification étaient légèrement abaissées pour les lettres les moins excentrées, mais nettement supérieures à celles des témoins pour les lettres les plus excentrées, à droite pour les anglophones, à gauche pour les lecteurs pratiquant l'hébreu. Ces résultats ont été interprétés comme témoignant d'un déficit d'inhibition des informations visuelles périphériques, lié au sens de lecture, chez les personnes dyslexiques. Une conclusion voisine a été proposée par Rayner et coll. (1989) suite à l'étude d'un cas de dyslexie développementale. Ces auteurs ont utilisé le « paradigme de fenêtre mobile » qui permet de manipuler en temps réel la quantité de texte lisible (correspondant à la taille de la fenêtre) et la nature de l'information environnante (en l'occurrence, une série de « xxxx » ou des lettres aléatoires). Ils ont montré que leur sujet dyslexique adulte (SJ) était capable de lire à une vitesse maximale, comparable à la meilleure performance des témoins experts, lorsque la fenêtre délimitant

la quantité d'information lisible était de petite taille (7 à 15 caractères) et lorsque l'information environnante était linguistiquement non pertinente (série de « xxx »). Contrairement aux témoins, pour lesquels la vitesse de lecture augmentait quasi-linéairement avec la quantité de texte disponible sans considération de la nature des informations environnantes, ses performances chutaient considérablement pour les fenêtres de plus grande taille et étaient globalement faibles dans la condition « lettres aléatoires ». La meilleure performance de SJ s'observait donc dans la situation où les informations périphériques littérales étaient éliminées ce qui suggérait un défaut d'inhibition de ces informations en situation classique de lecture. Les auteurs conclurent à un déficit du filtrage attentionnel des informations périphériques, déficit qui pourrait être lié à un défaut de focalisation attentionnelle autour du point de fixation. Les deux études mentionnées précédemment ne donnaient malheureusement aucune information sur la performance de lecture des sujets dyslexiques participants de sorte qu'il n'était pas possible de relier le trouble attentionnel apparemment spécifique de ces sujets à un profil de lecture particulier. Le cas décrit par Valdois et collaborateurs (1995) apporte des éléments de réponse à cette question en montrant l'existence d'un biais attentionnel droit atypique chez une enfant de dix ans dont la performance en lecture était par ailleurs caractérisée par une grande lenteur et la présence quasi exclusive d'erreurs visuelles (forme développementale analogue aux dyslexies visuelles décrites chez l'adulte).

Les recherches relatives à l'effet de position du regard sur l'identification des mots pourraient également conduire à faire l'hypothèse d'un trouble de l'attention visuelle chez les faibles lecteurs. Ces recherches ont montré que la probabilité d'identifier un mot était maximale chez les adultes et les enfants, (y compris les lecteurs débutants : Ducrot et coll., 2003), lorsque la fixation du regard porte sur les lettres situées à gauche du centre du mot. Cette probabilité diminue ensuite au fur et à mesure que le regard s'écarte de cette position optimale, avec une chute de performance plus marquée à droite qu'à gauche. Aghababian et Nazir (2000) ont montré des anomalies de l'effet de position du regard dans le cadre de troubles acquis de la lecture et l'existence chez les enfants faibles lecteurs d'une courbe atypique en V inversé témoignant d'une chute brutale des capacités d'identification dès que le regard n'est plus situé au centre du mot. Ce profil pourrait correspondre à une réduction des capacités attentionnelles autour du point de fixation (Nazir et Aghababian, 2004). Cependant, Ducrot et collaborateurs (2003) n'ont pas retrouvé cette courbe en V chez les enfants dyslexiques mais une performance très atypique, symétrique et anormalement faible sur toutes les positions. Les difficultés d'identification de mots pointées chez ces enfants pourraient en fait davantage refléter l'absence de connaissances orthographiques mémorisées que révéler un déficit visuo-attentionnel spécifique à l'origine de leurs difficultés d'apprentissage de la lecture.

Trouble sélectif en recherche de cible parmi des distracteurs

L'hypothèse d'un trouble de l'attention visuelle a été essentiellement confortée par nombre d'études utilisant le paradigme de recherche d'une cible parmi des distracteurs. Dans ce type de tâche, les participants sont confrontés à deux conditions expérimentales, une condition automatique et une condition attentionnelle. Dans la condition automatique, la cible se distingue des distracteurs par un attribut spécifique : un trait visuel (chercher une lettre Q parmi des O) ou une couleur (chercher une barre rouge parmi des barres bleues). Dans cette condition, la cible « saute aux yeux » (phénomène de *pop-out*) lors de sa présentation à l'écran et entraîne des temps de réponse rapides qui ne varient pas en fonction du nombre de distracteurs. Au contraire, en condition attentionnelle, la cible ne se distingue des distracteurs par aucun trait spécifique (chercher un O parmi des Q, ou chercher une ligne verticale rouge parmi des lignes horizontales rouges et des verticales bleues). Elle ne saute pas aux yeux et doit faire l'objet d'un traitement sériel attentionnel si bien que les temps de réponse augmentent avec le nombre de distracteurs. L'ensemble des recherches utilisant ce paradigme expérimental ont montré que les enfants dyslexiques présentaient des difficultés spécifiques à la condition attentionnelle où les performances se caractérisent par des temps de recherche par item anormalement longs (Marendaz et coll., 1996 ; Vidyasagar et Pammer, 1999 ; Iles et coll., 2000 ; Buchholtz et McKone, 2004). En condition automatique, la tâche de recherche de cible mobilise peu de ressources attentionnelles alors que des capacités de focalisation sont mobilisées en condition attentionnelle pour le traitement simultané d'un sous-ensemble d'éléments ainsi que des capacités de désengagement et de déplacement attentionnel pour le traitement successif de plusieurs sous-ensembles. Les difficultés rencontrées par les dyslexiques pourraient donc refléter soit un problème de focalisation attentionnelle, soit une difficulté à désengager l'attention, ou encore une réduction du nombre d'éléments pouvant être traités simultanément lors de la phase de focalisation.

Hypothèse visuo-attentionnelle

Plus récemment, l'hypothèse d'une atteinte des traitements visuo-attentionnels a été explorée chez les enfants dyslexiques à partir de tâches variées. Tout un ensemble de données expérimentales plaident en faveur d'un déficit d'orientation automatique de l'attention chez les dyslexiques. Un phénomène de mini-négligence gauche a été décrit dans le cadre de plusieurs recherches (Facoetti et Molteni, 2001 ; Hari et coll., 2001 ; voir également le cas de dyslexie développementale par négligence décrit par Friedmann et Nachman-Katz, 2004). Ainsi, l'étude des temps de réaction à la présentation de cibles simples (une croix ou un point) apparaissant dans l'hémichamp

droit ou gauche montre des temps de réaction beaucoup plus longs à gauche qu'à droite chez les dyslexiques (Facoetti et Molteni, 2001). Hari et collaborateurs (Hari et Renvall, 2001, pour revue) concluent également à une mini-négligence gauche sur la base d'épreuves de jugement d'ordre temporel consistant à dire laquelle de deux barres présentées à droite et à gauche du point de fixation est apparue la première ou d'épreuves d'illusion d'accroissement de lignes vers la droite ou vers la gauche. Dans les deux types d'épreuves, les dyslexiques présentent contrairement aux témoins un biais de réponse droit, suggérant une difficulté d'orientation de l'attention vers la gauche. Sireteanu et coll. (2005) arrivent à la même conclusion sur la base d'une épreuve très différente, inspirée des tâches de bissection de lignes classiquement utilisées dans le contexte des dyslexies périphériques acquises. Des lignes horizontales composées d'une portion blanche et d'une portion noire sont présentées à l'écran avec pour consigne d'indiquer laquelle des deux portions est la plus longue. On observe dans cette tâche une surestimation de la longueur de la portion gauche chez les témoins. Au contraire, la probabilité de juger la portion gauche plus longue est nettement réduite chez les dyslexiques, même lorsque cette portion est physiquement nettement plus longue. Cette mini-négligence gauche a pour corollaire une hyper-sensibilité aux stimuli apparaissant dans le champ visuel droit suggérant un déficit d'inhibition droite (Facoetti et Molteni, 2001 ; Facoetti et coll., 2003a).

D'autres données suggèrent une capture attentionnelle ralentie : les dyslexiques mettent plus de temps à engager leur attention du côté indicé (lorsqu'un indice est présenté immédiatement avant l'apparition de la cible ; Facoetti et coll., 2000a et b et 2001) et, une fois engagée, leur attention ne pourrait facilement être désengagée (Facoetti et coll., 2003a). Hari et coll. (1999) montrent à l'appui de cette hypothèse que les dyslexiques présentent un phénomène « d'extinction attentionnelle » (*attentional blink*) plus long que les normolecteurs. Ce phénomène est mis en évidence dans des épreuves où une cible doit être identifiée (une lettre blanche par exemple) et une seconde cible détectée (un « x » après la lettre blanche). Hari et coll. (1999) montrent que les normolecteurs ne détectent pas la présence du « x » lorsqu'il est présenté immédiatement après la lettre cible (phénomène d'extinction). Un taux de 75 % de détection est obtenu après un intervalle (entre la lettre cible et le « x ») de 540 ms en moyenne chez les témoins. Les dyslexiques n'arrivent au même taux de détection qu'après un intervalle de 700 ms, ce qui est effectivement compatible avec l'hypothèse d'un trouble du désengagement attentionnel.

Ces études témoignent indéniablement de troubles visuo-attentionnels en contexte dyslexique. Cependant, ce trouble pourrait ne se manifester que dans certaines formes de dyslexies développementales. En effet, les études qui ont pris en compte les profils cognitifs des enfants dyslexiques ont conclu à la présence de troubles visuo-attentionnels chez les dyslexiques phonologiques uniquement (Facoetti et coll., 2002). D'autres études ont par

ailleurs conduit à remettre en question l'idée d'un trouble spécifique à la modalité visuelle en montrant des difficultés similaires de traitement en modalité auditive, voire même tactile.

Trouble amodal de l'attention perceptive

La présence de déficits similaires en modalité visuelle et auditive a conduit à faire l'hypothèse d'un trouble amodal de l'attention perceptive. Les résultats de plusieurs études menées en modalité auditive ont montré que les dyslexiques ont des difficultés à discriminer les phonèmes en présence d'un bruit de fond (Cunningham et coll., 2001) et à traiter les séquences rapides de stimuli auditifs (Hari et Kiesilä, 1996 ; Hari et Renvall, 2001). Ainsi, lorsqu'une série de tons haut et bas sont alternativement présentés, l'alternance est perçue lorsque l'intervalle entre les tons est relativement important mais un phénomène de ségrégation apparaît pour les intervalles courts : on perçoit alors deux flux parallèles continus, l'un haut, l'autre bas. Le seuil de ségrégation, qui est observé pour des intervalles de l'ordre de 100 ms chez les normolecteurs, est doublé (autour de 200 ms) chez les dyslexiques (Helenius et coll., 1999). Ces résultats suggèrent un déficit d'attention en modalité auditive caractérisé par une difficulté à déplacer rapidement et focaliser l'attention auditive (Hari et Renvall, 2001). Facoetti et coll. (2003b et 2005) ont comparé les performances des mêmes sujets dyslexiques soumis à des tâches similaires de détection de cible en modalité visuelle et auditive. Ils ont montré que les dyslexiques qui présentent des déficits d'attention auditive ont également une orientation déficitaire de l'attention visuelle. Facoetti et coll. (2005) apportent des données à l'appui d'un déplacement attentionnel ralenti à la fois en modalité visuelle et auditive, en montrant que les dyslexiques ne présentent pas d'effet facilitateur significatif (TR indice valide plus court que si invalide) lorsque l'intervalle qui sépare l'indice de la présentation de la cible est court (100 ms) alors qu'un effet facilitateur est observé pour des intervalles longs (250 ms). Ces résultats s'opposent nettement à ceux des témoins appariés en âge réel ou en niveau de lecture qui montrent un effet facilitateur à 100 ms qui disparaît ensuite pour les intervalles longs. Ceci suggère une capture attentionnelle rapide dès 100 ms chez les normolecteurs avec désengagement attentionnel à 250 ms alors que les dyslexiques ne parviendraient à engager leur attention que beaucoup plus lentement.

Pour rendre compte de l'ensemble de ces données, Hari et Renvall (2001) ont élaboré une théorie du déplacement attentionnel ralenti (*Sluggish Attentional Shifting Theory*) selon laquelle une capture attentionnelle ralentie (déficit de focalisation de l'attention spatiale) et une difficulté de désengagement (donc de réengagement) attentionnel se traduirait chez les dyslexiques par une difficulté à traiter les informations temporelles rapides dans toutes les modalités.

Corrélats neurophysiologiques du déficit attentionnel

Le cortex pariétal postérieur sur lequel projette le système magnocellulaire joue un rôle fondamental dans le contrôle de l'attention spatiale tant visuelle qu'auditive. Ceci a conduit la plupart des études relatives à un déficit de l'attention perceptive à conclure à une atteinte pariétale dans le cadre d'un déficit magnocellulaire. Cette hypothèse demeure cependant spéculative dans la mesure où elle ne repose pas sur des résultats neurophysiologiques obtenus lors de la réalisation des épreuves expérimentales mettant en évidence le trouble attentionnel perceptif.

Les difficultés observées chez les dyslexiques, en condition attentionnelle de recherche de cible parmi des distracteurs, ont été mises en relation avec un déficit magnocellulaire (Stein, 2003) dans la mesure où l'intégrité de ce système et des régions pariétales est nécessaire au traitement des conjonctions visuelles et des relations spatiales entre items (Vidyasagar, 1999 ; Cheng et coll., 2004). Les résultats de l'étude de Iles et coll. (2000) confirment cette hypothèse. Dans leur étude, les sujets dyslexiques confrontés à des situations de recherche attentionnelle de cible parmi des distracteurs avaient été préalablement classés en deux groupes selon leur performance sur l'épreuve RDK (*Random Dot kinematogram*) permettant d'évaluer l'intégrité du système magnocellulaire. Iles et collaborateurs (2000) montrent que seuls les enfants déficitaires sur l'épreuve RDK présentent un déficit en condition attentionnelle de recherche de cible parmi des distracteurs. Ces résultats suggèrent une atteinte du système visuel magnocellulaire et du cortex pariétal chez les enfants dyslexiques avec trouble de l'attention visuelle.

L'existence d'une mini-négligence gauche en contexte dyslexique conduit également à faire l'hypothèse d'une atteinte pariétale postérieure (PPC) éventuellement bilatérale mais plus probablement latéralisée à droite (voir Facoetti et coll., 2005). Des lésions du cortex pariétal postérieur droit entraînent des dyslexies acquises de type négligence (Brunn et Farah, 1991) et des troubles de la lecture du type de ceux observés chez les dyslexiques se manifestent lorsqu'on bloque momentanément, chez des normolecteurs, le fonctionnement du PPC (Schwartz, 1997). Enfin, un certain nombre de données électrophysiologiques suggèrent un dysfonctionnement du PPC dans le contexte des dyslexies développementales (Mazzotta et Gallai, 1992 ; Schulte-Korne et coll., 1999).

Le rôle majeur du système magnocellulaire dans le guidage de l'attention spatiale est évidemment également compatible avec l'ensemble des données témoignant d'un déficit d'attention perceptive chez les dyslexiques. Elle est également confortée par les résultats d'études expérimentales auprès de normolecteurs montrant que l'implication du système magnocellulaire visuel est modulée par les caractéristiques attentionnelles de la tâche à effectuer (Omtzigt et Hendriks, 2004).

Limites

En résumé, de nombreux arguments ont récemment été apportés à l'appui de l'hypothèse d'un trouble visuo-attentionnel chez les enfants dyslexiques. Cependant, ce déficit serait à replacer dans le contexte d'un trouble amodal des traitements attentionnels, s'étendant aux modalités auditives et peut être également haptiques en plus de la modalité visuelle. Il est important de noter ici que les déficits mis en évidence chez les dyslexiques ne se situent pas pour autant dans le contexte d'un trouble attentionnel général du type de celui décrit dans le cadre des troubles déficit de l'attention/hyperactivité (TDAH) par exemple (Bednarek, 2004). Peu d'études ont apporté des éléments explicitant le lien entre un tel déficit attentionnel et les profils de lecture des enfants dyslexiques. Facoetti fait l'hypothèse qu'un trouble visuo-attentionnel de type défaut de focalisation attentionnelle et difficulté de désengagement devrait plus particulièrement affecter la procédure analytique de lecture et donc la lecture des pseudo-mots. Lire un pseudo-mot long nécessite en effet de focaliser son attention sur la première partie de la séquence orthographique puis désengager son attention afin de la réengager sur la partie suivante de la séquence et ainsi de suite jusqu'au traitement de l'ensemble des lettres (voir Ans et coll., 1998, pour une modélisation de cette procédure et Valdois et coll., 2006, pour une validation expérimentale et neurophysiologique). Bien que l'argumentation apportée par Facoetti à l'appui de cette hypothèse soit très convaincante puisque les capacités de traitement visuo-attentionnel des enfants dyslexiques, tels qu'il les évalue à partir d'épreuves simples de détection de cible, s'avèrent être corrélées à leur niveau en lecture des pseudo-mots, ses travaux montrent également que les troubles visuo-attentionnels se manifestent préférentiellement chez les enfants présentant un trouble phonologique associé. De ce fait, on pourrait tout aussi bien arguer que les difficultés en lecture de pseudo-mots sont secondaires au trouble phonologique que présentent ces enfants (voir également Facoetti et coll., 2002).

Implications cliniques

Des épreuves spécifiques doivent être proposées lors de l'évaluation neuropsychologique afin d'éliminer l'hypothèse de troubles attentionnels, type hyperactivité ou impulsivité, associés aux difficultés d'apprentissage de la lecture. Les épreuves de recherche de cible parmi des distracteurs sont, selon Stein (2003), un outil clinique fiable pour la mise en évidence de troubles attentionnels dans le contexte d'une atteinte du système visuel magnocellulaire. Plusieurs épreuves sont aujourd'hui classiquement utilisées en France lors des évaluations (Barrage de Zazzo ou Test des cloches, Gauthier et coll., 1989, par exemple). La présence d'un déficit lors de la réalisation de ces épreuves est sans doute un indicateur de trouble de l'analyse ou de l'attention visuelle qui doit conduire à une évaluation plus approfondie. À l'inverse,

l'absence de déficit dans ces épreuves ne peut être interprétée comme démontrant l'absence de trouble attentionnel ou visuel. Comme nous l'avons dit précédemment, le recours à des épreuves informatisées sophistiquées est le plus souvent indispensable à leur mise en évidence.

Thomson et collaborateurs (2005) ont évalué les effets d'un entraînement des fonctions attentionnelles sur les aptitudes de lecture et d'orthographe (*Pay Attention Program*, Thomson et coll., 2001). Ce programme qui entraîne à la fois les capacités d'attention soutenue, sélective et divisée à partir de matériel verbal et non verbal, tant en visuel qu'en auditif, semble améliorer les aptitudes orthographiques des participants dyslexiques sans modifier leurs capacités de traitement phonologique. Geiger et coll. (1994) ont tenté d'améliorer les stratégies de traitement visuel de sujets dyslexiques chez qui ils avaient mis en évidence un traitement anormalement efficient des informations périphériques dans l'hémichamp visuel correspondant au sens de lecture (voir supra). Pour cela, ils ont utilisé des caches permettant la visualisation du seul mot à lire (de façon à empêcher toute interférence des informations périphériques) et un point de fixation décalé à gauche de l'ouverture (lorsque le sens de lecture est gauche-droite) de façon à ce que le mot soit présenté à l'endroit du champ visuel où l'identification était initialement la meilleure. L'entraînement consistait à rapprocher progressivement le point de fixation de l'ouverture avec pour objectif de coupler lieu de fixation du regard et focalisation attentionnelle en fin de rééducation. Ils ont montré une normalisation des courbes d'identification de lettres excentrés suite à cette prise en charge mais n'ont pas étudié les effets de ce type d'entraînement sur l'activité de lecture. La méthode VHSS (*Visual Hemisphere Specific Stimulation*, Bakker, 1992) a également été proposée pour améliorer les performances en lecture des enfants dyslexiques présentant des troubles visuo-attentionnels. Celle-ci consiste à présenter sur écran d'ordinateur des mots flashés apparaissant à droite ou à gauche du point de fixation. L'enfant doit suivre des yeux un carré qui se déplace de haut en bas à la verticale du point de fixation. Lorsque le carré atteint le point de fixation, il doit appuyer sur une manette, ce qui déclenche l'apparition du mot. Le temps de présentation du mot est initialement choisi de façon à permettre l'identification de 60 % des mots présentés. Ce temps est progressivement diminué au fil de l'entraînement de façon à ce que l'exercice reste relativement difficile. L'utilisation de cette méthode permettrait d'élargir ou au contraire de réduire le champ attentionnel des enfants selon que les mots sont présentés aléatoirement à gauche ou à droite du point de fixation ou dans un seul et même hémichamp tout au long de la prise en charge. Une amélioration des scores de lecture et de la vitesse de lecture a été décrite suite à ce type d'entraînement (Facoetti et coll., 2003b ; Lorusso et coll., 2005). Ces types de prise en charge n'ont cependant jusqu'ici été proposés qu'à des groupes très limités d'enfants, rendant difficile toute généralisation ; par ailleurs, l'interprétation théorique des effets de ces entraînements fait encore largement défaut.

Nouvelles perspectives

On ne peut nier aujourd'hui que des dysfonctionnements visuels ou visuo-attentionnels sont fréquemment associés aux troubles dyslexiques. Néanmoins, la plupart des recherches mentionnées jusqu'ici ont décrit ces dysfonctionnements dans le contexte de troubles phonologiques et supposent que l'atteinte phonologique constitue l'origine proximale du trouble dyslexique. Des travaux récents suggèrent cependant qu'une forme particulière de dysfonctionnement visuo-attentionnel, un trouble de l'empan visuo-attentionnel (Bosse et coll., 2006), pourrait être associé à certaines dyslexies et s'observer indépendamment de toute atteinte phonologique.

Notion d'empan visuo-attentionnel

La notion d'empan visuo-attentionnel renvoie à la quantité d'informations qui peuvent être traitées simultanément au sein d'une séquence d'éléments distincts. Dans le cadre de la lecture, cette notion renvoie au nombre de lettres du mot qui peuvent être identifiées au cours d'une seule fixation. Néanmoins, cette notion est plus large et pourrait concerner tant des lettres (Valdois et coll., 2003) que des chiffres (Hawelka et Wimmer, 2005) et même éventuellement d'autres types de séquences (couleurs ou symboles par exemple). La notion d'empan visuo-attentionnel s'inscrit dans le cadre du modèle connexionniste de lecture multitraces (Ans et coll., 1998 ; Valdois, 2004b). Ce modèle postule l'existence d'une fenêtre attentionnelle de taille variable à travers laquelle est extraite l'information orthographique du mot à lire. Une lecture globale du mot nécessite que la fenêtre visuo-attentionnelle s'adapte à la longueur du mot de façon à traiter simultanément l'ensemble des lettres qui le composent. Lors d'un traitement séquentiel analytique, la fenêtre visuo-attentionnelle est réduite et cadre successivement sur les unités orthographiques (syllabes, graphèmes) qui composent la séquence à lire. Les lettres situées à l'intérieur de la fenêtre attentionnelle sont maximalement activées et identifiées simultanément alors que les lettres contextuelles (extérieures à cette fenêtre) sont partiellement inhibées. La fenêtre visuo-attentionnelle correspond donc à l'ensemble des éléments de la séquence sur lesquels se focalise l'attention visuelle lors du traitement.

Des tâches de report global et partiel ont été utilisées afin d'évaluer l'empan visuo-attentionnel des enfants dyslexiques. Ces tâches consistent à présenter sur écran d'ordinateur des séquences de 5 lettres quelconques (par exemple : R H S D M) pendant un temps limité (maximalement 200 ms pour éviter toute refixation) et à demander aux participants de dénommer les lettres immédiatement après leur disparition de l'écran. Lors du report global, l'enfant doit reporter l'ensemble des lettres présentées indépendamment de leur position. Lors du report partiel, une barre verticale est présentée sous une des lettres de la séquence et seule la lettre indicée doit être dénommée.

Les lettres utilisées dans ces tâches sont toutes des consonnes de sorte que la séquence de lettres est à la fois illégale et imprononçable. Les traitements mis en jeu sont donc nécessairement indépendants des connaissances lexicales de l'enfant et concernent uniquement les procédures d'analyse visuelle. Les épreuves de report global et partiel reflètent en fait principalement les mécanismes d'attention visuelle et les composantes de mémoire visuelle à court terme impliqués lors du traitement de séquences de lettres (Bundesen, 1998 ; Valdois et coll., 2004b ; Bosse et coll., 2006).

Atteinte de l'empan visuo-attentionnel en contexte dyslexique

Une atteinte sélective de l'empan visuo-attentionnel en contexte dyslexique a été montrée par Valdois et coll. (2003). Le cas d'un jeune garçon de 14 ans, Nicolas, y est décrit qui présente toutes les caractéristiques d'une dyslexie de surface (trouble sélectif de la lecture et de l'écriture des mots irréguliers) en l'absence de trouble phonologique associé (bonne conscience phonémique, bonnes capacités de répétition et de mémoire verbale à court terme). Les performances de Nicolas sur les tâches de report de lettres mettent en revanche en évidence un profil très atypique. Alors que les participants normolecteurs de même âge réel parviennent à identifier la plupart des lettres quelle que soit leur position dans la séquence, Nicolas ne parvient à identifier au même taux que les témoins, que les lettres apparaissant dans deux des cinq positions présentées (en position 1 et 3). Il lui est particulièrement difficile d'identifier les lettres apparues en position 4 et 5 de la séquence. Dans ces positions, ces performances demeurent déficitaires même lorsqu'on les compare à celles d'enfants normolecteurs plus jeunes de même niveau de lecture que lui. Nicolas présente donc une réduction de l'empan visuo-attentionnel en l'absence de trouble phonologique associé. À l'inverse, les résultats sur les mêmes épreuves d'un autre adolescent dyslexique, Laurent, sont parfaitement dans la norme des témoins de même âge réel (Valdois et coll., 2003). Alors que Laurent a un niveau de lecture et un niveau intellectuel comparables à ceux de Nicolas, il ne présente aucun trouble objectivable de l'empan visuo-attentionnel. En revanche, ses performances sont très faibles sur tout un ensemble de tâches impliquant un traitement phonologique et son profil de lecture correspond à celui classiquement décrit dans le contexte des dyslexies phonologiques (trouble sélectif de la lecture et de l'écriture des pseudo-mots). Cette étude montre clairement l'existence d'une double dissociation entre trouble de l'empan visuo-attentionnel et trouble phonologique en contexte dyslexique. Certains dyslexiques présentent donc un trouble de l'empan visuo-attentionnel indépendamment de toute atteinte phonologique alors que d'autres présentent le profil inverse.

Pour intéressante que puisse être la démonstration d'une telle dissociation d'un point de vue théorique, celle-ci n'en demeure pas moins très limitée lorsqu'elle s'effectue dans le contexte de l'étude de deux cas contrastés.

Tout porte en effet à penser qu'il peut s'agir de cas exceptionnels dont les résultats ne peuvent être généralisés. Pour pallier ce problème, Bosse et coll. (2006) ont analysé les performances de deux groupes d'enfants dyslexiques, l'un composé de 68 enfants francophones, l'autre de 29 enfants anglophones. Cette étude a permis de montrer qu'une majorité d'enfants présentaient un trouble isolé soit de la conscience phonémique, soit de l'empan visuo-attentionnel, dans les deux populations. Ceci suggère que la dissociation décrite dans le cadre de l'étude de cas initiale est observée chez une majorité d'individus dyslexiques indépendamment des caractéristiques de leur langue maternelle. Cette étude montre par ailleurs qu'une proportion importante d'enfants présente un trouble isolé de l'empan visuo-attentionnel ; en fait, le nombre d'enfants présentant ce type de déficit est, tant dans la population anglophone que francophone, au moins égal au nombre d'enfants présentant un trouble phonologique isolé.

Lien entre empan visuo-attentionnel et lecture

Les résultats précédemment mentionnés montrent qu'un déficit de l'empan visuo-attentionnel est observé chez certains dyslexiques et que ce déficit peut se rencontrer indépendamment de toute atteinte phonologique. Ceci est potentiellement très important du point de vue théorique à condition cependant de montrer l'existence d'un lien entre trouble de l'empan visuo-attentionnel et niveau de lecture et ce, indépendamment des capacités de traitement phonologique des enfants. Les études de groupe précédemment mentionnées apportent des éléments à l'appui d'une telle relation. En effet, l'étude de Bosse et collaborateurs (2006) montre une forte corrélation entre les performances des enfants dyslexiques sur les épreuves visuo-attentionnelles et leurs performances sur les épreuves de lecture proposées (niveau de lecture ou lecture de mots isolés). En revanche, les performances visuo-attentionnelles et métaphonologiques de ces enfants ne corrèlent pas, une fois pris en compte l'effet de l'âge. Des analyses de régressions multiples ont par ailleurs montré que leurs capacités de traitement visuo-attentionnel étaient prédictives de leur niveau de lecture indépendamment de leurs capacités de traitement phonologique. Ces résultats suggèrent qu'un déficit de l'empan visuo-attentionnel contribue de façon spécifique au faible niveau de lecture des enfants dyslexiques.

Le modèle multitraces de lecture offre par ailleurs un cadre théorique permettant d'expliciter le lien entre trouble de l'empan visuo-attentionnel et difficulté d'apprentissage de la lecture (Ans et coll., 1998). La notion de fenêtre visuo-attentionnelle développée dans le modèle met l'emphase sur l'implication de traitements visuo-attentionnels dans l'analyse de la séquence orthographique des mots (Bundesen, 1998 ; Pelli et coll., 2006). En situation de lecture globale, l'attention doit se distribuer harmonieusement sur l'ensemble des lettres de la séquence pour assurer leur identifica-

tion (« livre »). En cas de déficit, seules certaines lettres saillantes pourront être identifiées, et l'identité de ces lettres pourrait différer lors des rencontres successives avec le mot de sorte que l'enfant sans cesse confronté à des informations de nature différente ne pourra se constituer une trace mnésique stable du mot plusieurs fois rencontré (« LIvre » ; « livrE », les majuscules correspondant aux lettres saillantes correctement identifiées). On s'attend donc théoriquement à ce qu'un trouble de l'empan visuo-attentionnel soit particulièrement néfaste au développement de la procédure globale de lecture. Celui-ci pourrait cependant également gêner le développement de la procédure analytique dans la mesure où cette dernière repose sur le traitement d'unités orthographiques de tailles variables (syllabes et graphèmes) pouvant comporter jusqu'à 4 ou 5 lettres. Un trouble de l'empan visuo-attentionnel empêchant l'identification de l'ensemble des lettres correspondant aux unités orthographiques pertinentes pour un mot ou un pseudo-mot donné (« pointure ») pourrait donc altérer à la fois le fonctionnement des procédures analytique et globale de lecture.

Limites

Les recherches précédentes montrent qu'un trouble de l'empan visuo-attentionnel se rencontre chez un certain nombre d'enfants dyslexiques en l'absence d'autres types de déficits (notamment phonologique) connus pour entraver l'apprentissage de la lecture. Ceci conduit à penser qu'un déficit de l'empan visuo-attentionnel pourrait être à l'origine de certaines formes de dyslexies, notamment celles qui ne sont pas associées à un déficit phonologique. Le fait que l'empan visuo-attentionnel soit corrélé et prédictif du niveau de lecture des enfants dyslexiques est compatible avec l'existence d'une relation causale entre déficit de l'empan visuo-attentionnel et trouble dyslexique. Ceci ne saurait cependant suffire à établir une relation de causalité entre ces deux types de troubles. Une telle relation nécessite de montrer que les enfants dyslexiques présentent un déficit de l'empan visuo-attentionnel non seulement comparativement à des enfants de même âge réel (tel qu'évalué par Bosse et coll., 2006) mais également comparativement à des enfants plus jeunes de même niveau de lecture (tel que suggéré par Valdois et coll., 2003 ; Bosse et coll., 2003). Un autre argument à l'appui d'une relation causale consisterait à montrer, dans le cadre d'une étude longitudinale, que l'empan visuo-attentionnel évalué avant l'apprentissage de la lecture chez des enfants tout-venant est prédictif de leur niveau ultérieur de lecture, indépendamment de leurs autres aptitudes cognitives, notamment phonologiques. Enfin, il faudrait démontrer qu'un entraînement de l'empan visuo-attentionnel est de nature à améliorer les performances de lecture des enfants dyslexiques, et qu'un tel entraînement a un effet spécifique, différent de celui attendu suite à un entraînement phonologique. On est donc loin aujourd'hui de disposer des éléments nécessaires pour établir une relation causale entre déficit de

l'empan visuo-attentionnel et trouble d'apprentissage de la lecture. Cependant, ce type de déficit est compatible avec nombre d'hypothèses théoriques récentes insistant enfin sur la complémentarité des dimensions phonologiques et visuelles de la lecture (Whitney et Cornelissen, 2005).

En conclusion, apprendre à lire implique la mise en relation d'une séquence orthographique appréhendée visuellement et de la séquence phonologique correspondante. La plupart des recherches menées au cours des 30 dernières années ont mis l'emphase sur la dimension phonologique et ont largement démontré son importance pour l'apprentissage normal et son implication dans les troubles dyslexiques lorsqu'elle est déficitaire. Un nombre plus limité de recherches s'est intéressé à la dimension visuelle. Il en ressort de façon claire que les dyslexiques présentent des particularités des traitements visuels qui ne concernent pas la fonction visuelle dans son ensemble. Des arguments ont été apportés à l'appui d'une atteinte du système visuel magnocellulaire ; cependant les recherches menées dans ce cadre ont conduit essentiellement à entrevoir l'extrême complexité de ce type de trouble dont on peut penser aujourd'hui qu'il se manifeste dans certaines conditions expérimentales particulières qui restent encore largement à définir et qu'il ne s'observe que chez une sous-population d'enfants dyslexiques, elle-même non clairement identifiée. Les études les plus récentes suggèrent notamment que le trouble magnocellulaire pourrait ne se manifester que lorsque la tâche implique un traitement attentionnel spécifique. Ceci rejoint les résultats d'un certain nombre d'autres travaux suggérant l'existence de troubles visuo-attentionnels en contexte dyslexique, troubles pouvant avoir pour corrélat neurophysiologique une atteinte pariétale magnocellulaire. Des difficultés de focalisation attentionnelle, de désengagement attentionnel et des problèmes d'orientation automatique de l'attention se traduisant par un phénomène de mini-héminégligence gauche ont notamment été décrits chez les dyslexiques. Cependant, l'hypothèse d'un trouble visuo-attentionnel tout comme l'hypothèse d'une atteinte magnocellulaire se heurte au fait que ces déficits ont été le plus souvent rencontrés en association avec les troubles phonologiques. Ceci conduit à douter de l'existence d'un impact direct de ces troubles sur l'apprentissage de la lecture, indépendamment de toute atteinte phonologique. En d'autres termes, ces études suggèrent bien l'existence de troubles des traitements visuels ou de l'attention perceptive associés au trouble dyslexique mais leurs résultats restent compatibles avec l'hypothèse phonologique selon laquelle la cause proximale du trouble dyslexique est de nature phonologique et exclusivement phonologique. La notion de trouble de l'empan visuo-attentionnel récemment formulée dans le cadre du modèle connexionniste multitraces de lecture suggère quant à elle qu'une difficulté à traiter en parallèle les lettres de la séquence du mot pourrait être à l'origine de certaines formes de troubles dyslexiques, indépendamment des capacités de traitement phonologique des enfants.

Les résultats publiés jusqu'ici suggèrent que ce type de déficit est dissocié du trouble phonologique chez un nombre non négligeable d'enfants dyslexiques et que la sévérité du déficit de l'empan visuo-attentionnel est reliée à la sévérité de leur trouble lexique. Des études ultérieures devront apporter des arguments forts à l'appui d'une relation causale entre déficit de l'empan visuo-attentionnel et troubles dyslexiques. Les données dont nous disposons aujourd'hui doivent néanmoins conduire à ne pas oublier que la lecture implique une dimension visuelle et une dimension phonologique dont chacune joue un rôle complémentaire dans l'apprentissage. Elles reposent donc la question de l'origine multifactorielle des troubles dyslexiques.

BIBLIOGRAPHIE

AGHABABIAN V, NAZIR T. Developing normal reading skills: Aspects of the visual processes underlying word recognition. *Journal of Experimental Child Psychology* 2000, **76** : 123-150

AHMAD A, MORIGUCHI T, SALEM N. Decrease in neuron size in docosahexaenoic acid-deficient brain. *Pediatric Neurology* 2002, **26** : 210-218

AMITAY S, BEN-YEHUDAH G, BANAI K, AHISSAR M. Disabled readers suffer from visual and auditory impairments but not from a specific magnocellular deficit. *Brain* 2002, **125** : 2272-2285

ANS B, CARBONNEL S, VALDOIS S. A connectionist multi-trace memory model of polysyllabic word reading. *Psychological Review* 1998, **105** : 678-723

ARGUIN M, BUB DN. Single-character processing in a case of pure alexia. *Neuropsychologia* 1993, **31** : 435-458

AUCLAIR L, SIEROFF E. Attentional cueing effect in the identification of words and pseudo-words of different length. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology* 2002, **55** : 445-463

AVERBACH E, CORIELL AS. Short-term memory in vision. *Bell Systems Technical Journal* 1961, **40** : 309-328

AVERBACH E, SPERLING G. Short term storage of information in vision. *In*: Contemporary theory and research in visual perception. HABER RN (ed). Holt, Rinehart & Winston, New York, 1968 : 196-211

BEDNAREK DB, SALDANA D, QUINTERO-GALLEGO E, GARCIA I, GRABOWSKA A, GOMEZ C. Attentional deficit in dyslexia: a general or specific impairment. *NeuroReport* 2004, **15** : 1787-1790

BORSTING E, RIDDER WH, DUDECK K, KELLEY C, MATSUI L, MOTOYAMA J. The presence of a magnocellular defect depends on the type of dyslexia. *Vision Research* 1996, **36** : 1047-1053

BOSSE ML, MILESI J, ZORMAN M, VALDOIS S. Role of the visual attention span in reading acquisition. (soumis)

BOSSE ML, TAINTURIER MJ, VALDOIS S. Developmental dyslexia: The visual attention span deficit hypothesis. *Cognition* 2006 Jul 19 [Epub ahead of print]

BOSSE ML, VALDOIS S. Patterns of developmental dyslexia according to a multi-trace memory model of reading. *Current Psychology Letters* 2003, **1** : 10 Electronic article: http://cpl.revues.org/document

BREITMEYER BG. Unmasking visual masking: a look at the "why" behind the veil of the "how". *Psychological Review* 1980, **87** : 52-69

BRUNN J, FARAH M. The relation between spatial attention and reading: evidence from the neglect syndrome. *Cognitive Neuropsychology* 1999, **8** : 59-75

BUNDESEN C. Visual selective attention: Outlines of a choice model, a race model and a computational theory. *Visual Cognition* 1998, **5** : 287-309

BURR DC, MORRONE MC, ROSS J. Selective suppression of the magnocellular visual pathway during saccadic eye movements. *Nature* 1994, **371** : 511-513

CASCO C, TRESSOLDI PE, DELLANTONIO A. Visual selective attention and reading efficiency are related in children. *Cortex* 1998, **34** : 531-546

CESTNIK L, COLTHEART M. The relationship between language processing and visual-processing deficits in developmental dyslexia. *Cognition* 1999, **71** : 231-255

CHASE C, ASHOURZADEH A, KELLY C, MONFETTE S, KINSEY K. Can the magnocellular pathway read? Evidence from studies of color. *Vision research* 2003, **43** : 1211-1222

CHENG A, EYSEL UT, VIDYASAGAR TR. The role of the mgnocellulr pathway in serial deployment of visual attention. *European Journal of Neuroscience* 2004, **20** : 2188-2192

COLTHEART M, RASTLE K, PERRY C, LANGDON R, ZIEGLER J. DRC: A dual route cascaded model of visual word recognition and reading aloud. *Psychological Review* 2001, **108** : 204-256

CORNELISSEN P, RICHARDSON A, MASON A, FOWLER S, STEIN J. Contrast sensitivity and coherent motion detection measures at photopic luminance levels in dyslexic readers and controls. *Vision Research* 1995, **35** : 1483-1494

CRITCHLEY M. La dyslexie vraie et les difficultés de lecture de l'enfant. Privat Éditeur, Toulouse, 1974

CUNNINGHAM J, NICOL T, ZECKER SG, BRADLOW A, KRAUS N. Neurobiologic responses to speech in noise in children with learning problems: Deficits and strategies for improvement. *Clinical Neurophysiology* 2001, **112** : 758-767

DEMB JB, BOYNTON GM, BEST M, HEEGER DJ. Psychophysical evidence for a magnocellular deficit in dyslexics. *Vision Research* 1998, **38** : 1555-1559

DIXON P, GORDON RD, LEUNG A, DI-LOLLO V. Attentional components of partial report. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance* 1997, **23** : 1253-1271

DIXON P, SHEDDEN JM. On the nature of the span of apprehension. *Psychological Research* 1993, **55** : 29-39

DUCROT S, LÉTÉ B, SPRENGER-CHAROLLES L, PYNTE J, BILLARD C. The optimal viewing position effect in beginning and dyslexic readers. *Current Psychology Letters* 2003, **10**, 1. Special issue on language disorders and reading acquisition. http://cpl.revues.org/document99.html.

DUNCAN J, BUNDESEN C, OLSON A, HUMPHREYS G, CHAVDA S, SHIBUYA H. Systematic analysis of deficits in visual attention. *Journal of Experimental Psychology: General* 1999, **128** : 450-478

DUNCAN J, BUNDESEN C, OLSON A, HUMPHREYS G, WARD RSK, et coll. Attentional functions in dorsal and ventral simultanagnosia. *Cognitive neuropsychology* 2003, **20** : 675-701

EDEN GF, VANMETER JW, RUMSEY JW, MAISOG J, ZEFFIRO TA. Functional MRI reveals differences in visual motion processing in individuals with dyslexia. *Nature* 1996, **382** : 66-69

EHRI LC, NUNES SR, WILLOWS DM, SCHUSTER BV, YAGHOUB ZADEH Z, SHANAHAN T. Phonemic awareness instruction helps children learn to read: Evidence from the National Reading Panel's meta-analysis. *Reading Research Quarterly* 2001, **36** : 250-287

FACOETTI A, LORUSSO ML, CATTANEO C, GALLI R, MOLTENI M. Visual and auditory ttentional capture are both sluggish in children with developmental dyslexia. *Acta Neurobiologiae experimentalis* 2005, **65** : 61-72

FACOETTI A, MOLTENI M. The gradient of visual attention in developmental dyslexia. *Neuropsychologia* 2001, **39** : 352-357

FACOETTI A, PAGANONI P, LORUSSO ML. The spatial distribution of visual attention in developmental dyslexia. *Experimental Brain Research* 2000a, **132** : 531-538

FACOETTI A, PAGANONI P, TURATTO M. MARZOLA V, MASCETTI GG. Visual-spatial attention in developmental dyslexia. *Cortex* 2000b, **36** : 109-123

FACOETTI A, TURATTO M, LORUSSO ML, MASCETTI GG. Orienting of visual attention in dyslexia: evidence for asymmetric hemispheric control of attention. *Experimental Brain Research* 2001, **138** : 46-53

FACOETTI A, LORUSSO ML, PAGANONI P, CATTANEO C, GALLI R, MASCETTI GG. The time course of attentional focusing in dyslexic and normally reading children. *Brain and Cognition* 2003a, **53** : 181-184

FACOETTI A, LORUSSO ML, PAGANONI P, CATTANEO C, GALLI R, UMILTÀ C, MASCETTI GG. Auditory and visual automatic attention deficits in developmental dyslexia. *Cognitive brain research* 2003b, **16** : 185-191

FAWCETT A, NICOLSON R, DEAN P. Impaired performance of children with dyslexia on a range of cerebellar tasks. *Annals of Dyslexia* 1996, **46** : 259-283

FRIEDMANN N, NACHMAN-KATZ I. Developmental neglect dyslexia in a Hebrew-reading child. *Cortex* 2004, **40** : 301-313

FRITH C. Brain, mind and behaviour in dyslexia. *In*: Dyslexia: Biology, cognition and intervention. HULME C, SNOWLING M (eds). Whurr Publishers, London, 1997 : 1-19

GALABURDA AM, MENARD MT, ROSEN GD. Evidence for aberrant auditory anatomy in developmental dyslexia. *Proceedings of the National Academy of science of the USA* 1994, **91** : 8010-8013

GEIGER G, LETTVIN JY, ZEGARRA-MORAN O. Task-determined strategies of visual process. *Cognitive Brain Research* 1992, **1** : 39-52

GEIGER G, LETTVIN JY, FAHLE M. Dyslexic children learn a new visual strategy for reading : A controlled experiment. *Vision Research* 1994, **34** : 1223-1233

GIESBRECHT B, DIXON P. Isolating the interference caused by the cue duration in partial report : a quantitative approach. *Memory and Cognition* 1999, **27** : 220-233

HABEKOST T, BUNDESEN C. Patient assessment based on a theory of visual attention (TVA): Subtle deficits after a right frontal-subcortical lesion. *Neuropsychologia* 2003, **41** : 1171-1188

HAGENAAR R, VAN DER HEIJDEN AHC. On the relation between type of arrays and type of errors in partial-report bar-probe studies. *Acta Psychologica* 1995, **88** : 89-104

HARI R, KEISILA P. Deficit of temporal auditory processing in dyslexic adults. *Neuroscience Letters* 1996, **205** : 138-140

HARI R, RENVALL H. Impaired processing of rapid stimulus sequences in dyslexia. *Trends in Cognitive Sciences* 2001, **5** : 525-532

HARI R, VALTA M, UTELA K. Prolonged attentional dwell time in dyslexic adults. *Neuroscience Letters* 1999, **271** : 202-204

HARI R, RENVALL H, TANSKANEN T. Left minineglect in dyslexic adults. *Brain* 2001, **124** : 1373-1380

HARM MW, SEIDENBERG MS. Phonology, reading acquisition, and dyslexia: insights from connectionist models. *Psychological Review* 1999, **106** : 491-528

HAWELKA S, WIMMER H. Impaired visual processing of multi-element arrays is associated with increased number of eye movements in dyslexic reading. *Vision Research* 2005, **45** : 855-863

HELENIUS P. Auditory stream segregation in dyslexic adults, *Brain* 1999, **122** : 907-913

HINSHELWOOD J. Congenital Word-blindness. *Lancet* 1900, **1** : 1506-1508

HINSHELWOOD J. Congenital Word-blindness. Lewis, London, 1917

HUTZLER F, KRONBICHLER M, JACOBS AM, WIMMER H. Perhaps correlational but not causal: No effect of dyslexic readers magnocellular system on their eye movements during reading. *Neuropsychologia* 2006, **44** : 637-648

HYÖNÄ J, OLSON RK. Eye fixation patterns among dyslexic and normal readers: Effects of word length and word frequency. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition* 1995, **21** : 1430-1440

ILES J, WALSH V, RICHARDSON A. Visual search performance in dyslexia. *Dyslexia* 2000, **6** : 163-177

IRLEN H. Reading by colours. Avery, New York, 1991

LIVINGSTONE MS, ROSEN GD, DRISLANE FW, GALABURDA AM. Physiological and anatomical evidence for a magnocellular defect in developmental dyslexia. *Proceedings of the National Academy of Science* 1991, **88** : 7943-7947

LORUSSO ML, FACOETTI A, TORALDO A, MOLTENI M. Tachistoscopic treatment of dyslexia changes the distribution of visual-spatial attention. *Brain & Cognition* 2005, **57** : 135-142

LOVEGROVE W, MARTIN F, SLAGHUIS W. A theoretical and experimental case for a visual deficit in reading disability. *Cognitive Neuropsychology* 1986, **3** : 225-267

MARENDAZ C, VALDOIS S, WALCH JP. Dyslexie développementale et attention visuo-spatiale. *L'Année Psychologique* 1996, **96** : 193-224

MCCLOSKEY M, RAPP BC. A visually based developmental reading deficit. *Journal of Memory and Language* 2000, **43** : 157-181

MERRIGAN WH, MAUNSELL JR. How parallel are the primate visual pathways. *Annual review of Neuroscience* 1993, **16** : 369-402

MEWHORT DJK, CAMPBELL AJ, MARCHETTI FM, CAMPBELL JID. Identification, localization, and "iconic memory": an evaluation of the bar-probe-task. *Memory and Cognition* 1981, **9** : 50-67

MODY M, STUDDERT-KENNEDY M, BRADY S. Speech perception deficits in poor readers: auditory processing or phonological coding? *Journal of Experimental Child Psychology* 1997, **64** : 199-231

MORGAN P. A case of Congenital word-blindness. *British Medical Journal* 1896, **2** : 1378

NAZIR T, AGHABABIAN V. Diagnostic des stratégies déviantes de lecture. *In* : Apprentissage de la lecture et dyslexies développementales. VALDOIS S, COLÉ P, DAVID D (eds). Solal, Marseille, 2004

NICOLSON RI, FAWCETT AJ, DEAN P. Dyslexia, development and the cerebellum. *Trends Neuroscience* 2001, **24** : 515-516

OLSON RK, CONNERS FA, RACK JP. Eye movements in dyslexia and normal readers. *In* : Vision and visual dyslexia. STEIN F (ed). Macmillan, London, 1991 : 243-250

OMTZIGT D, HENDRIKS AW. Magnocellular involvement in flanked-letter identification relates to the allocation of attention. *Vision research* 2004, **44** : 1927-1940

PAVLIDIS GT. Do eye movements hold the key to dyslexia? *Neuropsychologia* 1981, **19** : 57-64

PELLI DG, BURNS CW, FARREL B, MOORE-PAGE DC. Feature detection and letter identification. *Vision Res* 2006, Jun 27 ; [Epub ahead of print].

PLAUT DC, MCCLELLAND JL, SEIDENBERG MS, PATTERSON K. Understanding normal and impaired word reading: computational principles in quasi-regular domains. *Psychological Review* 1996, **10** : 56-115

RAMUS F, ROSEN S, DAKIN SC, DAY BL, CASTELLOTE JM, WHITE S, FRITH U. Theories of developmental dyslexia: Insights from a multiple case study of dyslexic adults. *Brain* 2003, **126** : 841-865

RAPP BC, CARAMAZZA A. Spatially determined deficits in letter and word processing. *Cognitive Neuropsychology* 1991, **8** : 275-311

RAYNER K, MURPHY LA, HENDERSON JM, POLLATSEK A. Selective attentional dyslexia. *Cognitive Neuropsychology* 1989, **6** : 357-378

RICHARDSON AJ, PURI BK. A randomized double blind, placebo-controlled study of the effects of supplementation with highly unsaturated fatty acids on ADHD-related symptoms in children with specific learning difficulties. *Prog Neuropsychopharmacol Biol Psychiatry* 2002, **26** : 233-239

SCARBOROUGH DL. Memory for brief visual displays of symbols. *Cognitive psychology* 1972, **3** : 408-429

SCHWARTZ T. Reading errors following right hemisphere injection of sodium amobarbital. *Brain & Language* 1997, **58** : 70-91

SEIDENBERG MS, MCCLELLAND JL. A distributed, developmental model of word recognition. *Psychological Review* 1989, **96** : 523-568

SHAPLEY B, PERRY VH. Cat and Monkey retinal ganglion cells and their functional roles. *Trends in Neuroscience* 1986, **9** : 229-235

SHARE DL. Phonological recoding and self-teaching : Sine qua non of reading acquisition. *Cognition* 1995, **55** : 151-218

SHARE DL. Phonological recoding and orthographic learning: a direct test of the self-teaching hypothesis. *Journal of Experimental Child Psychology* 1999, **72** : 95-129

SHARE DL. Orthographic learning at a glance: On the time course and developmental onset of self-teaching. *Journal of Experimental Child Psychology* 2004, **87** : 267-298

SIRETEANU R, GOERTZ R, BACHERT I, WANDERT T. Children with developmental dyslexia show a left visual "minineglect". *Vision Res* 2005, **45** : 3075-3082. Epub 2005 Sept 6

SKOTTUN BC. The magnocellular deficit theory of dyslexia: the evidence from contrast sensitivity. *Vision Research* 2000, **40** : 111-127

SLAGHUIS WL, LOVEGROVE WJ, DAVIDSON J. Visual and language processing deficits are concurrent in dyslexia. *Cortex* 1993, **29** : 601-615

SNOWLING M. Dyslexia. Blackwell, Oxford, 2000

SPERLING AJ, LU ZL, MANIS FR, SEIDENBERG M. Selective magnocellular deficits in dyslexia: a "phantom contour" study. *Neuropsychologia* 2003, **41** : 1422-1429

SPINELLI D, ANGELELLI P, DE LUCA M, DI PACE E, JUDICA A, ZOCCOLOTTI P. Developmental surface dyslexia is not associated with deficits in the transient visual system. *Neuroreport* 1997, **8** : 1807-1812

STEIN JF. The magnocellular theory of developmental dyslexia. *Dyslexia* 2001, **7** : 12-36

STEIN J. Visual motion sensitivity and reading. *Neuropsychologia* 2003, **41** : 1785-1793

STEIN J, FOWLER MS. Visual dyslexia. *British Orthopedic Journal* 1980, **37** : 11-15

STEIN J, TALCOTT J. Impaired neuronal timing in developmental dyslexia: The magnocellular hypothesis. *Dyslexia* 1999, **5** : 59-77

STEIN J, TALCOTT J, WALSH V. Controversy about the visual magnocellular deficit in developmental dyslexics. *Trends in Cognitive Sciences* 2000a, **4** : 209-211

STEIN J, RICHARDSON AJ, FOWLER MS. Monocular occlusion can improve binocular control and reading in dyslexics. *Brain* 2000b, **123** : 164-170

STEIN J, WALSH V. To see but not to read; the magnocellular theory of dyslexia. *Trends in Neuroscience* 1997, **20** : 147-152

TALCOTT J, HANSEN P, WILLIS-OWEN C, MCKINNELL C, RICHARDSON A, STEIN J. Visual magnocellular impairment in adult developmental dyslexics. *Neuro-Ophtalmology* 1998, **20** : 187-201

TALCOTT J, HANSEN P, ASSOKU EL, STEIN J. Visual motion sensitivity in dyslexia: evidence for temporal and energy integration deficits. *Neuropsychologia* 2000, **38** : 935-943

TALLAL P. Auditory temporal perception phonics, and reading disabilities in children. *Brain and Language* 1980, **9** : 182-198

TALLAL P, MILLER S, FITCH RH. Neurobiological basis of speech: a case for the preeminence of temporal processing. *Annals of the New York Academy of Science* 1993, **682** : 27-47

THOMSON JB, KERNS K, SEIDENSTRANG L, SOHLBERG M, MATEER C. Pay Attention! A children's attention process training program. Wake Forest, NC, Lash and Associates Publishing/Training, Inc, 2001

THOMSON JB, CHENAULT B, ABBOTT RD, RASKIND WH, RICHARDS T, et coll. Converging evidence for attentional influences on the orthographic word form in child dyslexics. *Journal of Neurolinguistics* 2005, **18** : 93-126

VALDOIS S. Traitements visuels et dyslexies développementales. *In* : Neuropsychologie de l'enfant et troubles du développement. HOMMET C, JAMBAQUE I, BILLARD C, GILLET P (eds). Éditions Solal, Marseille, 2005

VALDOIS S, GÉRARD CL, VANEAU P, DUGAS M. Developmental dyslexia: a visual attentional account? *Cognitive Neuropsychology* 1995, **12** : 31-67

VALDOIS S, BOSSE ML, ANS B, CARBONNEL S, ZORMAN M, et coll. Phonological and visual processing deficits can dissociate in developmental dyslexia: Evidence from two case studies. *Reading and Writing: An Interdisciplinary Journal* 2003, **16** : 541-572

VALDOIS S, BOSSE ML, TAINTURIER MJ. The cognitive deficits responsible for developmental dyslexia: Review of evidence for a selective visual attentional disorder. *Dyslexia* 2004b, **10** : 1-25

VALDOIS S, COLÉ P, DAVID D. Apprentissage de la lecture et dyslexie développementale : de la Théorie à la Pratique. Solal, Marseille, 2004a

VALDOIS S, CARBONNEL S, JUPHARD A, BACIU M, ANS B, et coll. Polysyllabic pseudo-word processing in reading and lexical decision: converging evidence from behavioral data, connectionist simulations and functional MRI. *Brain Res* 2006, **1085** : 149-162. Epub 2006 Mar 30

VELLUTINO FR. Dyslexia: Theory and research. MIT Press, Cambridge, MA, 1979

VELLUTINO FR, FLETCHER JM, SNOWLING MJ, SCANLON DM. Specific reading disability (dyslexia): what have we learned in the past four decades? *Journal of Child Psychology and Psychiatry* 2004, **45** : 2-40

VIDYASAGAR TR. A neuronal model of attentional spotlight: parietal guiding the temporal. *Brain Research Reviews* 1999, **30** : 66-76

VIDYASAGAR TR. Neural underpinnings of dyslexia as a disorder of visuo-spatial attention. *Clinical and experimental optometry* 2004, **87** : 4-10

VIDYASAGAR TR. Attentional gating in primary visual cortex: A physiological basis for dyslexia. *Perception* 2005, **34** : 903-911

WILKINS A. Coloured overlays and their effects on reading speed: a review. *Ophtalmological and Physiological Optics* 2002, **22** : 448-454

WILLCUTT E, PENNINGTON B. Comorbidity of reading disability and attention deficit/hyperactivity disorder: Differences by gender and subtypes. *Journal of Learning disabilities* 2000, **33** : 179-191

WILMER JB, RICHARDSON AJ, CHEN Y, STEIN J. Two visual motion processing deficits in developmental dyslexia associated with different reading skills deficits. *Journal of Cognitive Neuroscience* 2004, **16** : 528-540

WITTON C, TALCOTT JB, HANSEN PC, RICHARDSON AJ, GRIFFITHS TD, et coll. Sensitivity to dynamic auditory and visual stimuli predicts nonword reading ability in both dyslexic and normal readers. *Current Biology* 1998, **8** : 791-797

WOLF M, BOWERS PG. The double-deficit hypothesis for the developmental dyslexias. *Journal of Educational Psychology* 1999, **91** : 415-438

WOLFORD G. Perturbation model for letter identification. *Psychological review* 1975, **82** : 184-199

16

Théorie du déficit de la fonction cérébelleuse

D'après les principales revues de la littérature sur le sujet (voir par exemple Habib, 2000 ; Démonet et coll., 2004), c'est essentiellement au niveau du cortex cérébral qu'il faut rechercher l'origine de la dysfonction dans le cerveau du dyslexique. Que ce soient les travaux neuropathologiques (Galaburda et coll., 1985) ou les études plus récentes utilisant les moyens modernes d'imagerie anatomique (Leonard et coll., 2001 ; Eckert, 2004) ou fonctionnelle (Heim et Keil, 2004), tous convergent essentiellement sur un certain nombre de structures corticales, principalement hémisphériques gauches, laissant peu de place à une éventuelle dysfonction sous-corticale. Certes, les travaux initiaux de Galaburda avaient, de façon quelque peu marginale, retrouvé également des anomalies au niveau des relais sensoriels thalamiques, apportant un argument pour l'hypothèse magnocellulaire ; mais on ne retrouve que peu ou pas d'argument en faveur d'une dysfonction du cervelet, un organe qui pourrait pourtant constituer un excellent candidat pour expliquer beaucoup des associations dont il a été question dans ce travail. Tel a été le raisonnement poursuivi par deux chercheurs britanniques, Angela Fawcett et Rod Nicolson, dans l'hypothèse qu'ils ont développée au cours de ces dix dernières années.

Présentation de la théorie

Partant de la constatation que les dyslexiques présentent non seulement des difficultés de lecture, mais également d'autres troubles dans les domaines visuel, auditif et moteur, Angela Fawcett et Rod Nicolson concentrèrent leur attention sur une série de caractéristiques qu'ils avaient remarquées chez leurs patients dyslexiques : un retard dans les étapes du développement moteur, des troubles de nature séquentielle et temporelle (dire l'heure, se rappeler les mois de l'année), et surtout la présence de troubles de la coordination motrice et de troubles de l'équilibre (Fawcett et Nicolson, 1999). Or, tous ces symptômes se trouvent également être des manifestations classiques de dysfonction du cervelet. Parallèlement, tout un pan de la recherche

développée durant les années 1980 et 1990, a permis au cervelet de sortir de son statut d'organe purement moteur, en révélant un domaine d'intervention beaucoup plus vaste, incluant de nombreuses fonctions cognitives (Schmahmann et Sherman, 1997 ; Schmahmann, 1997). Ainsi, Fawcett et Nicolson (1999) décrivaient le tableau caractéristique de dyslexie comme « un déficit des aptitudes phonologiques, des habiletés motrices, de la rapidité du traitement d'information (Wolf 1991 ; Nicolson et Fawcett, 1994) et de l'automatisation (Nicolson et Fawcett 1990 ; Yap et Van der Leij, 1994) ». Ce dernier aspect est sans doute le point le plus original du raisonnement de ces auteurs, faisant référence spécifiquement au rôle du cervelet dans l'apprentissage en général, et celui des procédures en particulier. C'est donc sur ces bases qu'a été postulée la théorie cérébelleuse de la dyslexie (Nicolson et coll., 1995 et 2001).

Un certain nombre d'éléments expérimentaux sont venus à l'appui d'une théorie essentiellement basée sur l'intuition clinique : en premier lieu, certains travaux anatomiques, sur le cerveau humain *post-mortem* (Finch et coll., 2002) et à l'aide de diverses méthodes d'imagerie (Brown et coll., 2001 ; Leonard et coll., 2001 ; Rae et coll., 2002 ; Eckert et coll., 2003), ont pointé une anomalie au niveau du cervelet chez le dyslexique.

Assez paradoxalement, c'est une étude démontrant une hypoactivation cérébelleuse lors de tâches purement motrices (apprentissage d'une série de mouvements des doigts) chez l'adulte dyslexique, qui a véritablement fait connaître la théorie cérébelleuse (Nicolson et coll., 1999). En revanche, bien que le cervelet soit classiquement activé lors de la lecture chez le sujet normolecteur (Fiez et Petersen, 1998), il n'a pratiquement jamais été publié de déficit d'activation du cervelet lors de la lecture chez le dyslexique, hormis dans une étude concernant la lecture du Braille (Gizewski et coll., 2004). Scott et coll. (2001) ont rapporté la présence d'une dyslexie de développement chez deux sujets sur trois, victimes, avant l'âge de 5 ans, d'une lésion focale de l'hémisphère cérébelleux droit. De même, des patients avec lésion cette fois du vermis cérébelleux peuvent également souffrir de troubles de la lecture (Moretti et coll., 2002).

Cervelet et lecture

De fait, le cervelet peut affecter la lecture de différentes manières. Il est impliqué dans le contrôle des mouvements oculaires, dans l'attention visuo-spatiale, dans la vision périphérique, tous ces aspects étant des composantes essentielles de la lecture (Stein et Walsh, 1997). En tant que structure cruciale dans la gestion du temps par le cerveau, le cervelet peut contribuer aux problèmes de coordination sensori-motrice et d'intégration intersensorielle observés chez les dyslexiques.

Telle que présentée par Fawcett et coll. (1996) ou encore par Nicolson et coll. (2001), la théorie cérébelleuse suppose que le déficit est présent très précocément, dès la naissance, et va interférer avec la mise en place normale des aptitudes tant auditives qu'articulatoires nécessaires à la constitution du système phonologique, comme aux aptitudes visuelles telles que les mouvements oculaires et la reconnaissance des lettres, donnant lieu à la fois aux difficultés phonologiques et orthographiques caractéristiques de l'enfant ou de l'adulte dyslexique. En outre, Fawcett et Nicolson (1999) supposent que la lecture dépend de manière critique du jeu réciproque et harmonieux d'un ensemble de sous-fonctions qui requièrent à la fois l'exécution et « l'amélioration cumulative » de ces aptitudes. Le cervelet est précisément impliqué dans chacun de ces deux aspects.

Ces auteurs signalent enfin que leur théorie cérébelleuse est compatible avec les principales autres théories actuelles : la théorie phonologique, la théorie du double déficit (Wolf et Bowers, 1999), et la théorie magnocellulaire (Stein et Walsh, 1997).

Mais, aussi séduisante soit-elle, cette théorie a été vivement critiquée ces dernières années.

Les détracteurs de Nicolson remarquent tout d'abord que les troubles moteurs sont loin d'être la règle chez tous les dyslexiques, et que beaucoup d'entre eux, même avec des difficultés majeures dans l'apprentissage de la lecture, n'ont manifesté aucune difficulté motrice, voire même se sont montrés très tôt particulièrement doués pour les activités motrices, qu'il s'agisse de motricité proximale et d'équilibre ou de motricité distale. L'une des explications récemment apportées par l'équipe de Wimmer en Autriche est que le déficit moteur serait présent uniquement chez un sous-groupe de dyslexiques dont la dyslexie serait associée à une hyperactivité. Dans une étude portant sur 4 groupes de 10 sujets représentant toutes les combinaisons possibles de dyslexie et d'hyperactivité, Raberger et Wimmer (2003) retrouvent des troubles de l'équilibre, avec ou sans tâche concurrente en association à l'hyperactivité et non la dyslexie. C'est également l'avis de Ramus et coll. (2003) qui, après une analyse de 22 enfants dyslexiques de 8 à 12 ans, ont pourtant retrouvé dans 50 % des cas des troubles moteurs pouvant suggérer un trouble cérébelleux. Il est intéressant de noter que dans une autre étude portant cette fois sur 16 adultes dyslexiques, les mêmes auteurs (Ramus et coll., 2003) ne retrouvent que 4 sujets porteurs de troubles moteurs pouvant suggérer une atteinte cérebelleuse. D'autres travaux récents sont au contraire en faveur d'une incidence plus significative de signes d'atteinte cérébelleuse. Une équipe anglo-norvégienne (Moe-Nilssen et coll., 2003) a proposé à des enfants dyslexiques de 10 à 12 ans des épreuves d'équilibre (tenir les yeux fermés ou les yeux ouverts, en conditions stable ou rendue instable) et une épreuve de marche sur un sol plus ou moins régulier, à plusieurs vitesses de marche imposées. Les mouvements du corps étaient enregistrés par un accéléromètre procurant une mesure très

précise des mouvements. Les épreuves de maintien debout yeux ouverts et les épreuves de marche rapide se sont avérées capables de distinguer les dyslexiques d'un groupe témoin à plus de 75 % de fiabilité. Les auteurs concluent que bien que suggérant une dysfonction cérébelleuse, leurs résultats peuvent tout aussi bien témoigner d'un défaut dans des systèmes corticaux. Enfin, tout récemment, Stoodley et coll. (2005) ont comparé à l'aide d'un système de mesure automatique de l'équilibre postural, les performances de 16 enfants dyslexiques à celles de 19 témoins. Les dyslexiques étaient significativement moins aptes que les témoins pour tenir en équilibre sur un pied, en particulier les yeux ouverts, et leur performance dans l'épreuve posturale était corrélée à leur performance en lecture et en orthographe. Si, comme cela a été signalé, les troubles de type cérébelleux sont moins fréquents chez des adultes que chez des enfants dyslexiques, cela signifie peut-être que les déficits initialement observés chez l'enfant se stabilisent durant l'adolescence pour ne plus apparaître une fois le dyslexique devenu adulte.

Cervelet et boucle auditivo-articulatoire

La faiblesse principale de la théorie cérébelleuse est probablement qu'elle ne rend pas compte de façon immédiate du trouble le plus unanimement reconnu comme crucial dans la dyslexie : le déficit phonologique.

Une hypothèse séduisante à cet égard (Ivry et Justus, 2001 ; Nicolson et coll., 2001) fait appel au rôle primordial de l'articulation de la parole dans l'apprentissage de la langue. Pour ces auteurs, le chaînon crucial serait un déficit subtil de la mise en place précoce des aptitudes articulatoires qui provoquerait à la fois un défaut de la boucle articulatoire, altérant la mémoire phonologique à court terme et un trouble de la conscience phonologique, deux processus dont l'intégrité est nécessaire à un apprentissage normal de la lecture (Montgomery, 1981 ; Alexander et coll., 1991 ; Heilman et coll., 1996). Récemment, au moins deux travaux ont apporté des arguments en faveur de cette médiation articulatoire du déficit du dyslexique. L'équipe d'Uta Frith, à Londres (Griffiths et Frith, 2002), a ainsi démontré que des adultes dyslexiques avaient significativement plus de difficultés que des témoins à associer des schémas représentant les positions de la langue et des dents pour chaque phonème avec le phonème correspondant, ce que les auteurs interprètent comme un trouble de la « conscience articulatoire ».

Un travail méticuleux utilisant une méthodologie très sophistiquée pour mesurer les constantes de pression intra-buccale au cours de la production articulatoire (Lalain et coll., 2003) a permis de démontrer la plausibilité de cette hypothèse en retrouvant des différences significatives de certains marqueurs articulatoires lors de la production de parole chez des enfants dyslexiques. En outre, il fut démontré une corrélation entre ces anomalies articulatoires et les déficits phonologiques des enfants testés. Ce rôle possible

de l'articulation dans le développement normal et anormal de la lecture offre ainsi d'intéressantes perspectives théoriques comme rééducatives.

Citons enfin deux études consacrées à la reproduction de rythmes et/ou d'intervalles, une fonction qui implique probablement de façon prioritaire le cervelet et classiquement considérée comme altérée chez le dyslexique. Wolff (2002) a soumis un groupe de 12 adolescents dyslexiques à une tâche consistant à taper du doigt sur une touche enregistreuse de manière synchrone aux battements d'un métronome qui était réglé sur un tempo de 1,5, puis 2, puis 2,5 Hz. Alors que les témoins démontrent une légère anticipation et adaptent leur rythme au changement de tempo avec un discret retard, les dyslexiques ont d'emblée une avance significativement plus importante sur le métronome, et surtout accusent un retard beaucoup plus important que les témoins lors du changement de tempo. Plus récemment, Tiffin-Richards et coll. (2004) ont proposé à 68 enfants, dyslexiques, hyperactifs, ou à la fois porteurs des deux diagnostics, diverses épreuves de *tapping* soit à un rythme imposé, soit généré par le sujet lui-même. Aucun déficit significatif n'a été observé dans chacune des trois populations, hormis une tendance des dyslexiques à altérer leur performance en fonction de la complexité du rythme à reproduire.

En conclusion, au terme de cette analyse de la théorie cérébelleuse, on ne peut évidemment pas se prononcer définitivement sur sa validité et sa capacité à rendre compte de la totalité des déficits observés chez le dyslexique. Aussi, comme le remarquent Démonet et coll. (2004), beaucoup des déficits attribués ici à une dysfonction cérébelleuse pourraient tout aussi bien être attribués à la dysfonction d'autres structures, en particulier sous-corticales, également impliquées dans les processus de coordination motrice, d'automatisation des procédures, et de régulation temporelle motrice et cognitive. On reconnaîtra cependant le mérite essentiel de cette théorie, celui d'avoir ouvert la voie à une véritable prise en compte des comorbidités dans l'explication de la dyslexie.

BIBLIOGRAPHIE

ALEXANDER AW, ANDERSON HG, HEILMAN PC, VOELLER K, TORGESEN J. Phonological awareness training and remediation of analytic decoding deficits in a group of severe dyslexics. *Annals of Dyslexia* 1991, **41** : 193–206

BROWN W, ELIEZ S, MENON V, RUMSEY J, WHITE C, REISS A. Preliminary evidence of widespread morphological variations in the brain in dyslexia. *Neurology* 2001, **56** : 781-783

DÉMONET JF, TAYLOR M, CHAIX Y. Seminar: developmental dyslexia. *Lancet* 2004, **363** : 1451–1460

ECKERT MA. Neuroanatomical Markers for Dyslexia: A Review of Dyslexia Structural Imaging Studies. *The Neuroscientist* 2004, **10** : 362-371

ECKERT MA, LEONARD CM, RICHARDS TL, AYLWARD EH, THOMSON J, BERNINGER VW. Anatomical correlates of dyslexia: frontal and cerebellar findings. *Brain* 2003, **126** : 482-494

FAWCETT A, NICOLSON R, DEAN P. Impaired performance of children with dyslexia on a range of cerebellar tasks. *Ann Dyslexia* 1996, **46** : 259-283

FAWCETT AJ, NICOLSON RI. Performance of dyslexic children on cerebellar and cognitive tests. *J Motor Behav* 1999, **31** : 68-78

FIEZ JA, PETERSEN SE. Neuroimaging studies of word reading. *Proc Natl Acad Sci USA* 1998, **95** : 914-921

FINCH A, NICOLSON R, FAWCETT A. Evidence for a neuroanatomical difference within the olivo-cerebellar pathway of adults with dyslexia. *Cortex* 2002, **38** : 529- 539

GALABURDA AM, SHERMAN GF, ROSEN GD, ABOITIZ F, GESCHWIND N. Developmental dyslexia: four consecutive patients with cortical anomalies. *Annals of Neurology* 1985, **18** : 222–233

GIZEWSKI ER, TIMMANN D, FORSTING M. Specific cerebellar activation during Braille reading in blind subjects. *Hum Brain Mapp* 2004, **22** : 229-235

GRIFFITHS S, FRITH U. Evidence for an articulatory awareness deficit in adult dyslexics. *Dyslexia* 2002, **8** : 14-21

HABIB M. The neurological basis of developmental dyslexia: An overview and working hypothesis. *Brain* 2000, **123** : 2373-2399

HEILMAN KM, VOELLER K, ALEXANDER AW. Developmental dyslexia: A motor-articulatory feedback hypothesis. *Annals of Neurology* 1996, **39** : 407–412

HEIM S, KEIL A. Large-scale neural correlates of developmental dyslexia. *European Child & Adolescent Psychiatry* 2004, **13** : 125–140

IVRY RB, JUSTUS TC. A neural instantiation of the motor theory of speech perception. *TINS* 2001, **24** : 513-515

LALAIN M, JOLY-POTTUZ B, NGUYEN N, HABIB M. Dyslexia: the articulatory hypothesis revisited. *Brain & Cognition* 2003, **53** : 253–256

LEONARD C, ECKERT M, LOMBARDINO L, OAKLAND T, KRANZLER J, et coll. Anatomical risk factors for phonological dyslexia. *Cerebral Cortex* 2001, **11** : 148-157

MOE-NILSSEN R, HELBOSTAD JL, TALCOTT JB, TOENESSEN FE. Balance and gait in children with dyslexia. *Exp Brain Res* 2003, **150** : 237-244

MONTGOMERY D. Do dyslexics have difficulty accessing articulatory information. *Psychol Res* 1981, **43** : 235-243

MORETTI R, BAVA A, TORRE P, ANTONELLO R, CAZZATO G. Reading errors in patients with cerebellar vermis lesions. *J Neurol* 2002, **249** : 461-468

NICOLSON RI, FAWCETT AJ. Automaticity: a new framework for dyslexia research? *Cognition* 1990, **35** : 159-182

NICOLSON RI, FAWCETT AJ. Reaction times and dyslexia. *Quart J Exp Psychol* 1994, **47A** : 29-48

NICOLSON, RI, FAWCETT AJ, DEAN P. Time estimation deficits in developmental dyslexia: evidence for cerebellar involvement. *Proceedings of the Royal Society* 1995, **259** : 43–47

NICOLSON RI, FAWCETT AJ, BERRY EL, JENKINS IH, DEAN P, BROOKS DJ. Association of abnormal cerebellar activation with motor learning difficulties in dyslexic adults. *Lancet* 1999, **353** : 1662-1667

NICOLSON RI, FAWCETT AJ, DEAN P. Developmental dyslexia: the cerebellar deficit hypothesis. *Trends Neurosci* 2001, **24** : 508-511

RABERGER T, WIMMER H. On the automaticity/cerebellar deficit hypothesis of dyslexia: balancing and continuous rapid naming in dyslexics and ADHD children. *Neuropsychologia* 2003, **41** : 1493-1497

RAE C, HARASTY JA, DZENDROWSKYJ TE, TALCOTT JB, SIMPSON JM, et coll. Cerebellar morphology in developmental dyslexia. *Neuropsychologia* 2002, **1357** : 1–8

RAMUS F, PIDGEON E, FRITH U. The relationship between motor control and phonology in dyslexic children. *J Child Psychol Psychiat* 2003a, **44** : 712-722

RAMUS F, ROSEN S, DAKIN SC, DAY BL, CASTELLOTE JM, et coll. Theories of developmental dyslexia: insights from a multiple case study of dyslexic adults. *Brain* 2003b, **126** : 841-865

SCHMAHMANN JD. The Cerebellum and Cognition. Academic Press, San Diego, 1997

SCHMAHMANN JD, SHERMAN JC. Cerebellar cognitive affective syndrome. *Int Rev Neurobiol* 1997, **41** : 433-440

SCOTT R, STOODLEY C, ANSLOW P, PAUL C, STEIN J, et coll. Lateralized cognitive deficits in children following cerebellar lesions. *Dev Med Child Neurol* 2001, **43** : 685-691

STEIN J, WALSH V. To see but not to read: The magnocellular theory of dyslexia. *TINS* 1997, **20** : 147-152

STOODLEY CJ, FAWCETT AJ, NICOLSON RI, STEIN JF. Impaired balancing ability in dyslexic children. *Exp Brain Res* 2005, **26** : 1-11

TIFFIN-RICHARDS MC, HASSELHORN M, RICHARDS ML, BANASCHEWSKI T, ROTHENBERGER A. Time reproduction in finger tapping tasks by children with attention-deficit hyperactivity disorder and/or dyslexia. *Dyslexia* 2004, **10** : 299-315

WOLF M. Naming speed and reading: the contribution of the cognitive neurosciences. *Read Res Quart* 1991, **26** : 123-141

WOLF M, BOWERS P. The 'double-deficit hypothesis' for the developmental dyslexias. *J Educ Psychol* 1999, **91** : 1–24

WOLFF PH. Timing precision and rhythm in developmental dyslexia. *Reading and Writing: An Interdisciplinary Journal* 2002, **15** : 179–206

YAP R, VAN DER LEIJ A. Testing the automatization deficit hypothesis of dyslexia via a dual-task paradigm. *J Learn Disabil* 1994, **27** : 660-665

17

Théorie du trouble du traitement temporel

L'enfant dyslexique, et plus généralement l'enfant souffrant de trouble spécifique d'apprentissage, a très souvent des problèmes avec le temps en général, qu'il s'agisse de la gestion des aspects temporels liés à la réalisation des actes quotidiens, de la conscience et/ou la perception de la durée d'événements, ou encore de la discrimination d'événements brefs, tels que ceux constitutifs de la parole humaine. De très nombreuses études, utilisant des approches diverses, se sont penchées sur cette étrange caractéristique, dans le but de trouver un point commun entre cette dernière et les difficultés d'apprentissage elles-mêmes (Habib, 2000 ; Tallal, 2004).

Dans le présent chapitre, nous envisagerons en suivant un ordre grossièrement chronologique, l'évolution des idées ayant mené à la proposition de cette hypothèse, l'une des plus fameuses, mais aussi des plus décriées, tant pour ses bases théoriques que pour ses éventuelles applications thérapeutiques.

Paradigme de référence : le jugement d'ordre temporel

Le test le plus couramment utilisé dans la littérature pour évaluer un éventuel déficit de traitement temporel a certainement été le test de jugement d'ordre temporel (JOT ou TOJ, *Temporal order judgment*), rendu célèbre par les travaux de Tallal et Piercy (1973). Ces auteurs ont dans un premier temps comparé la performance d'enfants souffrant de trouble d'apprentissage du langage (se rapportant au concept de *Specific language impairment* ou SLI) à des sujets témoins indemnes sur une tâche de reproduction de deux tons dont l'intervalle inter-stimulus (ISI) variait entre 8 ms et 4 s. Pour les intervalles les plus longs, les performances ne différaient pas entre les deux groupes, mais à partir de 150 ms et en deçà, les témoins étaient nettement supérieurs. Les mêmes auteurs ont réalisé une tâche similaire avec des syllabes (ba/da : Tallal et Piercy, 1974), retrouvant la même tendance, puis ont démontré que la performance des patients se normalisait en augmentant la

durée des transitions consonantiques de 40 à 80 ms (Tallal et Piercy, 1975). Ainsi, l'idée sous-jacente était de démontrer qu'un déficit unique, de nature perceptive mais supramodale, était capable d'expliquer un développement atypique du langage, postulant plus précisément une incapacité de ces enfants à traiter convenablement les stimuli brefs et en succession rapide comme cela est le cas à la fois des stimuli de l'épreuve de TOJ et des éléments de la parole humaine. Toutefois, toutes ces études portaient sur des patients ayant en commun des difficultés d'intensité variable dans divers aspects du langage, mais ne s'étaient pas encore penchées spécifiquement sur les troubles du langage écrit.

Jugement d'ordre temporel chez le dyslexique

En 1980, Tallal propose pour la première fois d'étendre sa théorie explicative à la dyslexie, marquant le début d'une vaste et longue polémique, qui dure encore aujourd'hui, autour de la notion d'une origine perceptive aux troubles d'apprentissage de la lecture. Par analogie avec ses études chez les dysphasiques, Tallal (1980) compara 20 sujets en difficulté de lecture, âgés de 8 à 12 ans (moyenne 9,7 ans), à 12 normolecteurs de moyenne d'âge 8,5 ans, sur une tâche depuis lors dénommée *Tallal's repetition test*, tâche qui repose sur des jugements de similitude ou d'ordre temporel entre deux stimuli non verbaux (sons complexes) de 75 ms de durée, différant seulement par leur fréquence fondamentale. Dans une première partie du test, les sujets étaient d'abord entraînés à appuyer sur l'un des deux boutons d'une boîte de réponse, en entendant le stimulus « haut » (H) et le stimulus « bas » (B), jusqu'à ce qu'ils aient atteint un critère de 20 bonnes réponses sur 24. Puis, ils étaient entraînés à répondre à des paires de stimuli (H-H, B-B, H-B, B-H) séparés d'un ISI de 428 ms. Enfin, les mêmes paires étaient présentées à des ISI plus courts s'étendant de 8 à 305 ms.

L'auteur ne retrouva aucune différence entre les deux groupes dans la phase d'apprentissage, ni dans la phase de test avec des paires séparées par des intervalles de 429 ms. En revanche, des différences très significatives apparurent pour les ISI plus courts, 45 % des dyslexiques se situant en dessous de la performance du plus faible contrôle, suggérant que, comme pour les dysphasiques, le cerveau de ces enfants était en déficit pour traiter les événements brefs et en succession rapide, et non les mêmes éléments séparés par de plus larges intervalles. Le point fondamental de ces résultats, et de l'interprétation qui en a été faite, est l'analogie proposée entre la valeur de l'intervalle inter-stimulus où ces enfants se trouvent en difficulté, et la durée de certaines composantes du langage articulé, et tout particulièrement les consonnes occlusives dont la durée normale avoisine 40 ms, expliquant alors les difficultés que rencontrent certains dyslexiques dans la discrimination

des consonnes. La plupart du temps, les voyelles ne posent pas ce type de problème, puisqu'elles sont de longue durée et que leur discrimination ne repose pas sur la perception de changements acoustiques brefs, comme pour les consonnes.

Dans cette même étude, Tallal rapporte également une forte corrélation (r=0,81) entre la performance des dyslexiques au subtest avec brefs ISI et une épreuve de lecture de pseudo-mots, suggérant un lien très fort entre le déficit de traitement temporel et les mécanismes sous-jacents au déficit de conversion grapho-phonémique nécessaire à la réalisation de cette tâche de lecture. Cette étude a donné lieu à de nombreuses critiques, principalement liées au fait que le déficit est loin d'être constant (seulement la moitié des enfants de l'étude) et que, seuls les sons non verbaux ayant été testés, on ne peut trancher sur le caractère linguistique ou plus général du problème.

Suite à cette étude, de très nombreux auteurs se sont penchés sur le paradigme du TOJ, en questionnant les mécanismes exacts de son déficit chez le dyslexique, et les possibles biais pouvant expliquer les résultats de Tallal. Si la première revue de littérature sur le sujet (Farmer et Klein, 1995) était dans l'ensemble assez favorable à l'hypothèse temporelle, il n'en fut pas toujours ainsi.

Les principales objections sont venues de l'équipe de Studdert-Kennedy (Studdert-Kennedy et Mody, 1995), qui ont apporté deux arguments susceptibles de contrer la démonstration de Tallal : dans un premier temps, ils ont montré que le déficit de JOT sur des paires de syllabes chez les enfants dyslexiques disparaît si, en lieu et place des syllabes naturelles, on utilise de la « non-parole », c'est-à-dire un équivalent synthétique des syllabes : pour la non-parole, les mauvais lecteurs ne sont pas significativement différents des témoins (Mody et coll., 1997). Par ailleurs, si au lieu de ba/da on teste sa/sha, la différence témoins/dyslexiques disparaît, ce qui suggère que le déficit observé dépend de caractéristiques intrinsèques aux stimuli, et non de facteurs généraux tels que leur durée. Une analyse critique de ce travail (Dennenberg, 1999) a cependant relevé beaucoup de faiblesses dans l'approche de ces auteurs, soulignant en particulier qu'une argumentation destinée à prouver qu'une théorie est fausse doit faire appel à des outils statistiques très précis et en particulier nécessite une bien plus forte significativité pour être convaincante. En outre, l'étude de Mody et coll. (1997) comparait des sujets non dyslexiques, bons et moins bons lecteurs, ce qui peut évidemment expliquer beaucoup des contradictions observées. D'autres arguments négatifs ont été apportés par des études anglaises (Bishop et coll., 1999a et b ; pour une discussion détaillée voir Bailey et Snowling, 2002). Ces auteurs ont en effet montré que lorsqu'on compare les niveaux, au sein de couples de jumeaux dyslexiques ou non, de leurs capacités phonologiques, il existe une certaine similitude entre jumeaux

monozygotes qui permet d'affirmer l'héritabilité du trait. Or, si on effectue un test de JOT chez les mêmes sujets, on s'aperçoit que certes les sujets dyslexiques ont une performance inférieure au JOT, mais sans aucune héritabilité, ce qui signifie que le trouble du traitement auditif, s'il existe, ne possède pas le même caractère génétique que le trouble phonologique lui-même, ce qui est évidemment problématique si on veut établir un lien entre les deux, comme le fait Tallal. D'autre part, divers auteurs (Wright et coll., 1997 ; Rosen et Manganari, 2001) ont exploré le lien entre trouble auditif et trouble phonologique en testant l'hypothèse que les sujets dyslexiques auraient un phénomène de masquage rétrograde insuffisant (la persistance anormale de l'information auditive par défaut de masquage entraînerait un brouillage de l'information et, par là, un déficit de perception). Cette différence aux dépens des dyslexiques fut effectivement retrouvée, mais un pourcentage de sujets non dyslexiques possédaient le même déficit sans aucune incidence sur leurs capacités d'apprentissage, ce qui est évidemment un argument contre l'idée que le trouble auditif soit une condition nécessaire et suffisante au trouble phonologique et donc au trouble de la lecture. Dans le même esprit, Share et coll. (2002) font remarquer, après avoir testé plus de 500 enfants à l'aide du test de répétition de Tallal, que les déficits observés chez les dyslexiques :

- peuvent être retrouvés même pour des intervalles inter-stimuli longs (et pas seulement pour les brefs) ;
- ne sont pas présents par comparaison à des témoins appariés en âge de lecture ;
- un déficit temporel n'implique pas systématiquement un déficit ultérieur sur des mesures phonologiques ou de lecture.

Ils en concluent que le déficit de conscience phonologique caractéristique de la dyslexie n'est pas nécessairement une conséquence d'un trouble du traitement temporel, mais que le déficit temporel est plus vraisemblablement associé au trouble du langage oral définissant la dysphasie qu'au trouble phonologique caractéristique de la dyslexie.

À l'inverse, un certain nombre de travaux récents utilisant le JOT chez le dyslexique vont plutôt dans le sens de l'hypothèse de Tallal. Rey et coll. (2002) ont démontré que le déficit de jugement d'ordre temporel existait aussi si les deux stimuli étaient non plus des sons mais des phonèmes au sein d'un pseudo-mot (/apsa/*versus*/aspa/). En outre, ce déficit s'amenuisait si l'on présentait aux sujets les mêmes pseudo-mots dans lesquels les deux consonnes étaient ralenties.

La même année, Heiervang et coll. (2002) ont repris le protocole du test de répétition de tons de Tallal, en évaluant des degrés croissants d'intervalles inter-stimuli, en y rajoutant une composante supplémentaire, la durée des sons, soit de 75 ms, soit de 250 ms. Pour les sons de 250 ms, les dyslexiques ne différaient pas des témoins, alors que pour les sons de 75 ms, les dyslexi-

ques se distinguaient d'autant plus franchement des témoins que l'ISI s'amenuisait (figure 17.1), confirmant la nécessité des deux composantes, la brièveté des stimuli et la rapidité de leur succession, pour voir apparaître le déficit. Toutefois, ces déficits n'étaient pas corrélés aux épreuves de lecture.

Figure 17.1 : Performances de sujets dyslexiques et normolecteurs dans une tâche de jugement d'ordre temporel utilisant des sons complexes de deux durées différentes (Heiervang et coll., 2002).
On note une chute de la performance des dyslexiques avec la diminution de l'intervalle inter-stimulus, seulement dans la condition où les sons sont de brève durée

Ce résultat n'en reste pas moins une confirmation de la thèse de Tallal, pour qui même si la majorité des dyslexiques ne présente pas de déficit temporel, cela ne remet pas en question la théorie du déficit temporel (par exemple en imaginant un déficit précoce, suffisant pour compromettre la mise en place des représentations phonologiques, mais qui sous l'effet de divers facteurs d'environnement, ou de la simple expérience de la langue maternelle, va ultérieurement disparaître, tout en laissant un déficit, éventuellement sévère, des processus phonologiques). D'autres vont également dans ce sens, tel le travail récent de Ben-Artzi et coll. (2005), utilisant une présentation di-otique du même son (pour éviter le biais lié à un éventuel traitement holistique du pattern que constitue le doublet de sons). Mais d'autres encore restent très opposés à la théorie (Rosen, 2003 ; Ramus, 2003a et b), avançant essentiellement trois arguments :

• un déficit temporel n'est présent que chez une minorité d'enfants dyslexiques ;
• les déficits observés ne sont pas toujours limités aux stimuli brefs ou rapides ;
• les difficultés perceptives sont souvent non corrélées aux problèmes phonologiques (Bretherton et Holmes, 2003).

Déficit temporel au-delà du jugement d'ordre temporel

Une autre considération importante a trait à l'éventuelle hétérogénéité des concepts sous-tendus par le terme « déficit temporel ». En effet, si le JOT a été le plus étudié, et en général retrouvé déficitaire chez le dyslexique, il a été rarement mis en relation avec d'autres aspects du traitement temporel, comme par exemple le jugement de durée relative d'un stimulus. Par exemple, Walker et coll. (2002) ont proposé à de jeunes adultes dyslexiques des triplets de tons dont les éléments différaient soit en fréquence soit en durée. Par rapport à un groupe de témoins normolecteurs, les dyslexiques présentaient un déficit significatif de discrimination de la durée et non de la hauteur fréquentielle. En outre, ce déficit était significativement corrélé aux performances en lecture. Enfin, certaines études ont été consacrées à une comparaison de dyslexiques et d'enfants hyperactifs sur des tâches de jugement de durée. Ainsi, Toplak et coll. (2003) ont étudié 50 enfants et 58 adolescents présentant soit un trouble déficit de l'attention/hyperactivité (TDAH) isolé, soit associé à des troubles de lecture. Dans les deux populations d'hyperactifs, enfants et adolescents, des déficits de discrimination de durée et de reproduction d'un court intervalle ont été observés, surtout chez les sujets présentant l'association TDAH + trouble de lecture. Dans une autre étude (MacGee et coll., 2004), il s'agissait pour les sujets d'évaluer la perception du temps passé durant une période de 30 s et le temps passé durant la passation de l'échelle de Conners. Les hyperactifs et non les dyslexiques se sont avérés modérément déficitaires dans ces tâches.

Une question qui se pose alors est celle du lien entre perception de la durée, jugement d'ordre temporel et conscience phonologique. Dans le travail précédemment cité, Daffaure et coll. (2001) ont recherché ce lien chez 23 dyslexiques et 20 témoins appariés en âge de lecture. De manière intéressante, les deux marqueurs de déficit temporel sont chacun corrélés très significativement avec la performance en conscience phonologique, mais non corrélés entre eux (figure 17.2), laissant penser qu'ils interviennent de façon séparée sur la performance en conscience phonologique.

Figure 17.2 : Corrélations entre les différents indicateurs de déficit temporel et la performance globale en conscience phonologique chez 23 enfants dyslexiques et 20 témoins appariés en âge de lecture (d'après Daffaure et coll., 2001)

Ce dernier résultat possède trois implications importantes. La première est qu'il permet de répondre à une des principales objections à l'hypothèse du déficit temporel dans la dyslexie, l'absence de lien avec le déficit phonologique, puisque, au moins dans cette étude, JOT et phonologie sont fortement corrélés, cette corrélation restant significative si l'on exclut les sujets témoins. Parmi les nombreuses raisons méthodologiques qui peuvent expliquer les discordances entre les différents travaux à ce sujet, le recrutement des dyslexiques et la nature des tests utilisés doivent être pris en considération.

Le deuxième point est que, d'après ces résultats, il convient de distinguer différents niveaux de déficit temporel, au moins deux d'entre eux semblant partiellement indépendants : la reproduction d'une succession de stimuli auditifs, et la perception de la durée relative de deux stimuli. Les données de la littérature récente en neuro-imagerie laissent penser que le traitement temporel est sous-tendu par de vastes réseaux bi-hémisphériques, comprenant des structures corticales, sous-corticales et cérébelleuses, et que ces structures sont mises en jeu de manière variable selon la nature de la tâche (Jantzen et coll., 2005).

Le dernier point nous ramène au concept de dyschronie : ces résultats suggèrent que des aspects du traitement temporel aussi différents que la génération d'un rythme, la perception d'une durée, ou encore la reproduction de l'ordre d'une succession, de même que, chose étonnante, l'utilisation des notions temporelles dans un contexte social, sont probablement sous-tendus par des mécanismes au moins en partie communs (Rubia et Smith, 2004), et dont l'efficience est susceptible d'être altérée chez le dyslexique.

Traitement temporel dans des modalités autres qu'auditives

Il est clair, d'après ce qui a été dit jusqu'ici, que l'aspect le plus commenté (et le plus contesté) de la théorie du trouble du traitement temporel, est le niveau perceptif et non linguistique du déficit postulé. Or un autre postulat, non moins important, de la théorie est le caractère supra-modal du déficit, ce qui implique qu'il devrait pouvoir être mis en évidence dans les autres modalités que la modalité auditive.

Tallal et son équipe (Johnston et coll., 1981; Tallal et coll., 1985) avaient déjà observé que les enfants SLI avaient des difficultés à identifier lequel de deux doigts d'une même main étaient touchés simultanément. Stoodley et coll. (2000) ont retrouvé que des adultes dyslexiques étaient également déficitaires sur une tâche de détection d'un stimulus vibratoire, lorsque la vibration était de 3 Hz mais non lorsqu'elle était de 30 ou 300 Hz. Enfin, Grant et coll. (1999) ont retrouvé une élévation des seuils de discrimination tactile de l'orientation et de la largeur de grilles de stimuli palpés à l'aveugle par la pulpe des doigts. Ces auteurs signalent marginalement que leur sujets avaient également des déficits dans la modalité visuelle (épreuve de masquage), ce qui suggère, pour eux, que le déficit se situe au-delà des modalités sensorielles et proposent l'hypothèse qu'ici aussi, comme dans la modalité auditive, le déficit porterait sur le traitement d'une succession rapide d'informations.

On conçoit le caractère crucial de la démonstration d'un déficit de nature temporelle dans une modalité autre qu'auditive, mais encore faut-il démontrer que le déficit existe dans les deux modalités chez un même individu.

C'est ce qu'ont tenté de faire Witton et coll. (1998) en examinant 21 adultes dyslexiques et 23 témoins appariés à l'aide d'une tâche auditive de détection de modulation de fréquence et d'une tâche visuelle dynamique mesurant le seuil de détection d'un ensemble de points se déplaçant de manière cohérente. Les résultats montrèrent que les dyslexiques sont moins sensibles à la fois à la modulation de fréquence et au mouvement des stimuli visuels. En moyenne, les données individuelles montraient que la moitié des

dyslexiques avaient un déficit auditif, et un quart un déficit visuel. En outre, il existait une corrélation très significative, chez les témoins et chez les dyslexiques, entre les deux mesures, de même qu'entre chacune des deux mesures et le trouble phonologique des dyslexiques.

Utilisant deux tâches, l'une visuelle (test de Ternus) l'autre auditive (test de répétition de Tallal) chez des enfants mauvais lecteurs, Cestnick et Coltheart (1999), puis Cestnick et Jerger (2000) et enfin Cestnick (2001) ont retrouvé un déficit de traitement temporel dans les deux modalités, avec une corrélation significative entre les deux, spécialement pour un sous-groupe de dyslexiques classés comme phonologiques à l'aide d'une épreuve de lecture de mots et de pseudo-mots. Ces auteurs interprètent leurs résultats comme témoignant d'une atteinte combinée des corps genouillés latéraux (visuels) et médians (auditifs) spécifiquement chez les dyslexiques de type phonologique.

De manière certainement plus complète, Laasonen et coll. (2001) ont étudié de jeunes adultes, dyslexiques ou non, dans des tâches de jugement d'ordre temporel sur des stimuli soit auditifs (tons de hauteur différente), soit visuels (flashs lumineux), soit tactiles (indentations palpées par la pulpe du doigt). En outre, les mêmes stimuli étaient utilisés dans une tâche dite « d'acuité de traitement temporel » où, sans avoir à faire de jugement d'ordre, les sujets devaient juger de la simultanéité ou non de deux séries de 3 stimuli. Dans toutes ces tâches, les adultes dyslexiques étaient significativement plus faibles que les témoins.

Des résultats sensiblement différents ont été obtenus plus récemment par Edwards et coll. (2004) chez des enfants dyslexiques. Ces auteurs ont utilisé une batterie de 12 tâches incluant deux tâches auditives (localisation dichotique de la hauteur dans une mélodie de 4 tons et discrimination de modulation de fréquence) et deux visuelles (perception du mouvement global d'un ensemble de points permettant de discriminer la forme d'une flèche masquée parmi les points et une tâche de sensibilité au contraste). La batterie au complet permit de classer avec succès près de 80 % des enfants entre dyslexiques et témoins, la présence d'un déficit de nature temporelle pouvant donc être considérée comme très spécifique des dyslexiques, mais la plupart des enfants déficitaires l'étaient dans une des deux modalités seulement, et le nombre d'enfants déficitaires en modalité auditive et en modalité visuelle était équivalent. Les deux tâches qui se sont avérées les plus déficitaires chez les dyslexiques étaient la tâche de localisation dichotique de mélodie, et la tâche de perception visuelle du mouvement. Ces deux tâches ayant en commun de nécessiter l'analyse puis la reconstruction du stimulus pour pouvoir distinguer le signal du fond, les auteurs en déduisent que plutôt que d'un déficit temporel général, leurs données sont en faveur d'une difficulté à extraire d'un bruit de fond le signal d'un stimulus modulé temporellement.

Pour revenir brièvement à la modalité tactilo-kinesthésique, il est intéressant de rapporter ici le travail récent de Renvall et coll. (2005) qui ont utilisé la technique des champs évoqués somato-sensoriels (potentiels évoqués somesthésiques) chez 8 adultes dyslexiques et 8 normolecteurs. Trois stimuli successifs produits par des diaphragmes mobilisés par de l'air comprimé étaient délivrés selon une séquence pouce-index-pouce, avec une asynchronie du début du stimulus de 100 ou 200 ms selon les essais. Alors que le cortex somato-sensoriel primaire répondit de façon identique à la première stimulation chez les dyslexiques et les témoins, la deuxième stimulation provoqua une réponse bien moindre chez les dyslexiques, surtout pour la condition la plus rapide, résultat que les auteurs considèrent comme compatible avec la nature pansensorielle du déficit temporel dans la dyslexie. Ce résultat est également compatible, comme nous le reverrons, avec l'idée que le déficit perceptif est d'autant plus net que les stimuli à percevoir sont intégrés dans une série ou une succession d'événements distincts (Kujala et coll., 2000).

Traitement temporel intermodalitaire chez le dyslexique

Les résultats les plus pertinents dans ce contexte sont indubitablement ceux obtenus à partir d'études non plus seulement de plusieurs systèmes perceptifs chez un même sujet, mais de la confrontation de plusieurs modalités dans une même tâche, réalisant une condition de transfert intermodalitaire. Parmi les premiers à s'être penchés sur ce type d'approche figurent Rose et coll. (1999) qui ont examiné un nombre important d'enfants bons et mauvais lecteurs sur une épreuve comportant la comparaison de deux patterns de stimuli brefs soit visuels, soit auditifs, soit l'un visuel l'autre auditif (condition intermodalitaire). Dans toutes les conditions, les mauvais lecteurs se sont montrés déficitaires. En outre, les performances déficitaires étaient corrélées à un score composite d'efficience en lecture, les sujets les plus en difficulté dans les tâches de traitement temporel étant également les plus déficitaires dans les épreuves de lecture.

Certainement plus convaincants sont les résultats de l'équipe finlandaise déjà citée (Laasonen et coll., 2000 et 2002), qui ont utilisé un paradigme de jugement de simultanéité ou non de triplets de brefs stimuli dans des tâches impliquant trois modalités sensorielles différentes (audio-visuelle, audio-tactile et visuo-tactile). Deux protocoles différents ont été utilisés : un protocole de jugement d'ordre temporel (JOT) et un protocole de jugement de simultanéité, dit « d'acuité temporelle ». Tant chez des enfants que des adultes dyslexiques, ces protocoles ont mis en évidence des différences très nettes dans la majorité des combinaisons étudiées. En particulier dans la condition audiovisuelle chez l'enfant et dans la condition audio-tactile chez l'adulte,

les performances sont significativement déficitaires chez les dyslexiques, dans les deux types de protocoles. Pour les auteurs, ces résultats permettent d'affirmer qu'au-delà de l'altération multimodalitaire suspectée par Tallal dès les premières formulations de sa théorie, il existe chez le dyslexique un déficit du traitement temporel nécessitant la mise en commun d'informations provenant au cerveau par divers canaux sensoriels. En outre, observant que les tâches « d'acuité temporelle » sont les mieux corrélées aux tâches phonologiques, ces auteurs présument que le mécanisme commun entre le déficit temporel et le trouble de la lecture, même s'il n'est pas causal, est plus probablement lié à la notion de simultanéité qu'à celle du jugement d'ordre temporel de deux stimuli.

Plus récemment, un travail original est venu apporter un éclairage nouveau à cette problématique. Hairston et coll. (2005) ont ainsi proposé à 36 adultes dyslexiques et 29 témoins appariés une tâche originale comportant deux composantes en parallèle : une tâche classique de TOJ visuel, où les sujets devaient décider le plus rapidement possible lequel de deux cercles présentés successivement sur deux positions d'un écran est apparu le premier. En outre, deux stimuli auditifs étaient adressés au sujet, le premier contemporain du premier stimulus visuel, le second survenant après un intervalle variable suivant le deuxième stimulus visuel, de 0 à 350 ms. Assez paradoxalement, l'insertion d'un délai entre le second stimulus visuel et le second stimulus auditif a un effet facilitateur, dans le sens qu'il améliore la performance de sujets témoins dans la tâche de TOJ visuel. À l'inverse, les dyslexiques améliorent leur performance même lorsque le délai est nul (0 milliseconde) et ce jusqu'à des délais allant jusqu'à 350 ms. L'interprétation des auteurs est que l'observation d'une facilitation après un indice temporellement décalé reflète les dimensions d'une fenêtre temporelle pendant laquelle le système effectue l'intégration des deux stimuli. La performance des dyslexiques traduirait alors une fenêtre d'intégration plus étendue, de sorte que même des indices auditifs apparaissant très tardivement seront susceptibles de jouer leur effet facilitateur sur la performance au TOJ (figure 17.3). L'extension anormale de cette fenêtre temporelle chez le dyslexique aurait alors pour effet d'altérer les processus dépendant du couplage rapide et précis de deux informations provenant de modalités différentes, comme par exemple ceux mis en jeu lors de la conversion grapho-phonémique. L'élargissement de la fenêtre induirait des erreurs de transcodage, résultant en un affaiblissement de la performance en lecture, tant en termes d'erreurs que de rapidité de lecture.

Figure 17.3 : Proposition d'un modèle faisant appel à un élargissement de la fenêtre d'intégration chez les dyslexiques (Hairston et coll., 2005).
Même lorsque le stimulus auditif intervient tardivement (350 ms) après le stimulus visuel, il facilite la performance d'enfants dyslexiques dans une tâche de TOJ visuel, prouvant qu'ils ont un élargissement anormal de la fenêtre d'intégration. V : stimulus visuel ; A : stimulus auditif

Citons pour terminer un paradigme potentiellement très intéressant pour tester le traitement temporel en condition intermodalitaire : l'effet Mc-Gurk (McGurk et MacDonald, 1976), qui survient lorsqu'un sujet voit et entend un locuteur produire des segments de parole incongruents entre ce qui est perçu auditivement et visuellement. Par exemple, un effet McGurk classique consiste à entendre la syllabe /ta/ alors que le locuteur a prononcé /ga/ mais que l'auditeur le voit en train de prononcer /pa/. Cet effet, très robuste chez le sujet normal a été retrouvé altéré chez le sujet dyslexique, suggérant un déficit de l'intégration multisensorielle. En effet, les dyslexiques, au lieu de l'illusion perceptive normale, ont tendance à prononcer le son perçu visuellement sur le visage du locuteur (Hayes et coll., 2003). De manière frappante, les régions cérébrales impliquées dans l'effet McGurk, comme l'ont montré quelques travaux en imagerie fonctionnelle, sont principalement l'aire de Broca et une zone temporale inférieure proche de l'aire de reconnaissance visuelle des mots (Jones et Callan, 2003).

Au terme de ce panorama des études sur le déficit du traitement temporel dans la dyslexie, il est clair qu'il s'agit là, au-delà d'une intuition séduisante, d'un fait expérimental largement prouvé même si les avis divergent encore tant sur l'acception de l'expression « déficit temporel » que sur ses liens

exacts avec le trouble de la lecture lui-même. Finalement, la question n'est pas tant de savoir si ce déficit temporel explique ou non le trouble de la lecture que de constater la co-occurrence, au moins dans une importante proportion des cas, des deux conditions. Il pourrait en effet s'avérer bien plus fructueux de raisonner en termes de co-occurrence que de causalité, avec comme toile de fond l'idée que si deux états coexistent plus souvent que ne le voudrait le hasard, alors il existe nécessairement un lien entre les deux, lien dont la nature pourrait apporter des indications majeures et mérite donc une investigation approfondie. Le dernier paragraphe de ce chapitre propose quelques pistes à cet effet.

Vers un nouveau modèle intégratif

Les données envisagées dans les paragraphes précédents nous ont apporté plusieurs informations dignes d'intérêt. Si l'on considère la dyslexie non plus seulement comme un trouble de la lecture, mais comme un regroupement syndromique de divers symptômes ayant en commun leur co-occurrence possible chez un même individu, cela suscite des questionnements en termes non plus de causalité mais de mécanismes communs entre ces divers symptômes. Ces différents symptômes sont, du point de vue neuropsychologique, de nature fondamentalement différente, les uns étant d'ordre purement sensori-moteur, impliquant à un niveau relativement élémentaire les différents systèmes perceptifs et moteurs, les autres franchement cognitifs, impliquant des fonctions plus sophistiquées telles que la mémoire de travail, les fonctions exécutives ou encore l'intégration à haut niveau d'informations provenant de divers systèmes. Les deux approches théoriques les plus aptes à faire le lien entre les différents symptômes observés, la théorie du déficit cérébelleux et celle du déficit de traitement temporel ont en commun de pouvoir rendre compte de déficits à ces différents niveaux, à la différence de tous les autres modèles explicatifs, qui restent soit au niveau sensoriel (théorie magnocellulaire), soit au niveau cognitif (théorie phonologique, ou encore théorie du double déficit). Enfin, ces deux théories ont également en commun de prendre en considération de façon centrale deux aspects souvent négligés par les autres théories : la dimension temporelle et la dynamique d'apprentissage.

Or, il existe en neurosciences un modèle classique d'apprentissage qui donne précisément un rôle crucial à la dimension temporelle : le fameux modèle de la « synapse de Hebb ».

Modèle classique revisité : la synapse de Hebb

Selon la formulation initiale de Hebb (1949), lorsque deux neurones A et B sont en situation de proximité et que le neurone A décharge alors que B est

activé, alors les liens réciproques entre A et B seront renforcés. À l'inverse, si A décharge alors que B est inactif, les liens entre les deux neurones sont inhibés. Transposé à la notion de synapse, ce phénomène, que Hebb appelait « apprentissage temporellement asymétrique », constitue un véritable instrument de détection de la différence temporelle entre les potentiels d'entrée et de sortie d'un neurone. Hebb faisait référence à l'existence de périodes réfractaires absolue et relative, suivant l'activation d'un neurone. Par la suite, il a été démontré que si la synapse d'entrée d'un neurone est activée légèrement avant que le neurone ne décharge, cette synapse est renforcée, si elle est activée légèrement après, elle s'en trouvera affaiblie (Sejnowski, 1999). On peut ainsi imaginer qu'un minime décalage temporel entre la mise en activité de neurones appartenant à un même groupement fonctionnel altère durablement la fonctionnalité de ce groupe de neurones, par exemple au niveau de la représentation articulatoire des phonèmes ou encore de leur représentation auditive (Tallal, 2004).

Ainsi, dans une étude de la représentation du phonème voisé [B] sur le cortex auditif gauche d'adultes dyslexiques encore sévèrement déficitaires, Giraud et coll. (2005) ont récemment montré que le potentiel évoqué auditif caractéristique de ce phonème était systématiquement altéré dans le sens d'une dégradation des relations temporelles entre les divers événements électrophysiologiques qui caractérisent au niveau cortical la perception du stimulus acoustique. Cette dégradation peut prendre plusieurs formes, soit une perte du signal de fin du stimulus, ce dernier se traduisant parfois de façon anarchique par le prolongement anormal de l'activité signalant la fin du stimulus, soit une abolition pure et simple de la portion de l'activité électrique spécifique au voisement, réalisant un aspect électrophysiologique ne permettant plus de distinguer le phonème voisé du non voisé (en l'occurrence le phonème /P/). Du point de vue anatomique, il a été démontré que les neurones spécifiques au voisement se situent chez le singe, et probablement chez l'homme, dans une portion spécifique du cortex auditif primaire, plus particulièrement dans la région antérieure et médiale du gyrus de Heschl (Steinschneider et coll., 2004), ce qui laisse penser que c'est probablement ces groupes de neurones qui dysfonctionnent lors de la perception du voisement chez le dyslexique. En définitive, tout se passe comme si le processus, probablement très précoce, qui mène à la ségrégation de groupes de neurones pour la fonction spécifique de perception du voisement, ne s'était pas déroulé de manière correcte sous l'influence du contact répété avec la langue maternelle, et que les différentes étapes constitutives du décodage du son, normalement sans doute génétiquement programmées, s'en trouvaient perturbées dans leur succession temporelle.

Si l'on se réfère à présent au modèle de la synapse de Hebb, on peut concevoir que lors de la mise en place des neurones spécifiques au voisement, un décalage temporel entre l'entrée et la sortie du système aurait perturbé la

ségrégation des neurones « voisement-spécifiques » dans le sens soit d'une moindre spécificité (un plus grand nombre de neurones se mettent en activité lors de la perception d'une consonne voisée, et ce dans une fenêtre temporelle anormalement large), soit d'une moindre sensibilité aux caractéristiques temporelles du stimulus (les neurones en question ne se mettent pas plus en jeu lors de la perception du phonème voisé que non voisé).

En d'autres termes, une perturbation minime de la simultanéité d'activation des différents éléments cellulaires du système, en réduisant la force de leurs connexions réciproques, serait suffisante pour l'empêcher d'acquérir sa fonction de perception spécifique du voisement, simplement parce que cette dernière est, parmi les caractéristiques de la parole humaine, la plus dépendante de l'organisation temporelle du stimulus.

En appliquant un raisonnement similaire à la notion de transcodage graphophonémique, on peut imaginer que l'apprentissage si particulier de la mise en relation d'un nombre discret de graphèmes avec des éléments ou des groupes d'éléments sonores constitutifs de la langue orale, puisse être mis en péril si, lors de l'apprentissage, chacun des éléments est perçu de manière intacte, mais temporellement asynchrone. C'est du reste le raisonnement qu'ont tenu récemment Breznitz et Meyler (2003) dans une étude électrophysiologique très élégante dans laquelle ils comparent des enfants dyslexiques et normolecteurs sur des tâches de perception auditive (bips ou phonèmes), visuelle (flashs ou lettres) et intermodale (bips et flashs). Les tâches perceptives unimodales étaient construites selon le paradigme « *odd-ball* », avec une réponse par appui sur une touche pour le stimulus fréquent et sur une autre touche pour le stimulus rare. Pour les tâches intermodales, ils devaient appuyer sur une touche lorsque les deux stimuli survenaient simultanément, et sur une autre lorsqu'ils survenaient de façon séparée. Les résultats montrèrent d'une part une augmentation significative des latences des ondes P2 et P3 chez les dyslexiques dans les conditions unimodalitaires, mais d'autre part et surtout un allongement des latences P3 chez les dyslexiques pour la condition intermodale par rapport aux autres conditions. Bien que ces constatations méritent confirmation et que leur interprétation reste sujette à caution, elles n'en constituent pas moins une avancée significative dans la compréhension des mécanismes de transcodage visuo-phonologique chez le dyslexique.

L'acquisition des aptitudes mathématiques est également un domaine où la simultanéité de l'arrivée de deux informations différentes pourrait être indispensable à un apprentissage normal. Les travaux de neuro-imagerie consacrés à l'anatomie du calcul ont nettement montré l'implication séparée de deux modules bien distincts ; l'un fronto-temporal gauche, impliqué dans les aspects lexicaux, syntaxiques et sémantiques du code numérique, incluant la signification des principales opérations ; l'autre bi-pariétal, abritant des mécanismes spécifiques permettant d'aboutir à une représentation mentale des nombres sous forme de magnitude relative plutôt que d'une grandeur

absolue. Une dernière représentation du nombre, sous forme écrite cette fois, fait appel aux modules inféro-temporaux impliqués dans la reconnaissance visuelle des mots. Selon ce « modèle du triple code » (Dehaene, 2001), après un apprentissage adéquat, le nombre va se trouver représenté sous trois formats différents : un verbal sous forme de mots et de stratégies opératoires ; un écrit, sous forme de chiffres arabes ; le dernier plus abstrait, sous forme de quantité, indispensable à l'acquisition de la notion de cardinalité, sans laquelle aucun réel accès au raisonnement mathématique n'est possible. Or, c'est précisément le problème de la majorité des dyscalculiques que de ne pouvoir établir de liens entre le nombre et la grandeur qu'il représente. Tout se passe comme si les nombres pouvaient être manipulés de façon plus ou moins efficiente dans leur abstraction, mais se trouvaient totalement déconnectés de leur représentation dans le réel.

Finalement, le modèle hebbien d'apprentissage permet d'effectuer la jonction entre les deux hypothèses détaillées dans ce chapitre et dans le chapitre sur la théorie cérebelleuse : en fournissant à la seconde une dimension temporelle et à la première une dynamique développementale. Les troubles de perception auditive ou visuelle, la dyschronie, voire le trouble phonologique ne seraient alors que des témoins d'un processus général dont une partie seulement des conséquences influe sur les apprentissages, et par là participe à l'incapacité.

En conclusion, les changements que pourrait induire un tel renouveau dans les concepts pourraient être considérables, tant dans les orientations de la recherche fondamentale que dans les tendances thérapeutiques encore aujourd'hui trop empreintes d'empirisme voire de fatalisme. Comprendre, par exemple, comment et pourquoi une rééducation psychomotrice peut aider un enfant à mieux apprendre à lire, ce qui est loin d'être prouvé, n'admet probablement pas une réponse univoque, mais nécessite un effort collaboratif entre chercheurs, thérapeutes et pédagogues, autour de programmes de recherche concertés basés sur des hypothèses fortes et unificatrices.

BIBLIOGRAPHIE

BAILEY PJ, SNOWLING MJ. Auditory processing and the development of language and literacy. *B M Bull* 2002, **63** : 135-146

BEN-ARTZI E, FOSTICK L, BABKOFF H. Deficits in temporal-order judgments in dyslexia: evidence from diotic stimuli differing spectrally and from dichotic stimuli differing only by perceived location. *Neuropsychologia* 2005, **43** : 714–723

BISHOP DVM, BISHOP SJ, BRIGHT P, JAMES C, DELANEY T, TALLAL P. Different origin of auditory and phonological processing problems in children with language impairment: Evidence from a twin study. *J Speech Lang Hear Res* 1999a, **42** : 155–68

BISHOP DVM, CARLYON RP, DEEKS JM, BISHOP SJ. Auditory temporal processing impairment: Neither necessary nor sufficient for causing language impairment in children. *J Speech Lang Hear Res* 1999b, **42** : 1295–1310

BRETHERTON L, HOLMES VM. The relationship between auditory temporal processing, phonemic awareness, and reading disability. *J Exp Child Psychol* 2003, **84** : 218-243

BREZNITZ Z, MEYLER A. Speed of lower-level auditory and visual processing as a basic factor in dyslexia: Electrophysiological evidence. *Brain and Language* 2003, **85** : 166–184

CESTNICK L. Cross-Modality Temporal Processing Deficits in Developmental Phonological Dyslexics. *Brain and Cognition* 2001, **46** : 319–325

CESTNICK L, COLTHEART M. The relationship between language and visual processing in developmental dyslexia. *Cognition* 1999, **71** : 231–255

CESTNICK L, JERGER J. Auditory temporal processing and lexical/nonlexical reading in developmental dyslexia. *J Am Acad Audiology* 2000, **11** : 501–513

DAFFAURE V, DE MARTINO S, CHAUVIN C, CAY-MAUBUISSON M, CAMPS R, et coll. Dyslexie de développement et trouble temporel : de la perception auditive à la perception du temps conventionnel. *Rev Neuropsychol* 2001, **11** :115-116

DENENBERG VH. A critique of Mody Studdert-Kennedy, and Brady's "Speech Perception Deficits in Poor Readers: Auditory Processing or Phonological Coding?". *J Learn Disabilities* 1999, **32** : 379-383

EDWARDS VT, GIASCHI DE, DOUGHERTY RF, EDGELL D, BJORNSON BH, et coll. Psychophysical indexes of temporal processing abnormalities in children with developmental dyslexia. *Dev Neuropsychol* 2004, **25** : 321-354

GIRAUD K, DÉMONET JF, HABIB M, MARQUIS P, CHAUVEL P, LIEGEOIS-CHAUVEL C. Auditory Evoked Potential Patterns to Voiced and Voiceless Speech Sounds in Adult Developmental Dyslexics with Persistent Deficits. *Cereb Cortex* 2005, **15** :1524-1534

GRANT AC, ZANGALADZE A, THIAGARAJAH MC, SATHIAN K. Tactile perception in developmental dyslexia: a psychophysical study using gratings. *Neuropsychologia* 1999, **37** : 1201-1211

HABIB M. The neurological basis of developmental dyslexia: An overview and working hypothesis. *Brain* 2000, **123** : 2373-2399

HAIRSTON WD, BURDETTE JH, FLOWERS DL, WOOD FB, WALLACE MT. Altered temporal profile of visual-auditory multisensory interactions in dyslexia. *Exp Brain Res* 2005, **166** : 474-480

HAYES EA, TIIPPANA K, NICOL TG, SAMS M, KRAUS N. Integration of heard and seen speech: a factor in learning disabilities in children. *Neuroscience Letters* 2003, **351** : 46–50

HEBB DO. The organization of behavior: A neuropsychological theory. Wiley, New York, 1949

HEIERVANG E, STEVENSON J, HUGDAHL K. Auditory processing in children with dyslexia. *J Child Psychol Psychiatry* 2002, **43** : 931-938

JANTZEN KJ, STEINBERG FL, KELSO JA. Functional MRI reveals the existence of modality and coordination-dependent timing networks. *Neuroimage* 2005, **25** : 1031-1042

JONES JA, CALLAN DE. Brain activity during audiovisual speechperception: An fMRI study of the McGurk effect. *NeuroReport* 2003, **14** : 1129–1133

JOHNSTON RB, STARK RE, MELLITS ED, TALLAL P. Neurological status of language-impaired and normal children. *Ann Neurol* 1981, **10** :159-163

KLINGBERG T, HEDEHUS M, TEMPLE E, SALZ T, GABRIELI JD, et coll. Microstructure of temporo-parietal white matter as a basis for reading ability: evidence from diffusion tensor magnetic resonance imaging. *Neuron* 2000, **25** : 493–500

KUJALA T, MYLLYVIITA K, TERVANIEMI M, ALHO K, KALLIO J, NÄÄTÄNEN R. Basic auditory dysfunction in dyslexia as demonstrated by brain activity measurements. *Psychophysiology* 2000, **37** : 262-266

LAASONEN M, TOMMA-HALME J, LAHTI-NUUTTILA P, SERVICE E, VIRSU V. Rate of information segregation in developmentally dyslexic children. *Brain Lang* 2000, **75** : 66–81

LAASONEN M, SERVICE E, VIRSU V. Temporal order and processing acuity of visual, auditory, and tactile perception in developmentally dyslexic young adults. *Cogn Affect Behav Neurosci* 2001, **1** : 394-410

LAASONEN M, SERVICE E, VIRSU V. Crossmodal temporal order and processing acuity in developmentally dyslexic young adults. *Brain Lang* 2002, **80** : 340-354

MCGEE R, BRODEUR D, SYMONS D, ANDRADE B, FAHIE C. Time perception: does it distinguish ADHD and RD children in a clinical sample? *J Abnorm Child Psychol* 2004, **32** : 481-490

MCGURK H, MACDONALD J. Hearing lips and seeing voices. *Nature* 1976, **264** : 746-748

MODY M, STUDDERT-KENNEDY M, BRADY S. Speech perception deficits in poor readers: auditory processing or phonological coding? *J Exp Child Psychol* 1997, **64** : 199-231

RAMUS F, PIDGEON E, FRITH U. The relationship between motor control and phonology in dyslexic children. *J Child Psychol Psychiat* 2003a, **44** : 712-722

RAMUS F, ROSEN S, DAKIN SC, DAY BL, CASTELLOTE JM, et coll. Theories of developmental dyslexia: insights from a multiple case study of dyslexic adults. *Brain* 2003b, **126** : 841-865

RAO RP, SEJNOWSKI T. Self-organizing neural systems based on predictive learning. *Phil Trans R Soc Lond* 2003, **A361** : 1149–1175

RENVALL H, LEHTONEN R, HARI R. Abnormal response recovery in the right somatosensory cortex of dyslexic adults. *Cereb Cortex* 2005, **15** : 507-513

REY V, DE MARTINO S, ESPESSER R, HABIB M. Temporal processing and phonological impairment in dyslexia. Effect of phoneme lengthening on order judgement of two consonants. *Brain Lang* 2002, **80** : 576-591

ROSE EA, FELDMAN JF, JANKOWSKI JJ, FUTTERWEIT LR. Visual and auditory temporal processing, cross-modal transfer and reading. *J Learn Disab* 1999, **32** : 256-266

ROSEN S, MANGANARI E. Is there a relationship between speech and nonspeech auditory processing in children with dyslexia? *Journal of Speech Language and Hearing Research* 2001, **44** : 720–736

ROSEN S. Auditory processing in dyslexia and specific language impairment: is there a deficit? What is its nature? Does it explain anything? *J Phonetics* 2003, **31** : 509-527

RUBIA K, SMITH A. The neural correlates of cognitive time management: a review. *Acta Neurobiol Exp* 2004, **64** : 329-340

SEJNOWSKI T. The book of Hebb. *Neuron* 1999, **24** : 773–776

SERNICLAES W, SPRENGER-CHAROLLES L, CARRE R, DÉMONET JF. Perceptual discrimination of speech sounds in developmental dyslexia. *J Speech Lang Hear Res* 2001, **44** : 384-399

SHARE DL, JORM AF, MACLEAN R, MATTHEWS R. Temporal processing and reading disability. *Reading and Writing. An Interdisciplinary Journal* 2002, **15** : 151–178

STEINSCHNEIDER M, VOLKOV IO, FISHMAN YI, OYA H, AREZZO JC, HOWARD MA. Intracortical responses in human and monkey primary auditory cortex support a temporal processing mechanism for encoding of the voice onset time phonetic parameter. *Cereb Cortex* 2005, **15** : 170-186

STOODLEY CJ, TALCOTT JB, CARTER EL, WITTON C, STEIN JF. Selective deficits of vibrotactile sensitivity in dyslexic readers. *Neurosci Lett* 2000, **295** : 13-16

TALLAL P. Auditory temporal perception, phonics, and reading disabilities in children. *Brain Lang* 1980, **9** : 182–198

TALLAL P. Improving language and literacy is a matter of time. *Nature Reviews Neurosci* 2004, **5** : 721-728

TALLAL P, PIERCY M. Developmental aphasia: Impaired rate of non-verbal processing as a function of sensory modality. *Neuropsychologia* 1973, **11** : 389–398

TALLAL P, PIERCY M. Developmental aphasia: rate of auditory processing and selective impairment of consonant perception. *Neuropsychologia* 1974, **12** : 83–93

TALLAL P, PIERCY M. Developmental aphasia: the perception of brief vowels and extended stop consonants. *Neuropsychologia* 1975, **13** : 69–74

TALLAL P, STARK R, MELLITS D. Identification of language-impaired children on the basis of rapid perception and production skills. *Brain Lang* 1985, **25** : 314-322

TANG YP, SHIMIZU E, DUBE GR, RAMPON C, KERCHNER GA, et coll. Genetic enhancement of learning and memory in mice. *Nature* 1999, **401** : 63-69

TOPLAK ME, RUCKLIDGE JJ, HETHERINGTON R, JOHN SC, TANNOCK R. Time perception deficits in attention-deficit/ hyperactivity disorder and comorbid reading difficulties in child and adolescent samples. *J Child Psychol Psychiatry* 2003, **44** : 888-903

WABER DP, WOLFF PH, FORBES PW, WEILER MD. Rapid automatized naming in children referred for evaluation of heterogeneous learning problems: How specific are naming speed deficits to reading impairment? *Child Neuropsychology* 2000, **6** : 251-261

WALKER MM, SHINN JB, CRANFORD JL, GIVENS GD, HOLBERT D. Auditory temporal processing performance of young adults with reading disorders. *J Speech Lang Hear Res* 2002, **45** : 598-605

WITTON C, TALCOTT JB, HANSEN PC, RICHARDSON AJ, GRIFFITHS TD, et coll. Sensitivity to dynamic auditory and visual stimuli predicts nonword reading ability in both dyslexic and normal readers. *Current Biology* 1998, **8** : 791–797

WRIGHT BA, LOMBARDINO LJ, KING WM, PURANIK CS, LEONARD CM, MERZENICH MM. Deficits in auditory temporal and spectral resolution in language-impaired children. *Nature* 1997, **387** : 176-178

18

Apport de l'imagerie cérébrale

L'approche neurologique de la dyslexie repose sur les travaux fondateurs de Galaburda (1979) qui a découvert l'existence d'anomalies microscopiques dans la structure cyto-architectonique du cortex, en ayant l'opportunité d'analyser quelques cerveaux de personnes ayant présenté une probable dyslexie. Ce sont les progrès récents de la neuro-imagerie cérébrale qui ont permis l'accroissement des connaissances dans ce domaine et la confirmation de l'existence d'anomalies à la fois structurales et fonctionnelles du cerveau chez une majorité de personnes dyslexiques.

Études anatomo-pathologiques ou morphologiques

Les études anatomo-pathologiques ou morphologiques réalisées chez des sujets adultes dyslexiques ont suggéré l'existence de particularités architecturales. Au niveau microscopique à partir de quelques cerveaux de sujets adultes dyslexiques, des anomalies (ectopies neuronales et dysplasies) retrouvées dans les régions péri-sylviennes gauches (Galaburda et coll., 1985) et dans le ganglion géniculé latéral (réduction de taille des neurones magnocellulaires) (Livingstone et coll., 1991) suggèrent l'existence d'un trouble de la migration et de la maturation neuronale. Ces résultats ont encouragé la recherche sur les bases neurologiques de la dyslexie. Les symptômes dyslexiques dans leur diversité pourraient dépendre de la localisation des anomalies micro-structurales, puisque ces dernières, variables dans leur localisation, pourraient venir perturber l'une ou l'autre des zones essentielles pour le transfert optimal de l'information à travers les réseaux sous-tendant les fonctions du langage ; chez l'enfant, cette perturbation pourrait concerner les réseaux de la lecture en voie de mise en place, nuisant à l'automatisation du transcodage des informations visuelles vers les régions codant pour la phonologie et réciproquement. À partir d'un modèle de souris, l'équipe de Galaburda (Jenner et coll., 2000) notait des anomalies de la connectivité secondaires à des ectopies neuronales. Des études morphométriques chez les dyslexiques ont rapporté des anomalies de l'architecture cérébrale (Habib, 2000 ; Leonard et coll.,

2001 ; Rae et coll., 2002 ; Eckert et coll., 2003). Toutefois, la taille des effectifs, l'hétérogénéité phénotypique, la présence de comorbidités, ou les analyses a priori limitées à des régions d'intérêts rendent compte probablement des discordances retrouvées dans les résultats de ces études. Des méthodes récentes d'imagerie par résonance magnétique (IRM) ont permis certaines avancées. L'utilisation d'une méthode d'analyse statistique de la densité du signal IRM dans tout le volume cérébral (technique *Voxel-Based Morphometry* ou VBM) a suggéré selon plusieurs études des particularités du signal de la substance grise dans le cortex temporal, notamment dans l'hémisphère gauche ; les résultats de cette méthode restent toutefois d'interprétation délicate ; cette dernière est plus assurée lorsqu'elle peut s'appuyer sur d'autres sources d'informations, telles qu'une analyse focalisée dans une région montrant des anomalies fonctionnelles chez les mêmes sujets ou que l'établissement de corrélations entre données VBM et données comportementales (Silani et coll., 2005). Une autre méthode récente consiste dans une technique d'imagerie de diffusion : l'analyse de l'anisotropie du signal en imagerie de tenseur de diffusion. Par rapport à des sujets normolecteurs, une diminution du score d'anisotropie au niveau de fibres de la substance blanche sous-jacentes à la jonction temporo-pariétale gauche – zone essentielle pour la médiation phonologique de la lecture – a été montrée dans 3 études indépendantes chez des sujets d'âge variable, certains présentant des troubles de l'apprentissage de la lecture. Surtout, ces anomalies étaient souvent corrélées avec le score de lecture : une plus grande anisotropie, traduisant peut-être une moins bonne organisation anatomique au sein des faisceaux de fibres nerveuses concernés, tendant à être associée à de moins bonnes capacités de lecture (Klingberg et coll., 2000 ; Beaulieu et coll., 2005 ; Deutsch et coll., 2005). Il serait cependant important de montrer une corrélation de telles anomalies avec les scores de lecture au sein même de groupes de sujets dyslexiques, l'inclusion de sujets normolecteurs et de dyslexiques dans les études précédentes pouvant tendre à créer une distribution bimodale des performances et un effet de corrélation par construction.

Imagerie fonctionnelle

L'imagerie fonctionnelle cérébrale permet de recueillir des indices de l'activité cérébrale dans l'ensemble du volume, avec une précision suffisante pour pouvoir reconstituer des images en coupes ou en volumes du cerveau et y localiser des régions dont on mesure le taux d'activité dans des conditions expérimentales diverses, incluant des tâches de lecture ou de perception phonologique du langage.

Considérations méthodologiques

L'évidence d'un dysfonctionnement des régions cérébrales impliquées dans la lecture et les processus cognitifs associés est venue des résultats des études en imagerie fonctionnelle. La tomographie d'émission de positons (TEP) ne peut être réalisée chez l'enfant dans le contexte d'examens à visée non diagnostique du fait de l'utilisation de radio-traceur même à faibles doses. Les méthodes de neuro-imagerie fonctionnelles sont un des principaux moyens d'exploration des corrélats neurobiologiques, mais les résultats de ces études nécessitent des interprétations prudentes par la possibilité de biais secondaires à des facteurs expérimentaux. Les corrélats cérébraux des fonctions linguistiques consistent en événements transitoires de faible amplitude et largement distribués dans tout le cerveau. Des variables telles que l'âge du sujet, la latéralité, la durée de présentation des stimuli et leur fréquence de présentation peuvent influencer les données recueillies et devront être contrôlées dans tout plan expérimental (Démonet et coll., 2005). Les études des troubles du langage en neuro-imagerie fonctionnelle sont particulièrement difficiles puisque vont intervenir des facteurs complexes induits par les troubles liés soit à l'anomalie cérébrale (exemple de l'aphasie), soit à la baisse des performances lors de la réalisation de la tâche. Dans le cas de la dyslexie, même s'il n'y a pas d'anomalie cérébrale, des facteurs spécifiques existent comme la diversité des déficits en termes de qualité et de sévérité et une sensibilité variable aux programmes de rééducation.

Principaux résultats chez l'adulte et chez l'enfant

Dans les premières études avec les potentiels évoqués (PE), de simples tâches sensorielles furent principalement utilisées et des composants tardifs mesurés. Toutefois, dans les études plus récentes des tâches cognitives plus spécifiques guidées par les hypothèses théoriques ont permis de rapporter des déficits spécifiques aux sous-types de dyslexies (Taylor et Keenan, 1990 et 1999). Les enfants présentant un risque de développer une dyslexie peuvent montrer des anomalies des potentiels évoqués lors d'épreuves de lecture (Khan et coll., 1999), suggérant des processus corticaux différents dans ce trouble et soulignant la sensibilité de cette méthode dans l'investigation des troubles de la lecture (Taylor et Keenan, 1990 et 1999 ; Khan et coll., 1999 ; Breznitz et Leikin, 2000).

Georgiewa et coll. (1999 et 2002) furent les premiers à rapporter des résultats, d'abord seulement en IRM fonctionnelle (IRMf) puis combinée à la méthode des PE chez des enfants dyslexiques et chez des témoins ; des différences entre les deux groupes étaient retrouvées pour des tâches linguistiques avec une présentation visuelle des stimuli au niveau du cortex frontal infé-

rieur gauche, entre 250 et 600 ms (Georgiewa et coll., 2002). À partir d'une tâche de détection de trait ou de mot, Helenius et coll. (1999) montraient qu'il existe chez les sujets dyslexiques un déficit dans le traitement pré-lexical impliquant habituellement le cortex temporo-occipital inférieur gauche. La présence d'une « N100m » (événement magnétique évoqué de latence 100 ms) normale était en faveur de la normalité des processus précoces du traitement visuel. Cette dernière caractéristique est cependant incertaine, puisque la même équipe a au contraire rapporté des anomalies des composantes précoces, mais dans le domaine de la perception auditive (Helenius et coll., 2002).

Chez l'adulte normolecteur, les régions cérébrales impliquées dans la lecture de mots isolés sont largement distribuées mais dominées par un réseau hémisphérique gauche avec deux circuits postérieurs et un circuit antérieur (Pugh et coll., 2000). Le circuit ventral ou temporo-occipital est centré sur le gyrus fusiforme (*Visual Word Form Area*) et semble sous-tendre la procédure d'adressage ou d'accès quasi automatique à la forme visuelle des mots (Cohen et coll., 2002) ; le circuit dorsal ou temporo-pariétal comprend principalement le gyrus angulaire et le gyrus supra-marginalis (Price, 1998) impliqué dans le traitement phonologique et le processus, plus lent, d'assemblage. Le circuit antérieur est quant à lui centré principalement sur le gyrus frontal inférieur gauche ; il est relié aux deux circuits postérieurs (Price et coll., 2001) et est impliqué dans les processus phonologique et articulatoire lors de la phase de production des mots.

Chez les adultes dyslexiques comparativement à des sujets témoins normolecteurs est mise en évidence une réduction de l'activité des circuits postérieurs (figure 18.1). La région clé du circuit dorsal, le gyrus angulaire, montre une corrélation positive de son niveau d'activation avec les scores de lecture chez les sujets normolecteurs et une corrélation négative chez les dyslexiques (Rumsey et coll., 1999). Une étude en TEP (Paulesu et coll., 2001) chez des adultes dyslexiques bien compensés et des témoins, de trois nationalités différentes (anglaise, italienne et française) retrouvait un défaut d'activation chez les dyslexiques du circuit ventral quelque soit la langue. Ces résultats rejoignent ceux rapportés dans des études réalisées avec la magnéto-encéphalographie (Helenius et coll., 1999). Bien que la région frontale inférieure gauche et des régions hémisphériques droites semblent moins actives chez les dyslexiques dans certaines études (Paulesu et coll., 1996 ; Rumsey et coll., 1997), dans d'autres au contraire les auteurs retrouvaient une augmentation d'activité suggérant des mécanismes de compensation du cortex prémoteur visant à suppléer le dysfonctionnement des régions postérieures gauches : au niveau du cortex frontal gauche (Shaywitz et coll., 1998 ; Brunswick et coll., 1999 ; Georgiewa et coll., 2002) et au niveau des régions droites (Simos et coll., 2002a).

Figure 18.1 : Régions cérébrales impliquées dans la lecture

Les études développementales en imagerie fonctionnelle (tableau 18.I) permettent d'interpréter et comprendre certains résultats discordants des études chez l'adulte. Shaywitz et coll. (2002) étudiant 144 enfants dyslexiques et témoins montraient que l'activité augmente avec l'âge dans les régions frontales inférieures gauches et droites chez les sujets dyslexiques lors d'une tâche de rimes. Ces résultats sont en faveur de l'hypothèse compensatoire : l'augmentation de l'activation dans les régions frontales et/ou les régions hémisphériques droites constitue un moyen de surmonter le défaut d'engagement des régions postérieures gauches. Ces chercheurs (Shaywitz et coll., 2002) suggéraient également que la diminution de l'activité cérébrale dans le circuit ventral chez l'adulte dyslexique n'est pas la conséquence des difficultés persistantes pour la lecture puisqu'ils retrouvaient une corrélation positive entre l'activité de cette aire et le niveau de lecture chez l'enfant dyslexique. Toutefois, Simos et coll. (2000a et b) rapportaient que cette région chez les enfants dyslexiques présente un niveau d'activité comparable aux témoins et que la différence se situe essentiellement au niveau du décours temporel de l'engagement de ces aires cérébrales : l'activité neuronale 250 à 1 200 ms après présentation du stimulus « saute » vers le cortex temporal droit chez l'enfant dyslexique (Simos et coll., 2000c) alors que chez les normolecteurs elle se propage vers les régions temporale et pariétale gauches. Au total, ces résultats suggèrent une anomalie de la connectivité au sein des circuits temporo-pariéto-frontaux qui sous-tendent le langage et affectant peut-être particulièrement le circuit sous-jacent à la boucle phonologique en mémoire de travail ainsi que l'interaction entre les « circuits dorsal et ventral de la lecture » (selon la conceptualisation de Pugh et coll., 2000), ce qui rejoint

les conclusions d'autres études comme celle d'Horwitz et coll. (1998) ou de Klingberg et coll. (2000).

Tableau 18.I : Études en imagerie fonctionnelle chez les enfants dyslexiques (Dys) comparés aux témoins normolecteurs (NL)

Technique d'imagerie Références	Population (âge en années)	Tâches cognitives	Principaux résultats chez les Dys comparés aux NL
IRMf Georgiewa et coll., 1999	17 Dys (9-17) 17 NL (9-17)	Paradigme visuel hiérarchique : processus orthographique, phonologique et sémantique	Diminution de l'activation des régions frontale et temporale inférieure gauches lors de la lecture de pseudo-mots et d'une tâche métaphonologique
sIRM Richards et coll., 1999	6 Dys (9-12) 7 NL (9-12)	Tâche auditive de rimes	Augmentation du métabolisme du lactate dans les régions frontales gauches
MEG Simos et coll., 2000a	10 Dys (10-17) 8 NL (8-16)	Tâches visuelle et auditive de reconnaissance de mots	Activation normale de la région temporale inférieure gauche Diminution de l'activité de la région temporo-pariétale gauche et augmentation dans la région homologue droite lors de la lecture de mots
MEG Simos et coll., 2000b	11 Dys (10-17) 10 NL (8-16)	Tâche visuelle de rimes avec des pseudo-mots	Activation normale de la région temporale inférieure gauche Diminution de l'activité de la région temporo-pariétale gauche et augmentation dans la région homologue droite lors de la lecture de pseudo-mots
IRMf Corina et coll., 2001	8 Dys (10-13) 8 NL (10-13)	Tâche auditive de jugement phonologique et lexical	Augmentation supérieure de l'activité de la région du gyrus temporal inférieur droit par rapport aux gyrus temporal inférieur et précentral gauches, lors d'une tâche de jugement phonologique Diminution de l'activité du gyrus frontal moyen de façon bilatérale et augmentation de l'activité au niveau du cortex fronto-orbitaire gauche lors d'une tâche de jugement lexical
IRMf Temple et coll., 2001	24 Dys (8-12) 15 NL (8-12)	Tâches visuelles : traitement phonologique et orthographique	Activation normale de la région frontale gauche et diminuée dans la région temporo-pariétale gauche lors d'une tâche de jugement de rimes
IRMf Shaywitz et coll., 2002	70 Dys (7-18) 74 NL (7-17)	Paradigme visuel hiérarchique : processus orthographique, phonologique et sémantique	Réduction d'activité dans les régions pariéto-temporale et occipito-temporale gauches lors de processus impliqués dans la lecture Corrélation entre l'âge et le niveau d'activation des régions frontales droite et gauche (augmentation avec l'âge des sujets)

Technique d'imagerie Références	Population (âge en années)	Tâches cognitives	Principaux résultats chez les Dys comparés aux NL
IRMf PE Georgiewa et coll., 2002	9 Dys (12,6) 8 NL (12,7)	Lecture silencieuse de mots et de non-mots	Augmentation de l'activation au niveau du gyrus frontal gauche

IRMf : IRM fonctionnelle ; sIRM : IRM spectroscopique ; MEG : magnéto-encéphalographie ; PEs : potentiels évoqués

Imagerie fonctionnelle et test des hypothèses physiopathologiques des dyslexies

Les nombreuses hypothèses physiopathologiques concernant l'origine des dyslexies ont toutes reçu un support empirique d'études de neuro-imagerie confirmant l'existence d'effets différentiels prédits. Ces hypothèses peuvent être classifiées en deux types. Le premier type suppose l'existence d'un déficit affectant les capacités de traitement explicite de représentations phonologiques ou lexicales stockées en mémoire à long terme. Le second type recouvre de nombreuses hypothèses supposant des anomalies diverses affectant des processus implicites, de type sensorimoteur, permettant le traitement en temps réel de l'information perceptive : déficit dans le système magnocellulaire, déficit d'orientation automatique de l'attention, déficit de l'adaptation sensori-motrice au niveau cérébelleux.

Dans la mesure où le déficit phonologique constitue un facteur étiologique prédominant dans la dyslexie, la majorité des études en imagerie fonctionnelle ont évalué ces processus à partir de tâches de rimes (Rumsey et coll., 1997 ; Simos et coll., 2000b), de tâches de mémoire verbale de travail (Paulesu et coll., 1996) ou lors de la présentation auditive de stimuli verbaux (Rumsey et coll., 1992 ; Simos et coll., 2000a). La plupart des études ont montré un hypofonctionnement des régions périsylviennes plutôt gauches. Paulesu et coll. (1996) suggéraient que le pattern retrouvé chez les sujets dyslexiques peut être en rapport avec une déconnexion dans le circuit péri-sylvien gauche. Une équipe a étudié en IRMf la perception catégorielle des phonèmes. Les sujets dyslexiques présentaient une diminution de l'activité dans le gyrus supra-marginalis gauche (Ruff et coll., 2002), une région clé dans les processus phonologiques (Démonet et coll., 1996).

Dans plusieurs études, des arguments concordants pour un dysfonctionnement du système visuel magnocellulaire ont été rapportés. Par exemple, Eden et coll. (1996) retrouvaient un défaut d'activation de l'aire MT/V5 durant une tâche de détection de mouvement et mettaient en évidence une corrélation entre le niveau d'activation de l'aire V5 et la vitesse de lecture chez les dyslexiques et les sujets normo-lecteurs. Toutefois, d'autres études

n'ont pas confirmé ces résultats (Johannes et coll., 1996 ; Vanni et coll., 1997 ; Amitay et coll., 2002). Les effets du système magnocellulaire paraissent en fait subtils et mis en évidence uniquement sous certaines contraintes expérimentales (Bednareck et Grabowska, 2002).

Temple et coll. (2000) étudiaient en IRMf la réponse cérébrale à des variations rapides de la trace acoustique du signal de parole et montraient chez les sujets normo-lecteurs une augmentation de l'activation au niveau de la région frontale inférieure gauche et de l'hémisphère cérébelleux droit lors de variations rapides comparativement à des changements plus lents du signal acoustique. Chez les sujets dyslexiques, les auteurs notaient une augmentation de l'activation dans ces mêmes régions pour des variations lentes. De façon similaire, Nagarajan et coll. (1999) retrouvaient une diminution de la M100 obtenue en MEG en réponse à des stimuli acoustiques présentant des changements rapides chez des sujets dyslexiques alors qu'ils présentaient une M100 d'amplitude plus large que les témoins pour des stimuli plus lents.

Ces effets étaient également étudiés avec des syllabes naturelles (ma/na), qu'elles soient modifiées ou non par un étirement des transitions formantiques (Ruff et coll., 2002). Les régions cérébrales sensibles aux changements acoustiques étaient identifiées comme étant la région frontale gauche et le ralentissement de la parole entraînait une augmentation d'activation dans cette région pour les sujets dyslexiques. Mais le niveau d'activation de la région du gyrus supra-marginalis gauche n'était pas influencé par ces variations de signal acoustique, alors que cette région est habituellement le siège d'un défaut d'activation chez les adultes dyslexiques. Deux effets importants impliqués dans les mécanismes de base de la dyslexie étaient identifiés par cette étude : l'activité neuronale était augmentée par le ralentissement de la parole dans certaines régions cérébrales et le défaut d'activité neuronale dans l'aire du gyrus supra-marginalis était le support du déficit phonologique dans la dyslexie. Les variations topographiques de l'activation cérébrale dans cette étude pourraient rendre compte de certains résultats discordants voire contradictoires retrouvés dans diverses expérimentations et constituent un exemple dans lequel les résultats d'une étude peuvent vérifier et/ou compléter des résultats obtenus par d'autres équipes.

La MMN (*Mitch Match Negativity*) joue un rôle important dans l'exploration de l'hypothèse de déficits perceptifs. Cette composante neurophysiologique est obtenue lors de tout changement identifiable lors d'une tâche auditive de répétition de stimuli indépendamment du niveau d'attention du sujet (Kujala et Naatanen, 2001), suggérant un processus de type automatique. Les études initiales chez l'enfant présentant un trouble des apprentissages montraient une diminution de l'amplitude de la MMN mais la spécificité de cet effet paraît incertaine : la diminution de la MMN est liée

au caractère linguistique des stimuli pour Schulte-Korne et coll. (1998), l'anomalie de la MMN semble sensible à un facteur phonétique particulier, le temps de voisement (différence dans le décours temporel des événements acoustiques successifs entre « ga » et « ka » par exemple) pour Kraus et coll. (1996), alors que Baldeweg et coll. (1999) identifie cette anomalie lors d'une condition faisant varier un facteur non pas temporel mais spectral : la hauteur tonale. Ces résultats pourraient refléter des corrélats neurophysiologiques des troubles de la discrimination des sons de la parole chez le dyslexique, bien que le déterminisme de ces troubles paraisse donc variable. Il faut noter que Giraud et coll. (2005) ont confirmé l'existence d'un trouble du traitement temporel du signal de parole (absence d'une composante électrophysiologique caractéristique en français du son de pré-voisement du phonème « b ») mais seulement dans un sous-groupe de dyslexiques présentant des troubles sévères, et alors qu'un autre sous-groupe également sévèrement déficitaire présentait un profil électrophysiologique caractérisé non par l'absence de cette composante mais par des composantes multiples. Une partie de cette même étude, non encore disponible sous forme de publication, montre en outre un profil électrophysiologique normal dans un 3e sous-groupe, composé de patients moins sévèrement déficitaires. Des paradigmes similaires ont permis à Leppanen et coll. (1999) de comparer des enfants à risque et non à risque de développer une dyslexie en fonction de leur histoire familiale : les résultats de ces études suggèrent que dès l'âge de 6 mois les sujets avec des antécédents familiaux de dyslexie traitent les stimuli différemment.

Nicolson et coll. (1999) ont utilisé la TEP lors d'un paradigme d'apprentissage d'une séquence de mouvements des doigts pour évaluer l'activation cérébrale chez des sujets dyslexiques et témoins. Ils montraient une diminution de l'activation cérébrale au niveau de l'hémisphère cérébelleux droit et du cortex frontal inférieur gauche chez les sujets dyslexiques par rapport aux témoins. Ces anomalies corroborent les anomalies métaboliques au niveau de l'hémisphère cérébelleux droit retrouvées chez les dyslexiques lors d'une étude en spectro-IRM (Rae et coll., 1998). Néanmoins, si des anomalies de l'activation des régions cérébelleuses sont parfois retrouvées lors d'études en imagerie fonctionnelle chez les sujets dyslexiques, elles ne sont pas toujours interprétées (Brunswick et coll., 1999).

Globalement, l'ensemble très important de données accumulées ces dernières années est caractérisé par la grande diversité des anomalies rapportées dans la mesure où des publications sont venues à l'appui de chacune des théories concurrentes pour rendre compte de la physiopathologie des dyslexies. Cette diversité des effets décrits contraste avec la relative constance des résultats concernant les expériences d'imagerie ayant utilisé des tâches de lecture. Elle plaide aussi en faveur de l'hétérogénéité phénotypique des dyslexies.

Rééducations et bases neurologiques

Associé à une méthode d'enseignement appropriée, le principe des rééducations repose sur des interventions sur le langage, la phonologie, la lecture ou la parole adaptées au handicap de l'enfant. Bien qu'un certain degré de compensation puisse survenir avec le temps, la dyslexie est généralement un trouble persistant (Shaywitz et coll., 1999) qui peut être à l'origine d'un retentissement sévère sur la progression académique de l'enfant. Les traitements comportent souvent des entraînements phonologiques mais peuvent également inclure d'autres dimensions des processus linguistiques comme la morphologie, la syntaxe ou le niveau discursif. Peu de méthodes d'entraînement commercialisées et utilisées en pratique clinique ont été évaluées pour leur pertinence. Malgré différentes modalités et durée de remédiation, les études concernant les méthodes basées sur les aspects phonologiques ont montré une amélioration des capacités phonologiques après un entraînement intensif (Hatcher et Hume, 1999 ; Torgensen et coll., 1999 ; Wise et coll., 2000). Néanmoins, la généralisation des effets obtenus aux capacités de lecture est inconstante ; le succès d'une méthode est sous la dépendance de différences individuelles et les facteurs prédictifs d'une bonne réponse à la remédiation restent à déterminer.

L'imagerie fonctionnelle (IRMf et MEG[41]) permet non seulement d'étudier les déficits des réseaux neuronaux impliqués dans les fonctions linguistiques mais est aussi un moyen d'évaluation de la plasticité cérébrale qui fait suite à des phénomènes de compensation (Shaywitz et coll., 2003) ou à des entraînements intensifs que ce soit chez l'adulte (Eden et coll., 2004) ou chez l'enfant. Dans six études réalisées chez des enfants dyslexiques (tableau 18.II), une corrélation entre le fonctionnement cérébral et les améliorations des performances linguistiques était démontrée avec des protocoles de rééducation divers mais cependant tous caractérisés par le caractère intensif de la prise en charge, sur des périodes variables de temps. La plus grande influence sur les performances et les signaux neuro-fonctionnels d'une intervention phonologique intensive par rapport à une prise en charge conventionnelle a été montrée dans certaines de ces études (Shaywitz et coll., 2004). Dans l'étude réalisée par Temple et coll. (2003), les enfants dyslexiques n'activaient pas, avant entraînement, leur région temporo-pariétale gauche, région activée chez les normolecteurs par une tâche de jugement de rimes. En revanche, les deux groupes activaient la région frontale gauche mais dans des aires différentes. Après entraînement, les sujets dyslexiques montraient une augmentation de l'activité dans la région temporale ou pariétale gauche sans que cette activation recouvre la région initialement hypofonctionnelle et une activation dans la région frontale gauche dans la même aire que les témoins. Des augmentations d'activité étaient également montrées dans des régions temporale et frontale droites. Des

41. Magnéto-encéphalographie

corrélations positives étaient retrouvées entre les modifications du signal IRM dans les régions temporo-pariétale gauche et frontale droite et les changements pour les scores de langage ou des aptitudes phonologiques. Toutefois, il n'était pas mis en évidence de corrélation avec les scores de lecture. Les différentes techniques d'imagerie fonctionnelle sont certes suffisamment sensibles pour mettre en évidence des modifications de l'activité cérébrale après des remédiations, mais la spécificité des mécanismes à l'origine des effets obtenus tant au niveau cognitif que cérébral doit être discutée. Bien qu'il semble aisé d'obtenir des arguments en faveur d'une certaine plasticité cérébrale après entraînement, le fait d'obtenir les mêmes améliorations après des entraînements aussi bien phonologique (Simos et coll., 2002a) que non verbal (Kujala et coll., 2001) laisse perplexe quant au caractère spécifique de cet effet. Au cours des entraînements, plusieurs facteurs, spécifiques et non spécifiques du langage, semblent avoir une influence sur les symptômes de la dyslexie et leur base neurologique. Comment l'imagerie fonctionnelle peut-elle nous aider à comprendre la dynamique et les mécanismes des changements induits par les remédiations ? Kujala et coll. (2001) n'établissaient pas de lien direct entre l'entraînement audio-visuel et un test de lecture, alors que d'autres chercheurs ont mis à profit le lien entre le déficit phonologique testé, la méthode de rééducation et le paradigme d'imagerie (Simos et coll., 2002a ; Temple et coll., 2003).

Tableau 18.II : Effets des méthodes d'entraînement intensif chez les enfants dyslexiques (Dys) comparés à des sujets témoins (NL)

Technique Imagerie Références	Population (âge en années)	Méthode d'entraînement	Principaux résultats après entraînement
sIRMf Richards et coll., 2000	8 Dys (10,6) 7 NL (10,3)	Entraînement phonologique 3 semaines 15 sessions de 2 heures	Amélioration des performances phonologiques Diminution du métabolisme du lactate dans la région antérieure gauche
PEs (MMN) Kujala et coll., 2001	24 Dys (7) 24 Dys (7) 11 Dys (7) 11 Dys témoins(7)	Entraînement audio-visuel non verbal 7 semaines 2 sessions de 10 min par semaine	Amélioration des capacités de lecture Augmentation de l'amplitude de la MMN Corrélation avec les modifications des performances
MEG Simos et coll., 2002a	8 Dys (11,4) 8 NL (10,3)	Entraînement phonologique 8 semaines 1 à 2 heures par jour	Amélioration des capacités de lecture Augmentation de l'activation dans le gyrus temporal supérieur et la région pariétale inférieure gauche
IRMf Temple et coll., 2003	20 Dys (9,9) 12 NL (10,7)	Stimuli non verbaux et stimuli de parole ralentis 8 semaines 100 mn par jour 5 jours par semaine	Amélioration des capacités de langage oral et des performances de lecture Augmentation de l'activation au niveau du cortex temporo-pariétal gauche et du gyrus frontal inférieur gauche

sIRMf : IRM spectroscopique ; PEs : potentiels évoqués ; MMN : *mismatch negativity* ; MEG : magnéto-encéphalographie

Un des rôles possibles de l'imagerie fonctionnelle pourrait être de permettre un diagnostic précoce de l'enfant dyslexique, afin de débuter des traitements avant son entrée dans l'apprentissage de la lecture. L'amélioration du dépistage des enfants à risque de développer une dyslexie peut permettre de mettre en place des entraînements précoces afin de parvenir à une réorganisation cérébrale optimale pour améliorer le trouble de la lecture (Gallagher et coll., 2000 ; Pennington et Lefly, 2001). L'évaluation comportementale des enfants d'âge préscolaire constitue sans doute la méthode de dépistage la plus efficace d'un point de vue économique (Fawcett et coll., 2003). Toutefois, la neuro-imagerie pourrait contribuer au diagnostic précoce dans des études familiales où les données génétiques et neuropsychologiques permettent d'individualiser des sujets à risque. Simos et coll. (2002b) retrouvaient chez des enfants âgés entre 5 et 6 ans, un pattern spécifique d'activation cérébrale caractérisé par une diminution de l'activité dans la région temporo-pariétale gauche et une augmentation de l'activité au niveau de la région homolatérale lors d'une tâche de reconnaissance de lettre. Ce résultat converge avec ceux obtenus chez des enfants considérés comme à risque de présenter une dyslexie du fait des antécédents familiaux, et chez lesquels les PE étaient prédictifs de la survenue d'une dyslexie (Leppanen et coll., 1999). Une interrogation d'ordre éthique doit être suscitée vis-à-vis du bien-fondé de ce type de dépistage dans la mesure où une mauvaise maîtrise des pratiques pourrait aboutir à inquiéter les familles et à stigmatiser les enfants concernés sans que les moyens de prise en charge rendus nécessaire par l'identification précoce du handicap ne soient correctement mis en œuvre.

En conclusion, bien que les controverses continuent concernant la physiopathologie ou le traitement de la dyslexie, les différentes hypothèses pourraient être envisagées comme complémentaires plutôt que de s'exclure mutuellement. Les résultats des études en neuro-imagerie pourraient encourager la vérification d'hypothèses spécifiques. Les études d'imagerie fonctionnelle montrent non seulement des activations et une connectivité anormale des régions postérieures et péri-sylviennes gauches, mais également l'existence d'une grande plasticité cérébrale à la suite de divers types d'interventions. Toutefois, la spécificité des changements au niveau cognitif et neuronal observés au cours du développement, soit du fait de mécanismes de compensation, soit sous l'effet de traitement, reste à déterminer.

Les futures études concernant la physiopathologie des dyslexies de développement devront inclure des études comportementales et des études en imagerie fonctionnelle dans de larges séries longitudinales de sujets dyslexiques de nationalités différentes en s'intéressant non seulement à la lecture de mots isolés (comme la plupart des études actuellement) mais également aux domaines cognitifs plus complexes impliqués dans la lecture d'un texte. Enfin, les recherches sur les aspects thérapeutiques devront développer des programmes d'intervention intensive mais aussi spécifique, sa nature étant

définie en fonction du profil neuropsychologique observé chez chaque patient et à une période déterminée de son évolution.

BIBLIOGRAPHIE

AMITAY S, BEN-YEHUDAH G, BANAI K, AHISSAR M. Disabled readers suffer from visual and auditory impairments but not from a specific magnocellular deficit. *Brain* 2002, **125** : 2272-2285

BALDEWEG T, RICHARDSON A, WATKINS S, FOALE C, GRUZELIER J. Impaired auditory frequency discrimination in dyslexia detected with mismatch evoked potentials. *Ann Neurol* 1999, **45** : 495-503

BEAULIEU C, PLEWES C, PAULSON LA, ROY D, SNOOK L, et coll. Imaging brain connectivity in children with diverse reading ability. *NeuroImage* 2005, **25** : 1266–1271

BEDNAREK DB, GRABOWSKA A. Luminance and chromatic contrast sensitivity in dyslexia: the magnocellular deficit hypothesis revisited. *Neuroreport* 2002, **13** : 2521-2525

BREZNITZ Z, LEIKIN M. Syntactic processing of Hebrew sentences in normal and dyslexic readers: electrophysiological evidence. *J Genet Psychol* 2000, **161** : 359-380

BRUNSWICK N, MCCRORY E, PRICE CJ, FRITH CD, FRITH U. Explicit and implicit processing of words and pseudowords by adult developmental dyslexics: A search for Wernicke's Wortschatz? *Brain* 1999, **122** : 1901-1917

COHEN L, LEHERICY S, CHOCHON F, LEMER C, RIVAUD S, DEHAENE S. Language-specific tuning of visual cortex? Functional properties of the Visual Word Form Area. *Brain* 2002, **125** : 1054-1069

CORINA DP, RICHARDS TL, SERAFINI S, RICHARDS AL, STEURY K, et coll. fMRI auditory language differences between dyslexic and able reading children. *Neuroreport* 2001, **12** : 1195-1201

DÉMONET JF, FIEZ JA, PAULESU E, PETERSEN SE, ZATORRE RJ. PET studies of phonological processing. A critical reply to Poeppel. *Brain Lang* 1996, **28** : 352-385

DÉMONET JF, THIERRY G, CARDEBAT D. Renewal of the neurophysiology of language: functional neuroimaging. *Physiol Rev* 2005, **85** : 49-95

DEUTSCH GK, DOUGHERTY RF, BAMMER R, SIOK WT, GABRIELI JDE, WANDELL B. Children's reading performance is correlated with white matter structure measured by diffusion tensor imaging. *Cortex* 2005, **41** : 354-363

ECKERT MA, LEONARD CM, RICHARDS TL, AYLWARD E, THOMSON J, BERNINGER V. Anatomical correlates of dyslexia: frontal and cerebellar findings. *Brain* 2003, **126** : 482-494

EDEN GF, VANMETER JW, RUMSEY JM, MAISOG JM, WOODS RP, ZEFFIRO TA. Abnormal processing of visual motion in dyslexia revealed by functional brain imaging. *Nature* 1996, **382** : 66-69

EDEN GF, JONES KM, CAPPELL K, GAREAU L, WOOD FB, et coll. Clinical Study Neural Changes following Remediation in Adult Developmental Dyslexia. *Neuron* 2004, **44** : 411–422

FAWCETT AJ, NICOLSON RI, LEE R. The pre-school screening test. Psychological Corporation, London, 2003

GALABURDA AM, KEMPER TL. Cytoarchitectonic abnormalities in developmental dyslexia: a case study. *Ann Neurol* 1979, **6** : 94-100

GALABURDA AM, SHERMAN GF, ROSEN GD, ABOITI F, GESCHWIND N. Developmental dyslexia: four consecutive patients with cortical anomalies. *Ann Neurol* 1985, **18** : 222-233

GALLAGHER AM, FRITH U, SNOWLING M. Precursors of literacy delay among children at genetic risk of dyslexia. *J Child Psych Psychia* 2000, **41** : 202-213

GEORGIEWA P, RZANNY R, HOPF JM, KNAB R, GLAUCHE V, et coll. fMRI during word processing in dyslexic and normal reading children. *Neuroreport* 1999, **10** : 3459-3465

GEORGIEWA P, RZANNY R, GASER C, GERHARD UJ, VIEWEG U, et coll. Phonological processing in dyslexic children: A study combining functional imaging and event related potentials. *Neurosci Lett* 2002, **318** : 5-8

GIRAUD K, DÉMONET JF, HABIB M, MARQUIS P, CHAUVEL P, LIEGEOIS-CHAUVEL C. Auditory Evoked Potential Patterns to Voiced and Voiceless Speech Sounds in Adult Developmental Dyslexics with Persistent Deficits. *Cereb Cortex* 2005, **15** : 1524-1534

HABIB M. The neurological basis of developmental dyslexia: an overview and working hypothesis. *Brain* 2000, **123** : 2373-2399

HATCHER P, HULME C. Phonemes, rhymes, and intelligence as predictors of children's responsiveness to remedial reading instruction: Evidence from a longitudinal intervention study. *J Exp Child Psych* 1999, **72** : 130-153

HELENIUS P, TARKIAINEN A, CORNELISSEN P, HANSEN PC, SALMELIN R. Dissociation of normal feature analysis and deficient processing of letter-strings in dyslexic adults. *Cereb Cortex* 1999, **9** : 476-483

HORWITZ B, RUMSEY JM, DONOHUE BC. Functional connectivity of the angular gyrus in normal reading and dyslexia. *Proc Natl Acad Sci USA* 1998, **95** : 8939-8944

JENNER AR, GALABURDA AM, SHERMAN GF. Connectivity of ectopic neurons in the molecular layer of the somatosensory cortex in autoimmune mice. *Cerebral Cortex* 2000, **10** : 1005-1013

JOHANNES S, KUSSMAUL CL, MUNTE TF, MANGUN GR. Developmental dyslexia: passive visual stimulation provides no evidence for a magnocellular processing defect. *Neuropsychologia* 1996, **34** : 1123-1127

KHAN SC, FRISK V, TAYLOR MJ. Neurophysiological measures of reading difficulty in very-low- birthweight children. *Psychophysiology* 1999, **36** : 76-85

KLINGBERG T, HEDEHUS M, TEMPLE E, SALZ T, GABRIELI JD, et coll. Microstructure of temporo-parietal white matter as a basis for reading ability: evidence from diffusion tensor magnetic resonance imaging. *Neuron* 2000, **25** : 493-500

KRAUS N, MCGEE TJ, CARRELL TD, ZECKER SG, NICOL TG, KOCH DB. Auditory neurophysiologic responses and discrimination deficits in children with learning problems. *Science* 1996, **273** : 971-973

KUJALA T, KARMA K, CEPONIENE R, BELITZ S, TURKKILA P, et coll. Plastic neural changes and reading improvement caused by audiovisual training in reading-impaired children. *Proc Natl Acad Sci USA* 2001, **98** : 10509-10514

KUJALA T, NAATANEN R. The mismatch negativity in evaluating central auditory dysfunction in dyslexia. *Neurosci Biobehav Rev* 2001, **25** : 535-543

LEONARD CM, ECKERT MA, LOMBARDINO LJ, OAKLAND T, KRANZLER J, et coll. Anatomical risk factors for phonological dyslexia. *Cereb Cortex* 2001, **11** : 148-157

LEPPANEN PH, PIHKO E, EKLUND KM, LYYTINEN H. Cortical responses of infants with and without a genetic risk for dyslexia: II. Group effects. *Neuroreport* 1999, **10** : 969-973

LIVINGSTONE MS, ROSEN GD, DRISLANE FW, GALABURDA AM. Physiological and anatomical evidence for a magnocellular defect in developmental dyslexia. *Proc Natl Acad Sci USA* 1991, **88** : 7943-7947

NAGARAJAN S, MAHNCKE H, SALZ T, TALLAL P, ROBERTS T, MERZENICH MM. Cortical auditory signal processing in poor readers. *Proc Natl Acad Sci USA* 1999, **96** : 6483-6488

NICOLSON RI, FAWCETT AJ, BERRY EL, JENKINS IH, DEAN P, BROOKS DJ. Association of abnormal cerebellar activation with motor learning difficulties in dyslexic adults. *Lancet* 1999, **353** : 1662-1667

PAULESU E, FRITH U, SNOWLING M, GALLAGHER A, MORTON J, et coll. Is developmental dyslexia a disconnection syndrome? Evidence from PET scanning. *Brain* 1996, **119** : 143-157

PAULESU E, DÉMONET JF, FAZIO F, MCCRORY E, CHANOINE V, et coll. Dyslexia: cultural diversity and biological unity. *Science* 2001, **291** : 2165-2167

PENNINGTON BF, LEFLY DL. Early reading development in children at family risk for dyslexia. *Child Devel* 2001, **72** : 816-833

PRICE CJ. The functional anatomy of word comprehension and production. *Trends Cogn Sci* 1998, **2** : 281-288

PRICE CJ, WARBURTON EA, MOORE CJ, FRACKOWIAK RS, FRISTON KJ. Dynamic diaschisis: anatomically remote and context-sensitive human brain lesions. *J Cogn Neurosci* 2001, **13** : 419-429

PUGH KR, MENCL WE, JENNER AR, KATZ L, FROST SJ, et coll. Functional neuroimaging studies of reading and reading disability (developmental dyslexia). *Ment Retard Dev Disabil Res Rev* 2000, **6** : 207-213

RAE C, LEE MA, DIXON RM, BLAMIRE AM, THOMPSON CH, et coll. Metabolic abnormalities in developmental dyslexia detected by 1H magnetic resonance spectroscopy. *Lancet* 1998, **351** : 1849-1852

RAE C, HARASTY JA, DZENDROWSKYJ TE, TALCOTT JB, SIMPSON JM, et coll. Cerebellar morphology in developmental dyslexia. *Neuropsychologia* 2002, **40** : 1285-1292

RICHARDS TL, DAGER SR, CORINA D, SERAFINI S, HEIDE AC, et coll. Dyslexic children have abnormal brain lactate response to reading-related language tasks. *Am J Neuroradiol* 1999, **20** : 1393-1398

RICHARDS TL, CORINA D, SERAFINI S, STEURY K, ECHELARD DR, et coll. Effects of a phonologically driven treatment for dyslexia on lactate levels measured by proton MR spectroscopic imaging. *Am J Neuroradiol* 2000, **21** : 916-922

RUFF S, CARDEBAT D, MARIE N, DÉMONET JF. Enhanced response of the left frontal cortex to slowed down speech in dyslexia: an fMRI study. *Neuroreport* 2002, **13** : 1285-1289

RUMSEY JM, ANDREASON P, ZAMETKIN AJ, AQUINO T, KING AC, et coll. Failure to activate the left temporoparietal cortex in dyslexia. An oxygen 15 positron emission tomographic study. *Arch Neurol* 1992, **49** : 527-534

RUMSEY JM, DONOHUE BC, BRADY DR, NACE K, GIEDD JN, ANDREASON P. A magnetic resonance imaging study of planum temporale asymmetry in men with developmental dyslexia. *Arch Neurol* 1997, **54** : 1481-1489

RUMSEY JM, HORWITZ B, DONOHUE BC, NACE KL, MAISOG JM, ANDREASON PA. Functional lesion in developmental dyslexia: left angular gyral blood flow predicts severity. *Brain Lang* 1999, **70** : 187-204

SCHULTE-KÖRNE G, DEIMEL W, BARTLING J, REMSCHMIDT H. Auditory processing and dyslexia: evidence for specific speech processing deficit. *NeuroReport* 1998, **9** : 337-340

SHAYWITZ SE. Dyslexia. *N Engl J Med* 1998, **338** : 307-312

SHAYWITZ SE, SHAYWITZ BA, PUGH KR, FULBRIGHT RK, CONSTABLE RT, et coll. Functional disruption in the organization of the brain for reading in dyslexia. *Proc Natl Acad Sci USA* 1998, **95** : 2636-2641

SHAYWITZ SE, FLETCHER JM, HOLAHAN JM, SHNEIDER AE, MARCHIONE KE, et coll. Persistance of dyslexia: the Connecticut Longitudinal Study at adolescence. *Pediatrics* 1999, **104** : 1351-1359

SHAYWITZ BA, SHAYWITZ SE, PUGH KR, MENCL WE, FULBRIGHT RK, et coll. Disruption of posterior brain systems for reading in children with developmental dyslexia. *Biol Psychiatry* 2002, **52** : 101-110

SHAYWITZ BA, SHAYWITZ SE, BLACHMAN B, PUGH KR, FULBRIGHT RK, et coll. Development of Left Occipitotemporal Systems for Skilled Reading in Children After a Phonologically Based Intervention. *Biol Psychiatry* 2004, doi:10.1016/j.biopsych.2003.12.019

SHAYWITZ SE, SHAYWITZ BA, FULBRIGHT RK, SKUDLARSKI P, MENCL WE, et coll. Neural systems for compensation and persistence: young adult outcome of childhood reading disability. *Biol Psychiatry* 2003, **54** : 25-33

SILANI G, FRITH U, DÉMONET JF, FAZIO F, PERANI D, et coll. Brain abnormalities underlying altered activation in dyslexia: a voxel based morphometry study. *Brain* 2005, **128** : 2453-2461

SIMOS PG, BREIER JI, FLETCHER JM, BERGMAN E, PAPANICOLAOU AC. Cerebral mechanisms involved in word reading in dyslexic children: a magnetic source imaging approach. *Cereb Cortex* 2000a, **10** : 809-816

SIMOS PG, BREIER JI, FLETCHER JM, MAGGIO WW, FLETCHER JM, et coll. Brain activation in dyslexic in dyslexic children during non-word reading: a magnetic source imaging study. *Cereb Neurosci Letters* 2000b, **290** : 61-65

SIMOS PG, BREIER JI, WHELESS JW, MAGGIO WW, FLETCHER JM, et coll. Brain mechanisms for reading: the role of the superior temporal gyrus in word and pseudoword naming. *Neuroreport* 2000c, **11** : 2443-2467

SIMOS PG, FLETCHER JM, BERGMAN E, BREIER JI, FOORMAN BR, et coll. Dyslexia-specific brain activation profile becomes normal following successful remedial training. *Neurology* 2002a, **58** : 1203-1213

SIMOS PG, FLETCHER JM, FOORMAN BR, FRANCIS DJ, CASTILLO EM, et coll. Brain activation profiles during the early stages of reading acquisition. *J Child Neuro* 2002b, **17** : 159-163

TAYLOR MJ, KEENAN NK. Event-related potentials to visual and language stimuli in normal and dyslexic children. *Psychophysiology* 1990, **27** : 318-327

TAYLOR MJ, KEENAN NK. ERPs to orthographic, phonological and semantic classification tasks in normal and dyslexic children. *Devel Neuropsych* 1999, **15** : 307-326

TEMPLE E, POLDRACK RA, SALIDIS J, DEUTSCH GK, TALLAL P, et coll. Disrupted neural responses to phonological and orthographic processing in dyslexic children: an fMRI study. *Neuroreport* 2001, **12** : 299-307

TEMPLE E, DEUTSCH GK, POLDRACK RA, MILLER SL, TALLAL P, et coll. Neural deficits in children with dyslexia ameliorated by behavioral remediation: evidence from functional MRI. *Proc Natl Acad Sci USA* 2003, **100** : 2860-2865

TORGENSEN JK, WAGNER RK, RASHOTTE CA, ROSE E, LINDAMOOD P, et coll. Preventing reading failure in young children with phonological processing disabilities: group and individual responses to instruction. *J Educ Psychol* 1999, **91** : 579-593

VANNI S, UUSITALO MA, KIESILA P, HARI R. Visual motion activates V5 in dyslexics. *Neuroreport* 1997, **8** : 1939-1942

WISE BW, RING J, OLSON RK. Individual differences in gains from computer-assisted remedial reading. *J Exp Child Psych* 2000, **77** : 197-335

19

Facteurs génétiques

Ce chapitre analyse les données relatives aux facteurs génétiques des troubles spécifiques des apprentissages en s'appuyant sur les données d'épidémiologie génétique (études familiales et études de jumeaux) et sur les progrès de la biologie moléculaire qui ont permis la mise en évidence de gènes susceptibles d'être impliqués dans ces troubles, essentiellement dans la dyslexie. Ces troubles sont à la fois sous l'influence de facteurs génétiques et environnementaux (figure 19.1).

Figure 19.1 : Facteurs impliqués dans l'étiologie des troubles neurodéveloppementaux

Études familiales

L'hypothèse de la nature familiale de la dyslexie est évoquée depuis longtemps (Stephenson, 1907 ; Hallgren, 1950) et un faisceau de présomptions

rassemblées depuis une vingtaine d'années fait en effet penser que la dyslexie possède une origine génétique (DeFries et coll., 1987).

Le meilleur indice d'une composante familiale est l'augmentation du risque chez les apparentés d'un sujet atteint. Il s'agit d'un risque relatif comparant le risque des apparentés d'individus sains au risque du trouble chez les apparentés d'individus malades. On utilise en général les antécédents familiaux du premier degré (parents, frères et sœurs). Mais ce sont les études de jumeaux qui permettent d'apprécier le poids des facteurs génétiques par rapport aux facteurs environnementaux par le calcul de l'héritabilité.

Troubles du langage oral

La présence de plusieurs sujets atteints de troubles du langage dans une même famille n'est pas une éventualité rare, traduisant à la fois l'influence de l'environnement et de la génétique. Plusieurs études familiales ont montré que les apparentés du premier degré d'un sujet atteint de troubles du langage avaient un risque relatif deux à sept fois supérieur à celui de la population générale de développer des difficultés du même ordre (Brzustowicz, 1998). De même, dans une méta-analyse, Stromswold (2001) montre que la prévalence des troubles du langage varie de 24 à 78 % (moyenne 46 %) dans les familles où il y a déjà un sujet atteint, alors qu'elle ne varie qu'entre 3 à 46 % (moyenne 18 %) dans les groupes témoins des différentes études.

Troubles du langage écrit

Les troubles du langage écrit apparaissent aussi très fréquemment dans les familles à risque (Flax et coll., 2003). Une question importante qui se pose cependant est celle de savoir si les familles à risque de trouble du langage écrit sont aussi celles qui sont le plus à risque de trouble du langage oral et réciproquement. À première vue, les études concernant les facteurs de risque semblent soutenir l'idée d'un continuum entre le trouble du langage oral et le trouble du langage écrit. Elles montrent que les enfants manifestant des troubles du langage oral présentent très fréquemment aussi un trouble de lecture. Cependant, cette tendance est moins évidente que cela apparaît, pour deux raisons. D'abord, les parents atteints ont été souvent identifiés sur la base de tests en langage écrit mais pas en langage oral. Nous ne pouvons donc pas exclure la possibilité que certains d'entre eux avaient aussi des troubles du langage oral. Deuxièmement, bien que le développement verbal soit souvent retardé chez les enfants à risque de troubles du langage écrit, ils ont été rarement identifiés comme ayant un retard de langage oral. Par exemple, seulement un enfant dans l'étude de Snowling et coll. (2003) avait répondu aux critères diagnostiques de trouble spécifique du langage oral.

Les études familiales mettent en évidence l'augmentation du risque relatif pour les apparentés d'un cas de dyslexie de développer des troubles du lan-

gage oral et écrit. L'agrégation familiale des cas de dyslexie a été remarquée il y a déjà bien longtemps (Stephenson, 1907 ; Hallgren, 1950) : si un enfant est dyslexique, il existe un risque d'environ 40 à 50 % qu'un de ses frères et sœurs le soit, et qu'un des deux parents l'ait été (Vogler et coll., 1985 ; Wolff et Melngailis, 1994) (figure 19.2). Cela n'exclut pas l'observation par ailleurs de cas sporadiques, dans la mesure où les mêmes dysfonctionnements cérébraux et cognitifs peuvent survenir *de novo*. Pour la dyslexie, le risque de retrouver le trouble chez un apparenté de l'individu atteint est de 8 à 10 fois plus élevé que ce même risque dans la parenté d'un individu non atteint.

Cependant, l'agrégation familiale suggère, mais ne prouve pas l'origine génétique. En effet, les familles partagent non seulement une partie de leurs gènes, mais également un certain environnement. On peut imaginer que des parents qui ne lisent pas constituent, pour leurs enfants, un environnement peu favorable à l'apprentissage de la lecture.

Figure 19.2 : Exemple d'une famille comportant des cas multiples de dyslexie sur quatre générations (Nopola-Hemmi et coll., 2002)

Les carrés représentent des hommes, les ronds des femmes. Les chiffres romains représentent les générations, les chiffres arabes identifient chaque individu au sein d'une génération. Les points noirs désignent les personnes ayant subi un examen neuropsychologique permettant de vérifier leur statut diagnostique.

Études de jumeaux

Pour estimer le poids des facteurs génétiques par rapport aux facteurs environnementaux, on se reporte généralement aux études de jumeaux monozygotes (MZ) et dizygotes (DZ). Ces études de jumeaux ont précisément comme objectif de calculer l'héritabilité, c'est-à-dire le pourcentage de la variance expliquée par les facteurs génétiques. On mesure pour cela la con-

cordance des pathologies chez les deux types de jumeaux. On observe que lorsqu'un jumeau monozygote est dyslexique, la probabilité que l'autre le soit également est d'environ 70 %. En revanche, la probabilité n'est plus que de 45 % pour les jumeaux dizygotes (Plomin et coll., 1994 ; Stromswold, 2001). Comme on peut penser que les jumeaux monozygotes partagent entre eux les mêmes facteurs environnementaux que les jumeaux dizygotes, la différence de concordance s'explique donc par le fait que les jumeaux monozygotes sont similaires génétiquement à 100 % alors que les jumeaux dizygotes ne le sont qu'à 50 % (pour les gènes qui varient) ; les données de concordance permettent ainsi de calculer l'héritabilité.

Ceci ne signifie pas pour autant une relation causale directe. On peut supposer qu'une modification de l'environnement de deux vrais jumeaux, pendant leur développement intra-utérin ou lors de la période périnatale puisse entraîner un effet identique après la naissance, par une réponse similaire à une modification de l'environnement. Ces hypothèses mériteraient des travaux dans le domaine de la dyslexie.

L'héritabilité de la dyslexie est comprise entre 50 et 65 %. Ces données sont issues, en particulier, des deux plus grandes études sur les jumeaux : l'étude du Colorado (DeFries et coll., 1987 ; Olson et coll., 1989 ; Castles et coll., 1999) et l'étude de Londres (Stevenson et coll., 1987).

Des données similaires ont été collectées concernant les difficultés en mathématiques, aboutissant à une héritabilité d'environ 50 % (Knopik et deFries 1999a et b ; Alarcon et coll. 1997 ; Oliver et coll., 2004).

Les études de jumeaux permettent également de distinguer les facteurs partagés (facteurs d'environnement familial) et non partagés (environnement social, scolaire…). Dans le cas de la dyslexie, les facteurs environnementaux non partagés sont prédominants par rapport aux facteurs environnementaux partagés.

Toutes ces données permettent d'établir qu'il y a bien une contribution génétique à la dyslexie mais n'identifient pas les facteurs génétiques et n'expliquent pas leur mode d'action.

Études de liaison dans les troubles des apprentissages

Les analyses de liaison génétique ont montré plusieurs régions chromosomiques significativement liées aux troubles des apprentissages (c'est-à-dire des régions chromosomiques transmises par les parents significativement plus souvent aux enfants avec troubles qu'aux enfants sans trouble). Le lien entre la dyslexie et les régions sur les chromosomes 1, 2, 3, 6, 15 et 18 a été rapporté par des équipes indépendantes dans plusieurs études (tableau 19.I).

Tableau 19.I : Régions chromosomiques impliquées dans les troubles des apprentissages

Références	Loci	Nombre de familles (nombre d'individus)	Pays	Phénotype
Rabin et coll., 1993	1p34-36	9	États-Unis	Apprentissage global
Grigorenko et coll., 2001		8 (165)	États-Unis	Lecture de pseudo-mots
Fagerheim et coll., 1999	2p15-p16	1 (36)	Norvège	Apprentissage global
Fisher et coll., 2002		89 (195)	Grande-Bretagne	
		119 (180)	États-Unis	Langage écrit
Petryshen et coll., 2002		96 (877)	Canada	Lecture de pseudo-mots
Nopola-Hemmi et coll., 2001	3p12-q13	1 (74)	Finlande	Apprentissage global
Fisher et coll., 2002		89 (195)	Grande-Bretagne	
		119 (180)	États-Unis	Lecture
Cardon et coll., 1994	6p21.3	9 (358)	États-Unis	
Grigorenko et coll., 1997		6 (94)	États-Unis	Conscience phonologique
Grigorenko et coll., 2000 et 2003		9	États-Unis	Conscience phonologique
Fisher et coll., 1999		82 (181)	Grande-Bretagne	
Gayán et coll., 1999		7 (180)	États-Unis	
Fisher et coll., 2002		8 (195)	États-Unis Grande-Bretagne	Lecture
Smith et coll., 1983	15q21	9 (84)	États-Unis	Apprentissage global
Grigorenko et coll., 1997		6 (94)	États-Unis	Lecture de mots
Grigorenko et coll., 2000		8 (171)	États-Unis	Lecture de mots
Schulte-Körne et coll., 1998		7 (67)	Allemagne	Dysorthographie
Nothen et coll., 1999		7 (67)	Allemagne	Dysorthographie
Morris et coll., 2000		101 (146)		
Fisher et coll., 2002	18p11.2	173 (338)	Grande-Bretagne	Apprentissage global
		119 (180)	Grande-Bretagne États-Unis	Lecture

Les chromosomes impliqués dans la dyslexie ainsi que les régions qui ont été retrouvées par plusieurs études de liaison sont représentés dans la figure 19.3.

La multiplicité des sites chromosomiques impliqués suggère que les troubles spécifiques des apprentissages sont, dans la plupart des cas, des déficits ayant une composante génétique complexe dans laquelle plusieurs gènes sont impliqués.

Figure 19.3 : Six chromosomes dont des régions sont liées à la dyslexie (d'après Grigorenko et coll., 2003)

Chaque barre noire verticale indique la portion de chromosome qui a été liée à la dyslexie dans une étude. Des barres multiples indiquent que la liaison a été répliquée par plusieurs études. La flèche indique le site 15q21 sur lequel le gène *DYX1C1* a été identifié.

Identification de gènes

Les régions chromosomiques liées indiquent les régions du génome au sein desquelles se trouvent très probablement des gènes associés à la dyslexie. Néanmoins, ces régions peuvent abriter des centaines de gènes, qui sont catalogués mais qui pour la plupart n'ont jamais été étudiés. Il y a donc un fossé énorme entre l'identification d'une région liée, et l'identification au sein de cette région, d'un gène associé. Les progrès de la biologie moléculaire permettent de réduire de jour en jour ce fossé. À ce jour, 4 gènes candidats ont été identifiés comme pouvant être associés à une susceptibilité génétique à la dyslexie.

Gène *DYX1C1*

Des chercheurs finlandais ont identifié le premier gène associé à la dyslexie dans l'une des 6 régions chromosomiques suspectes. Il s'agit du gène *DYX1C1* de la région q21 du chromosome 15, qui a été identifié grâce à une translocation au sein d'une famille (Taipale et coll., 2003).

La protéine exprimée par ce gène est trouvée dans divers tissus incluant les neurones de la zone corticale et les cellules gliales. Elle intervient dans les interactions protéine-protéine.

Les auteurs finlandais ont analysé la variation des séquences de *DYX1C1* dans de larges populations finlandaises. Deux changements rares sont identifiés : en position – 3 une adénine remplace une guanine, et en position 1 249 une thymine remplace une guanine. Ces changements sont trouvés dans des cas de dyslexie et chez des témoins sains, mais néanmoins plus fréquemment chez les cas. Quelques sujets sont porteurs d'un chromosome présentant à la fois les deux changements. Les deux polymorphismes peuvent potentiellement affecter la fonction du gène de deux façons différentes. La première mutation peut moduler l'expression du gène, et la deuxième qui créé un codon stop dans la région codante est responsable d'une protéine tronquée.

Cependant, six études longitudinales indépendantes menées au Royaume-Uni, aux États-Unis, au Canada et en Italie trouvent bien les allèles -3A et 1 249T présents dans toutes leurs populations mais ne retrouvent pas de lien entre ces polymorphismes et les problèmes de lecture (Scerri et coll., 2004 ; Wigg et coll., 2004 ; Bellini et coll., 2005 ; Cope et coll., 2005a ; Marino et coll., 2005 ; Meng et coll., 2005a). Il paraît peu probable que la population finlandaise, bien que présentant une plus grande homogénéité génétique que les autres populations, puisse être la seule à être susceptible aux effets fonctionnels de ces allèles.

Plusieurs explications sont suggérées pour rendre compte de ces différences entre l'étude finlandaise et les essais de réplications : implication d'un gène situé à proximité de *DYX1C1* pouvant être transmis en même temps que les allèles ; les associations mises en évidence dans l'étude finlandaise pourraient être de faux positifs pour des raisons méthodologiques (Scerri et coll., 2004 ; Cope et coll., 2005a ; Meng et coll., 2005a) ; le gène *DYX1C1* pourrait ne pas correspondre aux gènes impliqués dans les analyses de liaison des premières études DYX1 (Scerri et coll., 2004 ; Cope et coll., 2005a ; Meng et coll., 2005a). Ainsi, les chercheurs continuent de rechercher dans la région 15q15-21 les gènes qui pourraient influencer la susceptibilité à la dyslexie.

La fonction du gène *DYX1C1* a été étudiée par des neurobiologistes qui ont démontré que le gène était impliqué dans la migration neuronale (Wang et coll., 2006). Des coupes de cerveaux de rats ont été faites à un stade de

maturation du cerveau correspondant au 4e ou 5e mois de gestation chez l'humain, c'est-à-dire au moment où s'effectue la migration neuronale. Lorsque le gène *DYX1C1* est invalidé chez le rat au cours du développement cérébral (par une technique dite « d'ARN interférent »), la phase de migration des neurones de leur position péri-ventriculaire à leur situation corticale finale ne se fait pas correctement. En outre, cette migration anormale induit parfois des ectopies à la surface du cortex de la souris. Les chercheurs ont donc découvert un gène qui, potentiellement, pourrait contribuer à une explication des anomalies de migration neuronale observées dans le cerveau des dyslexiques comme l'avaient montré Galaburda et coll. (1985). Ces données fonctionnelles renforcent la pertinence du gène *DYX1C1* par rapport à la dyslexie. Mais il est probable que les véritables allèles de susceptibilité n'ont pas encore été découverts, ce qui peut expliquer l'incapacité des différentes équipes à répliquer l'association initialement proposée (Fisher et Francks, 2006 ; Galaburda et coll., 2006).

Gènes *KIAA0319* et *DCDC2*

La liaison au bras court du chromosome 6 (Smith et coll., 1991 ; Cardon et coll., 1994 et 1995) représente le résultat le mieux répliqué dans la littérature sur la dyslexie (Bisgaard et coll., 1987 ; Fisher et coll., 1999 ; Gayán et coll., 1999 ; Grigorenko et coll., 2000 ; Fisher et coll., 2002 ; Kaplan et coll., 2002 ; Turic et coll., 2003). Les études convergent sur la partie 6p23-21.3 nommée DYX2 mais cette région de consensus contient plusieurs centaines de gènes.

Francks et coll. (2004) ont identifié une région 6p22 où de multiples polymorphismes montrent des associations avec des déficits de lecture. Ces associations ont été retrouvées dans un grand nombre de familles dyslexiques au Berkshire (Royaume-Uni) et au Colorado (États-Unis). La région d'intérêt contient 3 gènes. Le gène *THEM2* code pour une enzyme du métabolisme ; *TTRAP* code pour une protéine impliquée dans des processus cellulaires fondamentaux tels que la mort cellulaire programmée et la réponse immune. Ces deux gènes sont largement exprimés. Quant au gène *KIAA0319*, il est exprimé principalement dans le tissu nerveux (Londin et coll., 2003) et code pour une protéine qui est impliquée dans l'adhésion et les interactions entre neurones adjacents.

Cope et coll. (2005b) rapportent également, dans une étude cas-témoins indépendante de Cardiff (Royaume-Uni), une association avec le groupe KIAA0319-THEM2-TTRAP, qu'ils ont confirmé par un test de déséquilibre de transmission. Dans leur étude, deux polymorphismes de KIAA0319 apparaissent plus particulièrement associés avec la dyslexie. Dans un cas, il s'agit du remplacement d'une alanine par une thréonine, mais ce changement est également relativement fréquent dans les populations non affectées et

en conséquence ne peut pas représenter l'haplotype à risque associé à la dyslexie. Les études fonctionnelles récentes indiquent que les chromosomes qui portent l'haplotype potentiellement à risque donnent une expression réduite de *KIAA0319*, mais des niveaux normaux pour *THEM2/TTRAP* (Paracchini et coll., 2006). On ne sait pas quelle séquence des variants confère cette différence dans la régulation.

Meng et coll. (2005b) ont étudié les mêmes familles du Colorado que celles incluses dans l'étude de Francks et coll. (2004), mais ils ont ciblé leur recherche sur un gène différent : *DCDC2*. Dans ce gène, 2 500 nucléotides d'une région intronique sont absents chez un petit nombre de personnes dyslexiques et correspondent à une délétion contenant un microsatellite ou STRs (*Short Tandem Repeats*). Le nombre de copies de STRs varie dans différentes populations rendant compte de différents allèles. Le gène *DCDC2* est exprimé dans de nombreux tissus incluant le cerveau (Schumacher et coll., 2006). Le produit de ce gène ressemble à une protéine cytoplasmique (DCX) qui est impliquée dans un déficit de migration neuronale retrouvé dans deux troubles sévères : la lissencéphalie et le syndrome du double cortex.

Dans une étude allemande, Schumacher et coll. (2006) impliquent également le gène *DCDC2* dans le déficit de lecture d'après les résultats de tests de déséquilibre de transmission. L'association est plus significative chez les individus affectés par une dyslexie sévère. Cependant, aucun allèle à risque fonctionnel n'est identifié et la délétion STR n'a pas été étudiée. Les études pour évaluer si la délétion/variation STR est associée à des changements dans l'expression de *DCDC2* restent à faire.

Bien que ces données soient encourageantes, elles ne prouvent pas une relation causale avec un trouble de la lecture. La démonstration directe que la fonction des gènes *KIAA0319* ou *DCDC2* est modifiée chez les dyslexiques n'est pas faite. Il est probable que les deux gènes contribuent au risque mais leur influence relative varie selon les échantillons de populations étudiés.

Enfin, des études fonctionnelles par ARN interfèrent chez le rat montrent que les gènes *DCDC2* et *KIAA0319* sont eux aussi tous deux nécessaires pour la migration neuronale (Meng et coll., 2005b ; Paracchini et coll., 2006).

Gène *ROBO1*

Une liaison avec la région DYX5 du chromosome 3 a été trouvée dans une famille finlandaise sur 4 générations (27 des 74 membres sont diagnostiqués avec une dyslexie, cf. figure 19.2) suggérant une transmission particulière d'un gène à effet dominant (Nopola-Hemmi et coll., 2001). L'étude de telles familles peut constituer une aide dans l'identification de gènes de susceptibilité. Une région du chromosome 3 (3p12-q13) était partagée (héritée du même chromosome fondateur) par 19 des 21 sujets affectés étudiés dans la

famille présentant cette liaison à DYX5. Par ailleurs, une translocation entre les chromosomes 3 et 8 a été identifiée chez un sujet dyslexique indépendant (Hannula-Jouppi et coll., 2005). Ces auteurs ont mis en évidence que le point de translocation du chromosome 3, dans ce cas unique, présentait une modification dans un intron du gène *ROBO1*.

Il s'agit d'un gène qui code pour un récepteur transmembranaire impliqué dans la transduction du signal qui aide à réguler le guidage des axones, notamment d'un hémisphère à l'autre. *ROBO1* se situe en 3p12 dans la région concernée. La recherche de gènes dans cette famille finlandaise a montré que les personnes affectées portent une combinaison inhabituelle de polymorphismes. L'un des variants identifiés présente une modification de la structure de la protéine ROBO1 par insertion/délétion d'un résidu d'acide aspartique. Mais ce changement est également retrouvé chez les sujets non atteints et ne peut donc pas être considéré à lui seul comme causal (Hannula-Jouppi et coll., 2005). Par ailleurs, il a été retrouvé une diminution de l'expression de *ROBO1* chez certains individus porteurs de l'haplotype à risque, mais cela n'a pas été vérifié chez tous les membres de la famille portant l'haplotype à risque.

En conclusion, la recherche sur la génétique de la dyslexie est à la fois riche de succès et d'incertitudes. Tout d'abord, le poids des facteurs génétiques, amplement illustré par les études de familialité et de jumeaux, ne fait désormais plus aucun doute (nonobstant l'hétérogénéité de la population dyslexique). Les études de liaison ont mis en évidence une dizaine de régions chromosomiques liées, dont six ont été confirmées par plusieurs études indépendantes. Au sein de ces six régions, quatre gènes candidats ont été proposés. Deux d'entre eux (*DYX1C1, ROBO1*) présentent des mutations chez des cas ou familles rares, mais on ne sait pas si des allèles de ces gènes augmentent le risque de formes plus courantes de dyslexie. Pour les deux autres (*KIAA0319* et *DCDC2*), des haplotypes de susceptibilité au sein de grandes populations ont été proposés. Ces haplotypes restent néanmoins à confirmer. Hormis les cas rares de mutation radicale invalidant la fonction de la protéine (DYX1C1 dans une famille finlandaise), il semble que les allèles de susceptibilité produisent leurs effets par une altération de l'expression de la protéine (certains haplotypes sont d'ailleurs situés dans des régions régulatrices). Néanmoins, les données d'expression restent fragmentaires et demandent à être confirmées. Le résultat le plus remarquable sur les propriétés fonctionnelles de ces gènes provient des études sur l'animal en cours de développement. Ces études montrent que les quatre gènes candidats pour la dyslexie sont impliqués dans la migration des neurones au cours du développement cérébral, trois dans la migration radiaire des corps cellulaires vers le cortex, et un (*ROBO1*) dans la migration des axones et des dendrites. Il paraît peu probable qu'une telle convergence de fonctions soit due au

hasard. De plus, ces résultats permettent d'établir un lien entre les gènes associés à la dyslexie et les anomalies cérébrales qui ont été observées dans les cerveaux de certaines personnes dyslexiques (Galaburda et coll., 1985 ; Galaburda et coll., 2006).

Il est important de souligner que, si l'usage en génétique veut qu'on désigne ces gènes comme des « gènes de la dyslexie », il s'agit là d'un abus de langage, en fait d'un raccourci pour désigner des « gènes dont certains allèles augmentent le risque de dyslexie ». Il va de soi qu'aucun de ces gènes n'est spécifique à la dyslexie, et qu'il ne s'agit pas non plus de gènes de la lecture, ni même du langage oral. Comme presque tous nos gènes, ceux-ci existent dans des formes voisines chez les autres mammifères, voire même chez la drosophile (*ROBO1*). Ces gènes exercent, chez tous ces animaux, des fonctions multiples, et sont d'ailleurs exprimés dans de nombreux organes différents au cours du développement et de la vie. Ce qui les relie plus spécifiquement à la dyslexie, c'est le fait d'être aussi impliqués dans un stade particulier du développement cérébral, et notamment dans la mise en place de certaines aires cérébrales qui seront bien plus tard recrutées par l'apprentissage de la lecture[42].

En ce qui concerne les autres troubles spécifiques des apprentissages, la recherche en génétique en est encore à ses balbutiements. On ne sait de la dyscalculie que la forte héritabilité des difficultés en mathématiques. En ce qui concerne la dysorthographie, les études génétiques ne l'ont en fait pas vraiment distinguée de la dyslexie, beaucoup d'études utilisant des mesures d'orthographe aussi bien que de lecture pour définir le phénotype. En particulier, du fait de la transparence de l'orthographe, les études allemandes utilisent typiquement l'orthographe comme le principal phénotype révélateur de la dyslexie. C'est ainsi qu'on peut considérer que le gène *DCDC2* est en fait associé à la dysorthographie dans l'étude de Schumacher et coll. (2006). L'association du même gène par l'étude américaine a, elle, été obtenue sur la base d'un score composite combinant lecture et orthographe. Pour l'instant, aucune étude n'a recherché des facteurs génétiques qui pourraient distinguer dyslexie de dysorthographie.

Enfin, il est important de prendre en compte l'hétérogénéité qui se cache derrière les généralités énoncées ci-dessus. Celle-ci se situe à tous les niveaux :

42. L'expression de ces gènes n'est en fait pas restreinte aux aires périsylviennes gauches supposées recrutées par l'apprentissage de la lecture. Les mécanismes par lesquels les perturbations induites par les allèles de susceptibilité pourraient être restreintes à ces aires ne sont pour l'instant pas compris, mais pourraient par exemple résider dans d'autres facteurs génétiques interagissant avec les gènes de la migration neuronale, et dont l'expression serait plus localisée spatialement (Ramus, 2004).

• au niveau des causes primaires, tous les cas de dyslexie ne sont pas nécessairement d'origine génétique. Il est fort probable que dans un certain nombre de cas, la cause primaire puisse résider dans des facteurs non génétiques, à savoir typiquement d'autres facteurs biologiques, notamment ceux entraînant des anomalies cérébrales à la naissance (Daigneault et Braun, 2002) ;
• au niveau des causes génétiques, il existe également une grande hétérogénéité. Dans certains cas rares, il semble qu'une mutation d'un gène unique soit suffisante pour provoquer la dyslexie. L'identité du gène responsable peut varier d'un cas à l'autre. Dans la plupart des cas, les personnes dyslexiques ne semblent pas porteuses d'une mutation rare, mais plutôt d'allèles de susceptibilité. Ces allèles sont fréquents au sein de la population normale, et ne constituent pas en soit une cause suffisante de la dyslexie. Chaque allèle de susceptibilité augmente un peu le risque de dyslexie, le trouble ne se révélant que lors de combinaisons particulièrement défavorables d'allèles de susceptibilité, et/ou d'interactions de ces allèles avec des facteurs non génétiques augmentant également le risque. On est là dans la logique des maladies génétiques complexes ;
• au niveau des causes non biologiques, il existe un grand nombre de facteurs environnementaux (biochimiques, traumatiques, linguistiques, socioculturels, pédagogiques) qui peuvent moduler l'expression des facteurs génétiques, positivement ou négativement.

Chaque individu dyslexique possède donc son propre profil cognitif et ses propres particularités cérébrales, qui sont le résultat de la combinaison spécifique de facteurs génétiques dont il est porteur, et des facteurs non génétiques auxquels il a été exposé.

BIBLIOGRAPHIE

ALARCON M, DEFRIES JC, LIGHT JG, PENNINGTON BF. A twin study of mathematics disability. *Journal of Learning Disabilities* 1997, **30** : 617-623

ANDREWS S. Communicating a new gene vital for speech and language. *Clinical Genetics* 2002, **61** : 97-100

BELLINI G, BRAVACCIO C, CALAMONERI F, DONATELLA COCUZZA M, FIORILLO P, et coll. No evidence for association between dyslexia and DYX1C1 functional variants in a group of children and adolescents from Southern Italy. *J Mol Neurosci* 2005, **27** : 311-314

BISGAARD ML, EIBERG H, MOLLER N, NIEBUHR E, MOHR J. Dyslexia and chromosome 15 heteromorphism: negative lod score in a Danish material. *Clin Genet* 1987, **32** : 118-119

BRZUSTOWICZ LM. Molecular genetic approaches to the study of language. *Hum Biol* 1998, **70** : 325-345

CARDON LR, SMITH SD, FULKER DW, KIMBERLING WJ, PENNINGTON BF, DEFRIES JC. Quantitative trait locus for reading disability on chromosome 6. *Science* 1994, **266** : 276-279

CARDON LR, SMITH SD, FULKER DW, KIMBERLING WJ, PENNINGTON BF, DEFRIES JC. Quantitative trait locus for reading disability: correction. *Science* 1995, **268** : 1553

CASTLES A, DATTA H, GAYÁN J, OLSON RK. Varieties of developmental reading disorder: genetic and environmental influences. *Journal of Experimental Child Psychology* 1999, **72** : 73-94

COPE NA, HILL G, VAN DEN BREE M, HAROLD D, MOSKVINA V, et coll. No support for association between dyslexia susceptibility 1 candidate 1 and developmental dyslexia. *Mol Psychiatry* 2005a, **10** : 237-238

COPE N, HAROLD D, HILL G, MOSKVINA V, STEVENSON J, HOLMANS P. Strong evidence that KIAA0319 on chromosome 6p is a susceptibility gene for developmental dyslexia. *Am J Hum Genet* 2005b, **76** : 581-591

DAIGNEAULT S, BRAUN CM. Pure Severe Dyslexia After a Perinatal Focal Lesion: Evidence of a Specific Module for Acquisition of Reading. *J Dev Behav Pediatr* 2002, **23** : 256-265

DEFRIES JC, FULKER DW, LABUDA MC. Evidence for a genetic aetiology in reading disability of twins. *Nature* 1987, **329** : 537-539

FAGERHEIM T, RAEYMAEKERS P, TONNESSEN FE, PEDERSEN M, TRANEBJAERG L, LUBS HA. A new gene (DYX3) for dyslexia is located on chromosome 2. *J Med Genet* 1999, **36** : 664-669

FISHER SE, FRANCKS C. Genes, cognition and dyslexia: learning to read the genome. *Trends in Cognitive Sciences* 2006, **10** : 250-257

FISHER SE, MARLOW AJ, LAMB J, MAESTRINI E, WILLIAMS DF, et coll. A quantitative-trait locus on chromosome 6p influences different aspects of developmental dyslexia. *Am J Hum Genet* 1999, **64** : 146-156

FISHER SE, FRANCKS C, MARLOW AJ, MACPHIE IL, NEWBURY DF, et coll. Independent genome-wide scans identify a chromosome 18 quantitative-trait locus influencing dyslexia. *Nat Genet* 2002, **30** : 86-91

FLAX JF, REALPE-BONILLA T, HIRSCH LS, BRZUSTOWICZ LM, BARTLETT CW, TALLAL P. Specific language impairment in families: evidence for co-occurrence with reading impairments. *J Speech Lang Hear Res* 2003, **46** : 530-543

FRANCKS C, PARACCHINI S, SMITH SD, RICHARDSON AJ, SCERRI TS, et coll. A 77-kilobase region of chromosome 6p22.2 is associated with dyslexia in families from the United Kingdom and from the United States. *Am J Hum Genet* 2004, **75** : 1046-1058

GALABURDA AM, SHERMAN GF, ROSEN GD, ABOITIZ F, GESCHWIND N. Developmental dyslexia: four consecutive patients with cortical anomalies. *Ann Neurol* 1985, **18** : 222-233

GALABURDA AM, LOTURCO J, RAMUS F, FITCH RH, ROSEN GD. From genes to behavior in developmental dyslexia. *Nature Neuroscience* 2006, **9** : 1213-1217

GAYÁN J, SMITH SD, CHERNY SS, CARDON LR, FULKER DW, BROWER AM. Quantitative-trait locus for specific language and reading deficits on chromosome 6p. *Am J Hum Genet* 1999, **64** : 157-164

GRIGORENKO EL, WOOD FB, MEYER MS, HART LA, SPEED WC, et coll. Susceptibility loci for distinct components of developmental dyslexia on chromosomes 6 and 15. *Am J Hum Genet* 1997, **60** : 27-39

GRIGORENKO EL, WOOD FB, MEYER MS, PAULS DL. Chromosome 6p influences on different dyslexia-related cognitive processes: further confirmation. *Am J Hum Genet* 2000, **66** : 715-723

GRIGORENKO EL, WOOD FB, MEYER MS, PAULS JE, HART LA, PAULS DL. Linkage studies suggest a possible locus for developmental dyslexia on chromosome 1p. *Am J Med Genet* 2001, **105** : 120-129

GRIGORENKO EL, WOOD FB, GOLOVYAN L, MEYER M, ROMANO C, PAULS D. Continuing the search for dyslexia genes on 6p. *Am J Med Genet* 2003, **118B** : 89-98

HALLGREN B. Congenital word-blindness. A clinical and genetic study. *Acta Psychiatrica et Neurologica* 1950, suppl **65** : 1-287

HANNULA-JOUPPI K, KAMINEN-AHOLA N, TAIPALE M, EKLUND R, NOPOLA-HEMMI J, et coll. The axon guidance receptor gene ROBO1 is a candidate gene for developmental dyslexia. *Plos Genetics* 2005, **1** : e50

KAPLAN DE, GAYAN J, AHN J, WON TW, PAULS D, et coll. Evidence for linkage and association with reading disability on 6p21.3-22. *Am J Hum Genet* 2002, **70** : 1287-1298

KNOPIK VS, DEFRIES JC. Etiology of covariation between reading and mathematics performance: A twin study. *Twin Research* 1999a, **2** : 226-234

KNOPIK VS, DEFRIES JC. Reading and mathematics performance in twin pairs with and without reading difficulties. *Behavior Genetics* 1999b, **29** : 360-361

LONDIN ER, MENG H, GRUEN JR. A transcription map of the 6p22.3 reading disability locus identifying candidate genes. *BMC Genomics* 2003, **4** : 25

MARINO C, GIORDA R, LUISA LORUSSO M, VANZIN L, SALANDI N, et coll. A family-based association study does not support DYX1C1 on 15q21.3 as a candidate gene in developmental dyslexia. *Eur J Hum Genet* 2005, **13** : 491-499

MENG H, HAGER K, HELD M, PAGE GP, OLSON RK, et coll. TDT-association analysis of EKN1 and dyslexia in a Colorado twin cohort. *Hum Genet* 2005a, **118** : 87-90

MENG H, SMITH SD, HAGER K, HELD M, LIU J, OLSON RK. DCDC2 is associated with reading disability and modulates neuronal development in the brain. *Proc Natl Acad Sci USA* 2005, **102** : 17053-17058 – Erratum in: *Proc Natl Acad Sci USA* 2005b, **102** : 18763

MORRIS DW, ROBINSON L, TURIC D, DUKE M, WEBB V, et coll. Family-based association mapping provides evidence for a gene for reading disability on chromosome 15q. *Hum Mol Genet* 2000, **9** : 843-848

NOPOLA-HEMMI J, MYLLYLUOMA B, HALTIA T, TAIPALE M, OLLIKAINEN V, et coll. A dominant gene for developmental dyslexia on chromosome 3. *J Med Genet* 2001, **38** : 658-664

NOPOLA-HEMMI J, MYLLYLUOMA B, VOUTILAINEN A, LEINONEN S, KERE J, AHONEN T. Familial dyslexia: neurocognitive and genetic correlation in a large Finnish family. *Developmental Medicine and Child Neurology* 2002, **44** : 580-586

NOTHEN MM, SCHULTE-KÖRNE G, GRIMM T, CICHON S, VOGT IR, et coll. Genetic linkage analysis with dyslexia: evidence for linkage of spelling disability to chromosome 15. *Eur Child Adolesc Psychiatry* 1999, **8** : 56-59

OLIVER B, HARLAAR N, THOMAS MEH, KOVAS Y, WALKER SO, et coll. A twin study of teacher-reported mathematics performance and low performance in 7-year-olds. *Journal of Educational Psychology* 2004, **96** : 504-517

OLSON RK, GILLIS JJ, RACK JP, FULKER DW. Specific deficits in component reading and language skills: genetic and environmental influences. *Journal of Learning Disabilities* 1989, **22** : 339-348

PARACCHINI S, THOMAS A, CASTRO S, LAI C, PARAMASIVAM M, et coll. The chromosome 6p22 haplotype associated with dyslexia reduces the expression of KIAA0319, a novel gene involved in neuronal migration. *Hum Mol Genet* 2006, **15** : 1659-1666

PETRYSHEN TL, KAPLAN BJ, HUGHES ML, TZENOVA J, FIELD LL. Supportive evidence for the DYX3 dyslexia susceptibility gene in Canadian families. *J Med Genet* 2002, **39** : 125-126

PLOMIN R. The Emanuel Miller Memorial Lecture 1993. Genetic research and identification of environmental influences. *J Child Psychol Psychiatry* 1994, **35** : 817-834

RABIN M, WEN XL, HEPBURN M, LUBS HA, FELDMAN E, DUARA R. Suggestive linkage of developmental dyslexia to chromosome 1p34-p36. *Lancet* 1993, **342** : 178

RAMUS F. Neurobiology of dyslexia: a reinterpretation of the data. *Trends Neurosci* 2004, **27** : 720-726

SCERRI TS, FISHER SE, FRANCKS C, MACPHIE IL, PARACCHINI S, et coll. Putative functional alleles of DYX1C1 are not associated with dyslexia susceptibility in a large sample of sibling pairs from the UK. *J Med Genet* 2004, **41** : 853-857

SCHULTE-KÖRNE G, GRIMM T, NOTHEN MM, MULLER-MYHSOK B, CICHON S, et coll. Evidence for linkage of spelling disability to chromosome 15. *Am J Hum Genet* 1998, **63** : 279-282

SCHUMACHER J, ANTHONI H, DAHDOUH F, KÖNIG IR, HILLMER AM, et coll. A strong genetic evidence for DCDC2 as a susceptibility gene for dyslexia. *Am J Hum Genet* 2006, **78** : 52-62

SMITH SD, KIMBERLING WJ, PENNINGTON BF, LUBS HA. Specific reading disability: identification of an inherited form through linkage analysis. *Science* 1983, **219** : 1345-1347

SMITH SD, KIMBERLING WJ, PENNINGTON BF. Screening for multiple genes influencing dyslexia. *Reading and Writing* 1991, **3** : 285-298

SNOWLING MJ, GALLAGHER A, FRITH U. Family risk of dyslexia is continuous: individual differences in the precursors of reading skill. *Child Dev* 2003, **74** : 358-373

STEPHENSON S. Six cases of congenital word-blindness affecting three generations of one family. *Ophthalmoscope* 1907, **5** : 482–484

STEVENSON J, GRAHAM P, FREDMAN G, MCLOUGHLIN V. A twin study of genetic influences on reading and spelling ability and disability. *Journal of Child Psychology and Psychiatry* 1987, **28** : 229-247

STROMSWOLD K. The heritability of language: A review and metaanalysis of twin, adoption, and linkage studies. *Language* 2001, **77** : 647-723

TAIPALE M, KAMINEN N, NOPOLA-HEMMI J, HALTIA T, MYLLYLUOMA B, et coll. A candidate gene for developmental dyslexia encodes a nuclear tetratricopeptide repeat domain protein dynamically regulated in brain. *Proc Natl Acad Sci USA* 2003, **100** : 11553-11558

TURIC D, ROBINSON L, DUKE M, MORRIS DW, WEBB V, et coll. Linkage disequilibrium mapping provides further evidence of a gene for reading disability on chromosome 6p21.3-22. *Mol Psychiatry* 2003, **8** : 176-185

VOGLER GP, DEFRIES JC, DECKER SN. Family history as an indicator of risk for reading disability. *J Learn Disabil* 1985, **18** : 419-421

WANG Y, PARAMASIVAM M, THOMAS A, BAI J, KAMINEN-AHOLA N, et coll. DYX1C1 functions in neuronal migration in developing neocortex. *Neuroscience* 2006, **143** : 515-522

WIGG KG, COUTO JM, FENG Y, ANDERSON B, CATE-CARTER TD, et coll. Support for EKN1 as the susceptibility locus for dyslexia on 15q21. *Mol Psychiatry* 2004, **9** : 1111-1121

WOLFF PH, MELNGAILIS I. Family patterns of developmental dyslexia: Clinical findings. *American Journal of Medical Genetics* 1994, **54** : 122-131

20

Analyse critique des théories explicatives de la dyslexie

Quelle que soit la théorie envisagée, il découle très clairement de l'ensemble des études scientifiques que, une fois écartés tous les cas de « mauvais lecteurs » de diverses origines, la dyslexie a pour explication un déficit cognitif, qui a lui-même (nécessairement) une base cérébrale. Ce déficit est probablement congénital, d'origine largement génétique, avec toutefois des facteurs pré- et périnatals potentiellement impliqués dans un certain nombre de cas, et une large part d'interaction gènes-environnement. Toute théorie complète de la dyslexie se doit donc de décrire un enchaînement causal entre des facteurs génétiques et/ou pré-/périnatals, affectant certains aspects du développement cérébral, qui à leur tour peuvent expliquer l'apparition d'un déficit cognitif (en interaction avec des facteurs environnementaux), qui peut lui-même expliquer *in fine* le symptôme principal, à savoir une difficulté d'acquisition du langage écrit (figure 20.1).

Figure 20.1 : Cadre général pour décrire les théories de la dyslexie

Pour évaluer correctement les différentes théories de la dyslexie, il est tout d'abord utile de distinguer les facteurs proximaux des facteurs distaux. Les facteurs proximaux sont les déficits cognitifs qui peuvent être la cause immédiate du trouble d'apprentissage de la lecture. Les facteurs distaux sont des facteurs sous-jacents aux facteurs proximaux. Cette distinction est utile car certaines théories peuvent être correctes au niveau proximal, mais pas au niveau distal, et vice-versa.

Facteurs proximaux

Il n'existe que deux grandes catégories de facteurs (déficits) proximaux proposées pour expliquer la dyslexie : il s'agit des déficits de type phonologique et des déficits d'ordre visuel. Pour chacun de ces deux types de déficit cognitif, il existe plusieurs théories concernant les facteurs distaux.

Théorie phonologique

Comme nous l'avons vu dans le chapitre sur la théorie phonologique, l'hypothèse selon laquelle un déficit phonologique est à l'origine de la dyslexie est soutenue par de nombreuses données montrant que les enfants et adultes dyslexiques ont des difficultés dans de nombreuses tâches impliquant les représentations ou le traitement phonologique : conscience phonologique, mémoire verbale à court-terme, dénomination rapide (figure 20.2).

Figure 20.2 : Théorie phonologique

La principale critique adressée à la théorie phonologique est d'être circulaire dans le sens où la conscience phonologique est elle-même influencée par l'acquisition de la lecture. En effet, l'enseignement de la lecture attire l'attention de l'enfant sur les unités phonologiques, accroissant ainsi sa capacité à y accéder et à les utiliser consciemment. Par ailleurs, une fois que l'enfant a acquis des représentations alphabétiques et/ou orthographiques, il peut également s'en servir pour les tâches de conscience phonologique. Il n'est donc pas étonnant que des enfants mauvais lecteurs aient de moindres scores dans les épreuves de conscience phonologique, car cela peut aussi bien être la conséquence que la cause de leur retard d'acquisition de la lecture (Castles et Coltheart, 2004).

Cette critique a été prise très tôt au sérieux par de nombreuses équipes. Il est devenu tout à fait standard de comparer la performance des enfants dyslexiques non seulement à un groupe d'enfants de même âge, mais également à un groupe d'enfants de même niveau de lecture (et donc plus jeunes). Ainsi, si les déficits phonologiques des dyslexiques s'expliquaient uniquement par leur niveau de lecture, leurs scores dans des épreuves testant leurs capacités phonologiques devraient être similaires à ceux de normolecteurs plus jeunes qu'eux mais de même niveau de lecture. Or, il a maintenant été démontré à maintes reprises que les capacités phonologiques des enfants dyslexiques sont bien en deçà de celles des enfants de même niveau de lecture (Snowling, 2000). Leur déficit phonologique n'est donc pas seulement une conséquence de leur retard d'acquisition de la lecture, ce qui les distingue des mauvais lecteurs au sens large. Par ailleurs, les études longitudinales démarrant avant l'apprentissage de la lecture montrent que les enfants dyslexiques (tels que diagnostiqués quelques années plus tard) ont dès le départ des capacités phonologiques plus faibles que les enfants témoins, et que globalement les capacités phonologiques mesurées avant l'apprentissage de la lecture prédisent les performances ultérieures en lecture (Lundberg et coll., 1980 ; Scarborough, 1990 ; Snowling et coll., 2003 ; Lyytinen et coll., 2004). Il y a donc des données empiriques solides à l'appui de l'existence d'un lien de cause à effet entre capacités phonologiques et acquisition de la lecture chez tous les enfants, et entre déficit phonologique et difficultés d'apprentissage de la lecture chez les enfants dyslexiques.

Une autre critique adressée à la théorie phonologique repose sur le fait que des enfants dyslexiques semblent ne pas avoir de déficit phonologique, et ne répondent pas à une rééducation orthophonique standard. Il paraît donc probable que la théorie phonologique ne peut prétendre à expliquer 100 % des cas de dyslexie.

Enfin, il est reproché à la théorie phonologique de ne pas pouvoir expliquer les autres symptômes fréquemment observés chez les dyslexiques (sensoriels, moteurs…). Ce point est abordé dans la partie « Théorie du déficit phonologique spécifique » de ce chapitre.

En résumé, il existe au sein de la communauté scientifique un très large consensus sur l'idée qu'un déficit cognitif de type phonologique est la cause directe de la plupart des cas de dyslexie. Les débats actuels portent essentiellement sur deux points :

- comment expliquer qu'il semble exister des cas de dyslexie non phonologique ? Cette question nous renvoie aux autres théories proximales de la dyslexie ;
- quelle est l'origine sous-jacente du déficit phonologique ? Cette question nous renvoie aux théories distales.

Théories visuelles

L'idée selon laquelle un déficit visuel subtil[43] pourrait entraver l'apprentissage de la lecture est une idée très ancienne (Morgan, 1896 ; Orton, 1937) et parfaitement plausible puisque la lecture repose entre autres sur la vision. Néanmoins, les données empiriques divergent. Plusieurs types d'hypothèses ont été proposés.

Instabilité binoculaire

John Stein a formulé l'hypothèse selon laquelle les dyslexiques souffriraient d'une instabilité binoculaire (mesurée par le test de Dunlop, 1972), de problèmes de convergence et de planification des saccades oculaires, qui induiraient des distorsions de la perception des mots, des mouvements apparents, une difficulté à se déplacer au sein du texte et une fatigue visuelle (Stein et Fowler, 1993 ; Eden et coll., 1994) (voir figure 20.4). Néanmoins, des études indépendantes n'ont pas confirmé la présence d'instabilité binoculaire chez les dyslexiques (De Luca et coll., 1999 ; Hutzler et coll., 2006). Dans une étude qui a rapporté des différences de fixation entre dyslexiques et témoins, ces différences n'étaient pas présentes à l'âge de 7 ans mais se creusaient au cours des années (Fischer et Hartnegg, 2000). Il semble donc probable qu'elles provenaient plus de l'amélioration des capacités visuelles des témoins dûe à l'entraînement procuré par la lecture, qu'à un réel déficit des dyslexiques présent avant l'apprentissage de la lecture.

Un essai clinique contrôlé randomisé en double aveugle a néanmoins montré que l'instabilité binoculaire peut être partiellement corrigée par l'occlusion d'un œil pendant plusieurs mois (Stein et coll., 2000) ; cette occlusion peut améliorer significativement la lecture d'enfants à la fois dyslexiques et présentant une instabilité binoculaire. Aucune donnée ne permet de préciser la proportion d'enfants dyslexiques qui pourrait être con-

43. Il ne pourrait être que subtil puisque la définition de la dyslexie exclut les principaux troubles ophtalmologiques non corrigés.

cernée. La question de savoir si cette instabilité binoculaire est une cause de dyslexie ou un épiphénomène reste ouverte.

Troubles visuo-attentionnels

Il existe deux hypothèses concernant des troubles visuo-attentionnels : la mini héminégligence gauche et la réduction de l'empan visuo-attentionnel.

L'hypothèse de la « mini héminégligence gauche »[44] repose sur les travaux de Ritta Hari (Hari et Renvall, 2001 ; Hari et coll., 2001) en Finlande. Ces résultats ont été répliqués principalement en Italie par Facoetti (Facoetti et coll., 2000 et 2001). D'autres résultats obtenus par des équipes indépendantes sont compatibles avec cette hypothèse (Eden et coll., 2003 ; Becker et coll., 2005).

Comme pour tous les troubles sensorimoteurs, seule une partie de la population dyslexique semble affectée. Cette proportion semble particulièrement forte en Finlande et en Italie, ce qui pourrait s'expliquer par le fait que ces deux langues ont une orthographe extrêmement transparente. Or, on sait qu'une orthographe régulière rend le déficit phonologique moins handicapant, la plupart des dyslexiques dans ces pays réussissant à apprendre à lire sans aide particulière, et présentant comme symptôme principal une relative lenteur dans les tâches de lecture. En conséquence, dans les langues à orthographe régulière, le recrutement de personnes dyslexiques dans des écoles spécialisées et des services hospitaliers peut sérieusement biaiser le recrutement en faveur des cas les plus sévères, les plus comorbides avec d'autres troubles, et présentant peut-être des troubles autres que phonologiques.

Dans les études citées plus haut, les enfants qui présentent le trouble visuo-attentionnel ont typiquement aussi un déficit phonologique. On ne peut donc pas être certain que le trouble visuo-attentionnel contribue réellement au trouble d'apprentissage de la lecture, au-delà de la contribution du déficit phonologique. Une critique plus radicale encore est que le trouble visuo-attentionnel pourrait très bien être non pas la cause, mais la conséquence du trouble d'apprentissage de la lecture causé par un déficit phonologique. En effet, l'apprentissage de la lecture implique un entraînement intensif de certains aspects de l'attention visuelle : il n'est donc pas étonnant que des enfants qui ont moins lu ne présentent pas les mêmes performances d'attention visuelle. Il s'agit là d'une critique de « circularité » similaire à celle émise à l'encontre de la théorie phonologique. Mais dans le cas de la mini héminégligence gauche, d'une part, aucune étude longitudinale démarrant avant l'apprentissage de la lecture n'a pour l'instant établi que le trouble était présent chez les dyslexiques avant l'apprentissage, et était prédictif des problèmes de lecture. D'autre part, ces études sont pratiquement toutes basées sur des comparaisons avec des enfants de même âge, plutôt qu'appariés

44. C'est-à-dire un léger déficit attentionnel sur la moitié gauche du champ visuel

en âge de lecture (à l'exception de l'étude de Facoetti et coll., 2005). Les données à l'appui de cette théorie demandent donc à être complétées.

Des auteurs (Ans et coll., 1998 ; Valdois et coll., 2003 et 2004) ont proposé un autre type de déficit visuo-attentionnel pouvant être une cause de dyslexie : il s'agirait d'une taille réduite de l'empan visuo-attentionnel, mesuré par une tâche d'empan visuel de chaînes de lettres. Ils ont montré qu'une partie des enfants dyslexiques avaient de faibles performances dans cette tâche, et particulièrement des enfants ne présentant pas les signes habituels du déficit phonologique. Il est à noter que par ailleurs ces enfants ne semblent pas présenter de mini héminégligence gauche, ni de trouble de type magnocellulaire (Hawelka et Wimmer, 2005). En revanche, la question de savoir si ce trouble est la cause ou la conséquence du retard d'acquisition de la lecture se pose avec tout autant d'acuité que pour la mini héminégligence. Et ce d'autant plus que les tâches utilisées pour mesurer l'empan visuo-attentionnel nécessitent la reconnaissance de lettres (ou de chiffres ; Hawelka et coll., 2006), et sont donc potentiellement contaminées par l'acquisition de la lecture. De plus, ces tâches peuvent difficilement être utilisées avant l'apprentissage de la lecture, ce qui entrave la démonstration d'un lien causal prédictif. Des recherches sont en cours pour élaborer des tâches permettant de mesurer l'empan visuo-attentionnel sans recourir à des symboles dépendant des acquisitions scolaires. Des données supplémentaires sont donc nécessaires pour correctement évaluer cette théorie.

Pour conclure sur les troubles visuo-attentionnels, il est parfaitement plausible que ceux-ci expliquent les troubles de lecture d'une fraction (à déterminer) des enfants dyslexiques. Mais dans l'état actuel des connaissances, leur nature reste mal comprise et leur pouvoir explicatif n'est pas clairement établi.

Stress visuel

La théorie du stress visuel (Wilkins, 1995 ; Wilkins et coll., 2004) n'est pas à proprement parler une théorie de la dyslexie. C'est une théorie de certains symptômes visuels qui touchent une partie de la population, pas nécessairement dyslexique, et qui peuvent créer une gêne notamment dans la lecture. Ces symptômes sont souvent appelés « syndrome de Meares-Irlen ». On peut considérer que la théorie du stress visuel est le pendant scientifique de la théorie non scientifique développée par Irlen (1991). D'après Wilkins, le stress visuel est dû à une excitabilité excessive de certaines parties du cortex visuel, qui réagissent à l'alternance de zones de faibles et de fortes luminances à une fréquence spatiale donnée. Le stress visuel n'est pas lié à des troubles magnocellulaires (Simmers et coll., 2001). Les symptômes vont de la simple gêne à la forte migraine, avec des aberrations visuelles (imprécision des contours, mouvement apparent). Un texte écrit, dont les lignes forment une alternance de bandes noires et blanches, peut ainsi déclencher le stress visuel chez certaines personnes, et donc entraver (en l'occurrence ralentir) la lecture.

Ainsi, le trouble de lecture engendré par le stress visuel diffère fondamentalement de la dyslexie par le fait qu'il se manifeste uniquement en présence de plusieurs lignes de texte, et par une difficulté à lire de manière fluide, plutôt qu'à décoder des mots isolés. Pour cette raison, Wilkins se garde bien de faire du stress visuel une théorie de la dyslexie, et indique seulement que dans certains cas les diagnostics peuvent être confondus. En particulier, lorsqu'on utilise une mesure de lecture sur l'ensemble d'un texte (comme le test de l'Alouette de Lefavrais, 1967), il peut arriver qu'une personne souffrant uniquement de stress visuel remplisse les critères diagnostiques de la dyslexie. De fait, White et coll. (2006a) ont trouvé qu'au sein d'un groupe de 23 enfants dyslexiques, 8 présentaient un stress visuel, dont 5 sans déficit phonologique apparent. Il se peut également qu'il y ait comorbidité entre dyslexie et stress visuel, ou que l'un soit un facteur aggravant de l'autre. C'est ce que suggère une étude montrant que les personnes souffrant de stress visuel ont des symptômes (spécifiquement de stress visuel) plus sévères s'ils sont également dyslexiques que dans le cas contraire (Singleton et Trotter, 2005).

Ainsi, dans l'état actuel des connaissances, le stress visuel peut être une cause de diagnostic de dyslexie, mais pas de la dyslexie elle-même. Au-delà des querelles de définition, un enfant souffrant d'un trouble de lecture a toujours besoin d'aide, que la cause soit un déficit phonologique ou un stress visuel. En revanche, la nature de l'aide à apporter peut être très différente, ce qui implique de bien distinguer les deux étiologies.

Facteurs distaux

Toutes les théories de la dyslexie tentent d'expliquer le trouble de lecture soit via le déficit phonologique, soit via un déficit visuel (soit les deux). En revanche, les facteurs sous-jacents à ces déficits proximaux ont donné lieu à une grande variété d'hypothèses distales.

Théorie du traitement auditif temporel

Comme expliqué dans le chapitre sur la théorie du traitement auditif temporel, la théorie de Paula Tallal postule que le déficit phonologique est secondaire à un trouble auditif plus fondamental, qui concernerait la perception des sons brefs et des transitions rapides, particulièrement importantes pour la perception de la parole (figure 20.3). À l'appui de cette théorie, existe le fait qu'une certaine proportion de dyslexiques (peut-être 40 %) semblent présenter de légers problèmes auditifs. À l'encontre de la théorie, existe le fait que cette proportion est très insuffisante pour expliquer le trouble de l'ensemble des enfants avec un déficit phonologique. Par ailleurs, les troubles auditifs trouvés chez les enfants dyslexiques ne prédisent que très faiblement le déficit phonologique et les troubles de lecture (Ramus, 2003 ;

Rosen, 2003). Et leur nature est très débattue : si certains dyslexiques semblent vraiment avoir un problème dans la perception des sons brefs et des transitions rapides, la plupart des troubles auditifs observés chez les dyslexiques sont de nature différente et très variable (Rosen, 2003), ce qui atténue encore le lien causal présumé. Enfin, une étude de génétique comportementale sur des jumeaux dysphasiques et témoins indique que les troubles du traitement auditif temporel ne sont pas significativement héritables (Bishop et coll., 1999), ce qui est incompatible avec l'idée qu'ils pourraient être la cause du déficit phonologique qui, lui, est fortement héritable.

Néanmoins, le débat est encore loin d'être clos. À l'avenir, cette théorie pourrait être reconsidérée favorablement si des données nouvelles apparaissaient, notamment :

- des mesures plus sensibles du traitement auditif, qui démontreraient que les troubles auditifs sont beaucoup plus fréquents chez les dyslexiques que ce que l'on a pu l'observer jusqu'à présent ;
- des études longitudinales démarrant dès la naissance, qui pourraient révéler l'existence de troubles auditifs chez une grande proportion de futurs dyslexiques au cours de la première année de vie (au moment de l'acquisition phonologique).

Figure 20.3 : Théorie du traitement auditif temporel

Pour l'instant, de telles données n'existent pas et il s'agit là de spéculations. Dans l'état actuel des connaissances, la théorie auditive temporelle ne peut donc pas être validée.

Théorie visuelle magnocellulaire

D'après John Stein, la cause sous-jacente des troubles d'instabilité binoculaire qu'il a observés serait un dysfonctionnement de la voie magnocellulaire du système visuel (Stein et Walsh, 1997) (figure 20.4). L'hypothèse d'un dysfonctionnement magnocellulaire se base sur le fait que les dyslexiques ont, en moyenne, des performances moins bonnes sur un ensemble de tests visuels censés recruter spécifiquement la voie magnocellulaire (Lovegrove et coll., 1980), et sur l'observation d'anomalies cyto-architectoniques dans les couches magnocellulaires du corps genouillé latéral dans certains cerveaux de personnes dyslexiques (Livingstone et coll., 1991).

Les problèmes sont les suivants :

- seule une fraction (pas plus de 30 %) de dyslexiques semblent avoir des difficultés sur ces tests magnocellulaires (Ramus, 2003) ;
- le recrutement sélectif du système magnocellulaire par ces tests, ainsi que l'atteinte sélective de ce système chez les dyslexiques sont très contestés (Skottun, 2000). En effet, sur les 22 études passées en revue dans cette synthèse, quatre études mettent en évidence des déficits conformes aux prédictions de la théorie, onze mettent en évidence des déficits incompatibles avec la théorie, et les sept dernières ne trouvent aucune perte de sensibilité, quelle que soit la gamme de fréquence évaluée ;
- une étude de génétique comportementale n'a pas établi d'héritabilité significative pour une mesure de vision magnocellulaire, au sein de jumeaux atteints ou non de dyslexie (Olson et Datta, 2002). Dans la mesure où la dyslexie est, elle, fortement héritable, cela laisse peu de place à une explication magnocellulaire, sauf éventuellement à titre de facteur de risque additionnel d'origine environnementale expliquant une toute petite partie de la variance au-delà des facteurs génétiques ;
- aucun lien n'a été démontré entre l'atteinte magnocellulaire et les troubles visuels proximaux de type instabilité binoculaire. Notamment, on ne sait même pas si les dyslexiques qui échouent dans les tests magnocellulaires sont les mêmes que ceux qui ont une instabilité binoculaire, ces deux aspects ayant été testés dans des études différentes sur des populations différentes. Dans l'état actuel des connaissances, cette hypothèse doit donc être considérée comme spéculative.

Figure 20.4 : Théorie visuelle magnocellulaire

Théorie cérebelleuse

D'après Nicolson et coll. (2001), un dysfonctionnement d'une partie du cervelet serait à l'origine des différents symptômes de la dyslexie. Ils envisagent deux liens de causalité entre le cervelet et les troubles de lecture (figure 20.5) :

- le dysfonctionnement du cervelet serait responsable d'un trouble d'automatisation des tâches, qui affecterait en particulier l'automatisation de l'apprentissage des correspondances graphèmes-phonèmes et des autres processus cognitifs impliqués dans la lecture ;
- le dysfonctionnement du cervelet serait également responsable de troubles de motricité, affectant entre autres l'articulation des sons de la parole, et donc l'acquisition de la phonologie, d'où une explication possible du déficit phonologique. Les données à l'appui de cette théorie sont essentiellement le fait que les dyslexiques ont, en moyenne, des difficultés dans un certain nombre de tâches supposées impliquer le cervelet ; ce sont avant tout des tâches motrices.

Figure 20.5 : Théorie cérébelleuse

Là encore, seule une partie (environ la moitié) des dyslexiques semblent présenter ces troubles moteurs. Les preuves de l'implication du cervelet dans ces troubles moteurs et dans la dyslexie en général restent très ténues (Nicolson et coll., 1999). Par ailleurs, beaucoup d'études n'ont pas trouvé de lien prédictif convaincant entre les performances dans les tâches dites cérébelleuses et le déficit phonologique ou la lecture (Wimmer et coll., 1999 ; Raberger et Wimmer, 2003 ; Ramus et coll., 2003a et b ; Stoodley et coll., 2005 ; White et coll., 2006a). La seule chose que l'on puisse affirmer à l'heure actuelle est que certains dyslexiques ont des troubles moteurs, et certains ont peut-être aussi des troubles cérébelleux. Mais cette théorie, qui correspond à l'explication de la dyslexie, n'est pour l'instant pas suffisamment supportée par les données.

Théorie magnocellulaire générale

S'il est un résultat qui émerge clairement des nombreuses études expérimentales sur la dyslexie, c'est que les dyslexiques ont en moyenne de moins bonnes performances dans une large variété de tâches auditives, visuelles et motrices. Chacune des théories exposées ci-dessus semble insuffisante pour

expliquer la dyslexie, mais peut-être une véritable explication de la dyslexie découlerait de la prise en compte de l'ensemble des symptômes, à la fois sensoriels et moteurs. C'est ce qu'a tenté John Stein avec la théorie magnocellulaire générale. Il s'agit d'une extrapolation de la théorie magnocellulaire visuelle aux autres voies sensorielles. Ainsi, Stein postule qu'un dysfonctionnement généralisé des magnocellules thalamiques engendre en particulier des troubles visuels et des troubles auditifs, et donc secondairement une instabilité binoculaire et un déficit phonologique. Stein postule de plus que le dysfonctionnement magnocellulaire se prolonge dans le cortex pariétal postérieur puis le cervelet, expliquant ainsi potentiellement les troubles visuo-attentionnels et moteurs. La théorie magnocellulaire générale est donc un amalgame particulièrement audacieux de toutes les autres théories, pouvant potentiellement expliquer tous les symptômes connus de la dyslexie à partir d'un unique dysfonctionnement biologique (Stein et Walsh, 1997 ; Stein, 2001). Là où chaque théorie sensorielle ou motrice, prise séparément, échoue, la théorie magnocellulaire générale, en considérant simultanément plusieurs explications sensorimotrices distinctes de la dyslexie, pourrait effectivement parvenir à expliquer tous les cas de dyslexie (figure 20.6).

Figure 20.6 : Théorie magnocellulaire générale

Pourtant, cette prédiction n'est pas confirmée par les données empiriques. Même dans les quelques études qui ont évalué au sein des mêmes individus l'ensemble des déficits auditifs, visuels et moteurs/cérébelleux possibles, la prévalence de ces troubles sensorimoteurs est insuffisante pour expliquer la plupart des cas de dyslexie (Kronbichler et coll., 2002 ; Ramus et coll., 2003b ; Stoodley et Stein, 2004 ; White et coll., 2006a). Plus généralement, les critiques qui s'appliquent aux théories individuelles s'appliquent a fortiori à la théorie magnocellulaire générale : notamment, le fait que les troubles sensoriels et moteurs ne prédisent que très peu ou pas le déficit phonologique et le trouble de lecture, en particulier une fois soustraites les corrélations partielles dues au QI (Ramus, 2003 ; Rosen, 2003 ; Hulslander et coll., 2004 ; White et coll., 2006a).

Compte tenu qu'il existe un grand nombre d'enfants dyslexiques qui présentent un déficit phonologique sans aucun trouble sensoriel ou moteur observable, les troubles sensorimoteurs (de type magnocellulaire ou non) ne semblent pas nécessaires pour expliquer leur trouble de lecture. Ils ne semblent également pas être suffisants, comme le suggère une étude récente montrant que certains enfants ayant des troubles sensorimoteurs, sur le spectre autistique, similaires aux dyslexiques peuvent néanmoins lire parfaitement (White et coll., 2006b). Il y a donc double dissociation entre troubles sensorimoteurs/magnocellulaires et dyslexie.

Théorie du déficit phonologique spécifique

Contrairement à toutes les théories précédemment évoquées, la théorie du déficit phonologique spécifique ne postule aucun facteur distal au niveau cognitif ou sensoriel : le déficit phonologique serait la seule cause de la dyslexie au niveau cognitif (Snowling, 2000 ; Ramus, 2003 ; Vellutino et coll., 2004 ; Shaywitz et Shaywitz, 2005). Bien entendu, cela n'implique pas que le déficit phonologique n'a pas de facteur distal sous-jacent. Comme tout déficit cognitif, le déficit phonologique doit avoir une base cérébrale. En l'occurrence, il s'agirait d'un ensemble de malformations corticales au niveau des aires périsylviennes gauches, qui sont justement impliquées dans le traitement phonologique et la lecture. L'hypothèse d'un dysfonctionnement de ces aires est supportée par de nombreuses données d'imagerie cérébrale fonctionnelle (Shaywitz et Shaywitz, 2005), d'imagerie cérébrale structurale (Eckert, 2004), ainsi que par quelques études de dissection post-mortem (Galaburda et coll., 1985).

La difficulté pour cette théorie est que par elle-même elle n'explique pas la présence incontestable chez une partie des dyslexiques d'un « syndrome sensorimoteur » composé de divers troubles auditifs, visuels et/ou moteurs. Pour la théorie du déficit phonologique spécifique, ce syndrome sensorimoteur est une simple comorbidité, associée à la dyslexie mais sans lien causal

réel avec les troubles de lecture. L'existence même de cette comorbidité reste à expliquer. Cependant, un modèle neurobiologique a récemment été proposé pour combler ce vide (Ramus, 2004) (figure 20.7). Une revue complète de la neurobiologie de la dyslexie montre que l'ensemble des données existantes sont compatibles (sans exclusivité) avec l'hypothèse d'un déficit phonologique spécifique, causé par des anomalies de la migration neuronale localisées dans les aires périsylviennes gauches. Les données génétiques récentes, montrant que des gènes associés à la dyslexie sont justement impliqués dans la migration neuronale, renforcent cette hypothèse. Par ailleurs, ce modèle explique la présence d'un syndrome sensorimoteur associé par le jeu additionnel de facteurs hormonaux fœtaux, présents au cours du développement de certains dyslexiques seulement. Bien que de nombreuses données soient manquantes pour valider ce modèle, il permet néanmoins de montrer que l'hypothèse d'un déficit phonologique est biologiquement plausible. Malgré tout, il est peu probable que cette hypothèse puisse expliquer la totalité des cas de dyslexie.

Figure 20.7 : Théorie intégrative

Apport théorique des différents traitements

Une théorie de la dyslexie qui explique ce déficit par un trouble sous-jacent permet d'avancer l'hypothèse qu'une intervention sur ce trouble (plutôt que sur les symptômes les plus superficiels) pourrait entraîner une amélioration des symptômes. Si c'est le cas, cela suggère un lien de cause à effet entre le trouble en question et les performances en lecture, et renforce la plausibilité de la théorie. Pour cette raison, les essais cliniques sont considérés comme des tests importants des théories de la dyslexie, et en effet toutes les théories analysées ci-dessus ont fait l'objet d'essais cliniques intervenant sur les troubles présumés sous-jacents. Les résultats de ces expériences sont détaillés dans le chapitre sur les traitements.

Ceci étant, les résultats des essais cliniques ne sont pas nécessairement simples à interpréter d'un point de vue théorique. Dans le cas d'un résultat négatif (absence d'effet du traitement testé), on ne peut pas toujours conclure à l'absence de lien entre le trouble sous-jacent et la dyslexie. Même lorsqu'un lien réel existe, un essai clinique pourrait donner un résultat négatif pour diverses raisons :

- les modalités pratiques du traitement ou sa mise en œuvre spécifiquement dans telle étude ou sur telles personnes peuvent être inefficaces ;
- dans le cas où le trouble sous-jacent n'expliquerait qu'une partie des cas de dyslexie, la sous-population qui pourrait potentiellement bénéficier du traitement aurait pu être mal (ou pas) sélectionnée, diluant ainsi l'effet statistique du traitement ;
- plus fondamentalement, il pourrait arriver (pour des raisons neurophysiologiques) que le trouble sous-jacent n'est simplement pas remédiable. Même s'il est remédiable, il se pourrait que, passée la période critique d'acquisition du langage, l'amélioration du trouble sous-jacent ne se transfère pas aux symptômes de la dyslexie.

On voit donc comment un essai clinique négatif pourrait être interprété à tort comme invalidant une théorie.

Par ailleurs, l'observation d'un résultat positif (effet significatif du traitement testé) doit aussi souvent être prise avec de grandes précautions. En effet, de nombreux biais expérimentaux peuvent produire des résultats positifs qui ne reflètent pas pour autant des liens de causalité directe.

En premier lieu bien sûr, l'effet placebo peut produire des effets positifs sans aucun lien avec le trouble visé. Ceci impose de comparer les performances d'un groupe expérimental à celles d'un groupe témoin soumis à un entraînement placebo. De plus, il est recommandé que la répartition dans les deux groupes soit aléatoire, et que les sujets et les expérimentateurs ne soient pas informés de leur groupe d'appartenance. C'est la procédure classique de l'essai clinique contrôlé randomisé en double aveugle. Malheureusement, beaucoup d'essais cliniques de traitements présumés de la dyslexie ne

respectent pas totalement ce standard incontournable de la recherche médicale.

Deuxièmement, il existe des cas pour lesquels un traitement peut avoir un effet positif, mais non spécifique, et par conséquent ne démontrant rien sur la théorie causale sous-jacente. Par exemple, on pourrait imaginer qu'un traitement de la dyslexie par la pratique du sport puisse avoir un effet positif. Le sport est bon pour tous les enfants ; si la pratique d'un sport permet à certains enfants dyslexiques de se sentir mieux dans leur peau, cela pourrait éventuellement avoir un effet indirect sur leurs résultats scolaires, et pourrait conduire à l'observation d'un effet positif dans un essai clinique comparant un groupe pratiquant un sport à un groupe n'en pratiquant pas. Mais il n'y aurait pas lieu d'en déduire la validité d'une « théorie sportive de la dyslexie », selon laquelle la cause de la dyslexie serait un manque d'activité physique.

Troisièmement, un traitement peut avoir un effet positif sur la lecture sans pour autant agir sur une cause de la dyslexie. Cela peut être le cas si une conséquence du trouble de lecture (par exemple, un trouble d'oculomotricité, trouble anxieux ou dépressif) a pour effet d'accentuer le trouble de la lecture. Agir sur ces troubles secondaires pourrait diminuer leurs effets sur la lecture, sans pour autant que l'on puisse en conclure qu'ils étaient la cause initiale du trouble de lecture.

Enfin, la probabilité d'observer de tels effets indirects est accentuée par la présence de troubles associés à la dyslexie au sein de la population testée. Par exemple, si l'on teste la théorie cérébelleuse de la dyslexie en évaluant l'effet d'une rééducation de la motricité, et que les enfants dyslexiques participant à l'essai clinique sont sélectionnés de telle manière à ce qu'ils présentent tous un trouble moteur. Dans la mesure où le traitement proposé améliore réellement la motricité, cela peut effectivement considérablement améliorer la vie des enfants, avec des effets indirects possibles sur la confiance en soi, la motivation et les résultats scolaires. Mais cela ne permet pas d'affirmer que l'entraînement moteur a eu un effet réel sur la cause de leur dyslexie. De même, si l'on teste l'efficacité d'un traitement visant à renforcer la concentration et les capacités attentionnelles sur une population d'enfants dyslexiques qui présentent une comorbidité avec le trouble déficit de l'attention/hyperactivité (TDAH), on peut observer un effet positif du traitement, mais qui ne permet pas de valider une « théorie attentionnelle » de la dyslexie.

On voit donc que les effets positifs obtenus dans les essais cliniques sont d'interprétation très délicate, et que de nombreuses conditions méthodologiques doivent être réunies pour pouvoir en tirer des conclusions théoriques.

Concrètement, les essais cliniques menés sur la dyslexie conduisent à certaines conclusions. Les seuls traitements pour la dyslexie dont l'efficacité (en moyenne) a été scientifiquement prouvée sont :

• un certain nombre de rééducations de la lecture et des capacités phonologiques (par exemple, Torgesen et coll., 2001 ; Habib et coll., 2002) ;
• certaines rééducations visuelles, notamment l'utilisation de transparents de couleur pour le stress visuel (Bouldoukian et coll., 2002), l'occlusion d'un œil pour l'instabilité binoculaire (Stein et coll., 2000), et une rééducation visuo-attentionnelle pour la mini héminégligence gauche (Facoetti et coll., 2003). Néanmoins, aucun de ces résultats n'a pour l'instant été répliqué.

Il va de soi que chacun de ces traitements a été testé chez des enfants qui souffrent effectivement du déficit correspondant (évalué avant traitement), et ne peut être préconisé que pour ceux-ci, en aucun cas aveuglément pour tous les enfants dyslexiques. D'un point de vue théorique, les résultats de ces essais cliniques renforcent la validité de la théorie phonologique pour une majorité d'enfants dyslexiques, et la validité de certaines théories visuelles pour un petit nombre d'enfants dyslexiques. Plus précisément, la validité de l'hypothèse d'un trouble d'instabilité binoculaire chez certains enfants dyslexiques est renforcée par l'essai clinique (mais la prévalence de ce trouble reste à établir). En revanche, la validité de la théorie magnocellulaire visuelle ne l'est pas, car aucun lien n'a été montré entre l'occlusion d'un œil et le système magnocellulaire. Par ailleurs, les essais cliniques portant sur des rééducations auditives ou motrices/cérébelleuses n'ont pas donné de résultats convaincants, la plupart du temps en raison de failles méthodologiques évoquées ci-dessus. On ne peut donc pas tirer de conclusions de ces essais sur la validité des théories auditive, cérébelleuse et magnocellulaire.

Enfin, il est important de préciser qu'aucune méthode de rééducation n'est efficace chez tous les enfants dyslexiques, ce qui souligne encore une fois la probable diversité des facteurs et donc le fait qu'il y a de la place pour plus d'une théorie.

En conclusion, il existe une grande diversité de théories explicatives de la dyslexie. Cette diversité est due à plusieurs facteurs.

Il existe sans doute plusieurs causes distinctes de la dyslexie, et donc plus d'une théorie pourrait être correcte, chacune pour un sous-ensemble de la population dyslexique.

La dyslexie est complexe, incluant de nombreux symptômes autres que la lecture, notamment phonologiques, auditifs, visuels, spatiaux, moteurs et autres. Chacun de ces symptômes a donné lieu à des spéculations théoriques.

La dyslexie est fréquemment comorbide avec d'autres troubles développementaux (dysphasie, dyspraxie, troubles d'attention…). Dans les études de groupes, des symptômes d'autres troubles développementaux peuvent ainsi sembler liés à la dyslexie, engendrant de nouvelles hypothèses théoriques.

Cette grande diversité de symptômes associés à la dyslexie ne facilite pas l'identification des causes réelles par rapport aux simples comorbidités.

Néanmoins, à l'issue d'un très grand nombre d'études, il ressort clairement que :

- une majorité d'enfants dyslexiques souffrent d'un déficit cognitif spécifique à la représentation et au traitement des sons de la parole : c'est ce que l'on appelle le déficit phonologique. Ce déficit entrave l'apprentissage, la maîtrise, et l'automatisation de l'usage des relations graphèmes-phonèmes, et par suite l'ensemble de l'apprentissage de la lecture (y compris la voie orthographique, ce qui explique que la plupart des dyslexiques ne se classent pas aisément entre « dyslexie phonologique » et « dyslexie de surface ») ;
- un certain nombre d'enfants dyslexiques semblent présenter des troubles de nature visuelle, à l'exclusion de tout déficit phonologique. Il pourrait même exister plusieurs sous-types de dyslexies visuelles. Cependant, les recherches empiriques dans ce domaine sont pour l'instant insuffisantes et n'ont pas conduit à des théories suffisamment abouties et validées.

Au niveau des facteurs neurobiologiques de ces déficits cognitifs, les hypothèses de trouble du traitement temporel, de dysfonctionnements magnocellulaire et cérébelleux n'ont pas apporté suffisamment de preuves de leur validité. Néanmoins, les données neurobiologiques restent suffisamment éparses pour que la question reste largement ouverte. L'hypothèse qui semble la plus prometteuse actuellement est celle de dysfonctionnements de la migration neuronale affectant précocement la formation de certaines aires du cortex, notamment les aires périsylviennes gauches (dans le cas de la dyslexie avec déficit phonologique). Cette hypothèse, quoiqu'ancienne et basée sur des données limitées, a en effet été très récemment confortée par les nouvelles données issues de la génétique.

Pour conclure, on peut proposer un scénario de l'étiologie de la dyslexie (phonologique), non définitif mais compatible avec l'ensemble des données passées en revue dans la littérature scientifique : l'origine ultime de la dyslexie réside dans un certain nombre d'allèles de susceptibilité sur de multiples gènes. Ces allèles, agissant seuls ou en combinaison, augmentent le risque de perturbation de la migration neuronale dans les aires périsylviennes gauches, lors du développement fœtal du cerveau. Ces anomalies de la migration neuronale perturbent subtilement le fonctionnement du cortex avoisinant, et la connectivité avec d'autres aires corticales. Lorsqu'elles sont situées spécifiquement dans les aires périsylviennes gauches normalement impliquées dans la représentation et le traitement des sons de la parole (la « phonologie »), elles entraînent un déficit cognitif dont les principales manifestations sont une faible conscience phonologique, une faible mémoire verbale à court terme, et une lenteur dans la récupération des représentations phonologiques. Ce déficit cognitif n'a en général aucune influence notable sur l'acquisition du langage oral (sauf en cas de très grande sévérité ou de troubles de langage additionnels). En revanche, il se révèle pleinement lors de l'acquisition du langage écrit, qui recrute de manière particulièrement intense ces capacités phonologiques. Enfin, les symptômes observés

en lecture sont le produit à la fois de ces facteurs cérébraux et cognitifs, et de nombreux facteurs environnementaux parmi lesquels la richesse de l'environnement linguistique (qui influence notamment le vocabulaire), la régularité du système orthographique, la méthode d'enseignement de la lecture, et bien d'autres facteurs.

BIBLIOGRAPHIE

ANS B, CARBONNEL S, VALDOIS S. A connectionist multiple-trace memory model for polysyllabic word reading. *Psychological Review* 1998, **105** : 678-723

BECKER C, ELLIOTT MA, LACHMANN T. Evidence for impaired visuoperceptual organisation in developmental dyslexics and its relation to temporal processes. *Cognitive Neuropsychology* 2005, **22** : 499-522

BISHOP DVM, BISHOP SJ, BRIGHT P, JAMES C, DELANEY T, TALLAL P. Different origin of auditory and phonological processing problems in children with language impairment: evidence from a twin study. *J Speech Lang Hear Res* 1999, **42** : 155-168

BOULDOUKIAN J, WILKINS AJ, EVANS BJ. Randomised controlled trial of the effect of coloured overlays on the rate of reading of people with specific learning difficulties. *Ophthalmic Physiol Opt* 2002, **22** : 55-60

CASTLES A, COLTHEART M. Is there a causal link from phonological awareness to success in learning to read? *Cognition* 2004, **91** : 77-111

DE LUCA M, DI PACE E, JUDICA A, SPINELLI D, ZOCCOLOTTI, P. Eye movement patterns in linguistic and non-linguistic tasks in developmental surface dyslexia. *Neuropsychologia* 1999, **37** : 1407-1420

DUNLOP P. Dyslexia: The orthoptic approach. *Australian J Orthoptics* 1972, **12** : 16-20

ECKERT M. Neuroanatomical markers for dyslexia: a review of dyslexia structural imaging studies. *Neuroscientist* 2004, **10** : 362-371

EDEN GF, STEIN JF, WOOD HM, WOOD FB. Differences in eye movements and reading problems in dyslexic and normal children. *Vision Research* 1994, **34** : 1345-1358

EDEN GF, WOOD FB, STEIN JF. Clock drawing in developmental dyslexia. *J Learn Disabil* 2003, **36** : 216-228

FACOETTI A, PAGANONI P, TURATTO M, MARZOLA V, MASCETTI GG. Visual-spatial attention in developmental dyslexia. *Cortex* 2000, **36** : 109-123

FACOETTI A, TURATTO M, LORUSSO ML, MASCETTI GG. Orienting of visual attention in dyslexia: evidence for asymmetric hemispheric control of attention. *Exp Brain Res* 2001, **138** : 46-53

FACOETTI A, LORUSSO ML, PAGANONI P, UMILTA C, MASCETTI GG. The role of visuospatial attention in developmental dyslexia: evidence from a rehabilitation study. *Brain Res Cogn Brain Res* 2003, **15** : 154-164

FACOETTI A, LORUSSO ML, CATTANEO C, GALLI R, MOLTENI M. Visual and auditory attentional capture are both sluggish in children with developmental dyslexia. *Acta Neurobiologiae Experimentalis* 2005, **65** : 61-72

FISCHER B, HARTNEGG K. Stability of gaze control in dyslexia. *Strabismus* 2000, **8** : 119-122

GALABURDA AM, SHERMAN GF, ROSEN GD, ABOITIZ F, GESCHWIND N. Developmental dyslexia: four consecutive patients with cortical anomalies. *Ann Neurol* 1985, **18** : 222-233

HABIB M, REY V, DAFFAURE V, CAMPS R, ESPESSER R, JOLY-POTTUZ B, et coll. Phonological training in children with dyslexia using temporally modified speech: a three-step pilot investigation. *International Journal of Language & Communication Disorders* 2002, **37** : 289-308

HARI R, RENVALL H. Impaired processing of rapid stimulus sequences in dyslexia. *Trends Cogn Sci* 2001, **5** : 525-532

HARI R, RENVALL H, TANSKANEN T. Left minineglect in dyslexic adults. *Brain* 2001, **124** : 1373-1380

HAWELKA S, WIMMER H. Impaired visual processing of multi-element arrays is associated with increased number of eye movements in dyslexic reading. *Vision Research* 2005, **45** : 855-863

HAWELKA S, HUBER C, WIMMER H. Impaired visual processing of letter and digit strings in adult dyslexic readers. *Vision Research* 2006, **46** : 718-723

HULSLANDER J, TALCOTT J, WITTON C, DEFRIES JC, PENNINGTON BF, et coll. Sensory processing, reading, IQ, and attention. *Journal of Experimental Child Psychology* 2004, **88** : 274-295

HUTZLER F, KRONBICHLER M, JACOBS AM, WIMMER H. Perhaps correlational but not causal: No effect of dyslexic readers' magnocellular system on their eye movements during reading. *Neuropsychologia* 2006, **44** : 637-648

IRLEN H. Reading by the colors: Overcoming dyslexia and other reading disabilities through the Irlen method. Avery, New York, 1991

KRONBICHLER M, HUTZLER F, WIMMER H. Dyslexia: Verbal impairments in the absence of magnocellular impairments. *Neuroreport* 2002, **13** : 617-620

LEFAVRAIS P. Test de l'Alouette. 2e ed, Éditions du Centre de Psychologie Appliquée, Paris, 1967

LIVINGSTONE MS, ROSEN GD, DRISLANE FW, GALABURDA AM. Physiological and anatomical evidence for a magnocellular defect in developmental dyslexia. *Proc Natl Acad Sci* 1991, **88** : 7943-7947

LOVEGROVE WJ, BOWLING A, BADCOCK B, BLACKWOOD M. Specific reading disability: differences in contrast sensitivity as a function of spatial frequency. *Science* 1980, **210** : 439-440

LUNDBERG I, OLOFFSSON Å, WALL S. Reading and spelling skills in the first school years predicted from phonemic awareness skills in kindergarten. *Scandinavian Journal of Psychology* 1980, **21** : 159-173

LYYTINEN H, ARO M, EKLUND K, ERSKINE J, GUTTORM T, et coll. The development of children at familial risk for dyslexia: Birth to early school age. *Annals of Dyslexia* 2004, **54** : 184-220

MORGAN WP. A case of congenital word blindness. *BMJ* 1896, **2** : 1378

NICOLSON RI, FAWCETT AJ, DEAN P. Dyslexia, development and the cerebellum. *Trends Neurosci* 2001, **24** : 515-516

NICOLSON RI, FAWCETT AJ, BERRY EL, JENKINS IH, DEAN P, BROOKS DJ. Association of abnormal cerebellar activation with motor learning difficulties in dyslexic adults. *Lancet* 1999, **353** : 1662-1667

OLSON R, DATTA H. Visual-temporal processing in reading-disabled and normal twins. *Reading and Writing* 2002, **15** : 127-149

ORTON S. Reading, writing and speech problems in children. Norton, New York, 1937

RABERGER T, WIMMER H. On the automaticity/cerebellar deficit hypothesis of dyslexia: Balancing and continuous rapid naming in dyslexic and ADHD children. *Neuropsychologia* 2003, **41** : 1493-1497

RAMUS F. Developmental dyslexia: specific phonological deficit or general sensorimotor dysfunction? *Current Opinion in Neurobiology* 2003, **13** : 212-218

RAMUS F. Neurobiology of dyslexia: A reinterpretation of the data. *Trends in Neurosciences* 2004, **27** : 720-726

RAMUS F, PIDGEON E, FRITH U. The relationship between motor control and phonology in dyslexic children. *Journal of Child Psychology and Psychiatry* 2003a, **44** : 712-722

RAMUS F, ROSEN S, DAKIN SC, DAY BL, CASTELLOTE JM, et coll. Theories of developmental dyslexia: Insights from a multiple case study of dyslexic adults. *Brain* 2003b, **126** : 841-865

ROSEN S. Auditory processing in dyslexia and specific language impairment: Is there a deficit? What is its nature? Does it explain anything? *Journal of Phonetics* 2003, **31** : 509-527

SCARBOROUGH HS. Very early language deficits in dyslexic children. *Child Dev* 1990, **61** : 1728-1743

SHAYWITZ SE, SHAYWITZ BA. Dyslexia (specific reading disability). *Biological Psychiatry* 2005, **57** : 1301-1309

SIMMERS AJ, BEX PJ, SMITH FKH, WILKINS AJ. Spatiotemporal visual function in tinted lens wearers. *Investigative Ophthalmology & Visual Science* 2001, **42** : 879-884

SINGLETON C, TROTTER S. Visual stress in adults with and without dyslexia. *Journal of Research in Reading* 2005, **28** : 365-378

SKOTTUN BC. The magnocellular deficit theory of dyslexia: the evidence from contrast sensitivity. *Vision Res* 2000, **40** : 111-127

SNOWLING MJ. Dyslexia. 2nd ed, Blackwell, Oxford, 2000

SNOWLING MJ, GALLAGHER A, FRITH U. Family risk of dyslexia is continuous: individual differences in the precursors of reading skill. *Child Dev* 2003, **74** : 358-373

STEIN JF. The magnocellular theory of developmental dyslexia. *Dyslexia* 2001, **7** : 12-36

STEIN JF, FOWLER MS. Unstable binocular control in children with specific reading retardation. *Journal of Research in Reading* 1993, **16** : 30-45

STEIN JF, WALSH V. To see but not to read; the magnocellular theory of dyslexia. *Trends Neurosci* 1997, **20** : 147-152

STEIN JF, RICHARDSON AJ, FOWLER MS. Monocular occlusion can improve binocular control and reading in dyslexics. *Brain* 2000, **123** : 164-170

STOODLEY CJ, STEIN JF. Incidence of phonological, visual, auditory and motor impairments in dyslexic and control children. Paper presented at the Sixth British Dyslexia Association International Conference, Warwick, 2004

STOODLEY CJ, FAWCETT AJ, NICOLSON RI, STEIN JF. Impaired balancing ability in dyslexic children. *Experimental Brain Research* 2005, **167** : 370-380

TORGESEN JK, ALEXANDER AW, WAGNER RK, RASHOTTE CA, VOELLER KKS, CONWAY T. Intensive remedial instruction for children with severe learning disabilities: Immediate and long-term outcomes from two instructional approaches. *Journal of Learning Disabilities* 2001, **34** : 33-58

VALDOIS S, BOSSE ML, ANS B, ZORMAN M, CARBONNEL S, DAVID D, et coll. Phonological and visual processing deficits are dissociated in developmental dyslexia: Evidence from two case studies. *Reading and Writing* 2003, **16** : 541-572

VALDOIS S, BOSSE ML, TAINTURIER MJ. The cognitive deficits responsible for developmental dyslexia: Review of evidence for a selective visual attentional disorder. *Dyslexia* 2004, **10** : 339-363

VELLUTINO FR, FLETCHER JM, SNOWLING MJ, SCANLON DM. Specific reading disability (dyslexia): what have we learned in the past four decades? *J Child Psychol & Psychiat* 2004, **45** : 2-40

WHITE S, MILNE E, ROSEN S, HANSEN PC, SWETTENHAM J, et coll. The role of sensorimotor processing in dyslexia: A multiple case study of dyslexic children. *Developmental Science* 2006, 9 : 237-255

WHITE S, FRITH U, MILNE E, ROSEN S, SWETTENHAM J, RAMUS F. A double dissociation between sensorimotor impairments and reading disability: A comparison of autistic and dyslexic children. *Cognitive Neuropsychology* 2006, 23 : 748-761

WILKINS AJ. Visual stress. Oxford University Press, Oxford, 1995

WILKINS AJ, HUANG J, CAO Y. Visual stress theory and its application to reading and reading tests. *J Research in Reading* 2004, **27** : 152-162

WIMMER H, MAYRINGER H, RABERGER T. Reading and dual-task balancing: Evidence against the automatization deficit explanation of developmental dyslexia. *Journal of Learning Disabilities* 1999, **32** : 473-478

IV

Prévention et prise en charge

Introduction : Du repérage à la prise en charge à l'école et à la pratique clinique

La principale attente de la société concernant les troubles des apprentissages est la possibilité d'une prise en charge adaptée pour les enfants qui en ont besoin. On est en droit d'attendre de cette prise en charge qu'elle soit scientifiquement validée, c'est-à-dire qu'elle repose sur des principes et des méthodes qui ont fait la preuve de leur efficacité. On se heurte là à une première difficulté car, contrairement aux traitements médicamenteux qui doivent faire l'objet d'essais cliniques et sont soumis à autorisation de mise sur le marché, les divers modes de prises en charge préconisés pour les troubles de l'apprentissage ne sont pas soumis aux mêmes exigences. Cette situation nuit à la qualité de l'offre de soins et à sa lisibilité par les patients et leurs familles. Il reste donc un immense besoin de recherches cliniques dans ce domaine. Malgré tout, un certain nombre de méthodes (concernant essentiellement la dyslexie) ont été évaluées, et il est par conséquent possible de faire un état des lieux de ce que l'on sait de l'efficacité des différents traitements qui sont actuellement proposés.

Toute prise en charge suppose au préalable un diagnostic. Ce diagnostic lui-même n'est pas sans difficulté, en premier lieu parce qu'il repose avant tout sur des symptômes comportementaux. Ceux-ci sont par nature plus difficiles à apprécier objectivement que des symptômes purement physiologiques, ce qui peut mettre en péril la validité du diagnostic. C'est pourquoi tout diagnostic d'un trouble des apprentissages doit se baser non seulement sur l'entretien et l'observation informelle pratiquée par le clinicien, mais également sur des mesures plus objectives telles que celles obtenues grâce à des batteries de tests dûment validées et étalonnées. Ces « outils », aujourd'hui indispensables à tout diagnostic valide, sont répertoriés et analysés.

Malgré l'apport certain des batteries standardisées, il n'en reste pas moins que les données que celles-ci fournissent restent entachées d'« erreurs de mesure » non négligeables, car toute mesure comportementale est influencée par de multiples facteurs (fatigue, concentration, motivation, contexte, sans parler des traitements eux mêmes…) qui sont en partie hors de contrôle du professionnel, comme du sujet lui-même. Une qualité essentielle d'une bonne batterie standardisée est donc sa capacité à fournir des mesures stables malgré les inévitables variations qui affectent le comportement (la « fiabilité test-retest »). Dans la majorité des cas, on atteint des fiabilités raisonnables mais

loin d'être parfaites. Cette fiabilité relative affecte potentiellement celle du diagnostic, qui doit donc autant que possible se baser sur des mesures croisées et convergentes à travers différents tests.

Plus fondamentalement, les troubles des apprentissages sont par définition des troubles développementaux, et sont donc par nature évolutifs. Les capacités cognitives de tous les enfants évoluent dans le temps (avec de grandes variations), et celles des enfants porteurs de troubles des apprentissages évoluent différemment. Il est par conséquent difficile de définir, sur la base des données collectées à un âge précis, des critères diagnostiques qui possèdent une stabilité absolue dans le temps. Il est donc courant qu'un enfant soit dyslexique une année mais pas la suivante, ou vice-versa. Il ne faut évidemment pas en déduire que l'enfant est guéri ou qu'il est subitement devenu dyslexique. Il peut simplement évoluer naturellement autour du seuil diagnostique, ou encore répondre à une intervention orthophonique ou à tout autre facteur dans son environnement. La notion de seuil diagnostique est d'ailleurs cruciale, dans la mesure où les capacités cognitives concernées varient continûment au sein de la population, sans discontinuité claire entre « la normalité » et « la pathologie », ce qui oblige donc à définir des seuils de sévérité forcément arbitraires pour définir le trouble exigeant une intervention. On voit donc ici l'importance de l'anamnèse et du suivi longitudinal du développement de l'enfant par un professionnel référent, pour pallier les insuffisances de la simple évaluation ponctuelle et de l'application aveugle de seuils diagnostiques.

Les troubles des apprentissages ont encore ceci de particulier que, lorsqu'un diagnostic formel est possible, il est souvent bien tard pour intervenir. Il n'est jamais trop tard pour faire quelque chose, mais souvent une intervention plus précoce aurait été plus efficace et aurait évité bien des effets secondaires. Par exemple, lorsqu'un véritable diagnostic de dyslexie est possible, l'enfant a déjà subi au moins deux années d'échec dans l'apprentissage de la lecture, et a par conséquent accumulé du retard dans d'autres matières scolaires, ce qui peut engendrer une perte de confiance en lui, un rejet de l'institution scolaire, et éventuellement déboucher sur des troubles anxieux, dépressifs ou de comportement. Au moment du diagnostic, l'enfant est donc déjà entré dans un cercle vicieux de l'échec dont il est extrêmement difficile de sortir. D'où l'intérêt évident de tenter des interventions plus précoces.

Il faut néanmoins se garder de vouloir un véritable diagnostic plus précoce, car il manquerait cruellement de sensibilité et de spécificité. Ainsi, si l'on se mettait en tête de diagnostiquer la dyslexie au CP, étant donné les nombreuses causes possibles de difficultés d'apprentissage de la lecture, on identifierait en fait beaucoup de mauvais lecteurs non dyslexiques, et par ailleurs on raterait un nombre non négligeable de véritables dyslexiques[45]. Pour ces

45. « Véritables dyslexiques » signifiant ici « vérifiant les critères diagnostiques usuels de la dyslexie lors d'une évaluation plus tardive ou sur le long terme »

raisons, il apparaît maintenant clairement préférable de prévoir une prévention pour les enfants qui sont « à risque » de développer une dyslexie et l'ensemble des mauvais lecteurs plutôt que de vouloir un diagnostic plus précoce conduisant directement à une prise en charge.

La possibilité d'envisager une prévention pour des enfants « à risque » résulte directement des progrès de notre compréhension des causes des troubles des apprentissages. C'est dans le domaine de la dyslexie que des signes précurseurs ont le mieux été mis en évidence. Ces signes sont pour l'essentiel liés au langage oral et préexistent à l'apprentissage du langage écrit. Par ailleurs, la présence de troubles comportementaux, d'hyperactivité détectables avant l'entrée au primaire est également un facteur de risque pour des troubles ultérieurs des apprentissages. Enfin, la mise en évidence de facteurs génétiques, avec pour corollaire les antécédents familiaux de troubles des apprentissages, permet de définir des enfants « à risque génétique » de développer un trouble des apprentissages. Ainsi, un enfant qui a un apparenté au premier degré dyslexique a environ un risque sur deux de devenir lui-même dyslexique. Ce type d'héritabilité est attesté, à divers degrés, dans l'ensemble des troubles développementaux. Il est important de souligner qu'aucun des facteurs de risque mentionnés ci-dessus ne permet une véritable prédiction individuelle de la dyslexie, autre que probabiliste. Ils doivent être simplement traités comme des facteurs de risque, c'est-à-dire attirer l'attention et augmenter la vigilance vis-à-vis des premiers signes de troubles des apprentissages.

Une autre possibilité en terme de prévention découle du fait que l'ensemble des mauvais lecteurs peut bénéficier d'une réponse pédagogique précoce « de première intention », indépendamment de tout diagnostic formel. Dès le CP, il est possible d'identifier un certain nombre d'enfants qui ont du mal à acquérir les bases de la lecture pour des raisons variées. De multiples études expérimentales montrent qu'une intervention pédagogique ciblée possédant certaines propriétés peut bénéficier à une proportion significative des mauvais lecteurs. Pour les mauvais lecteurs non dyslexiques, cela revient à leur fournir un soutien pour compenser leur faible niveau de langage oral ou leurs handicaps socioculturels. Pour les mauvais lecteurs dyslexiques, cela permet de leur apporter précocement une aide ciblée efficace pouvant atténuer leurs difficultés et éviter à une partie d'entre eux d'entrer dans la spirale de l'échec. Bien entendu, pour les enfants qui ne répondent pas totalement à ce type d'intervention « de première intention », une véritable prise en charge médicale individuelle sera nécessaire. Un panorama des possibilités de prévention et des études scientifiques qui ont déjà été réalisées dans ce domaine est présenté dans cette partie.

Enfin, la prise en charge des enfants porteurs de troubles spécifiques des apprentissages nécessite l'implication de plusieurs catégories de professionnels et de multiples institutions. Il est crucial de clarifier le rôle dévolu à

chacun de ces acteurs et de mettre en place un système qui permette de coordonner leurs actions et d'insérer chaque enfant dans un parcours de prévention et/ou de soins adapté. Le dernier chapitre de cette analyse fait plus particulièrement le point sur ces questions organisationnelles.

21

Repérage, dépistage et diagnostic

Les outils de dépistage et de diagnostic des troubles des apprentissages seront envisagés dans une démarche méthodologique partant du repérage des troubles ou de leurs facteurs de risque, en passant par l'examen clinique de dépistage de première intention, qui permet devant une plainte concernant les apprentissages de définir si elle est justifiée, quels sont les domaines atteints et les domaines préservés, jusqu'aux outils diagnostiques permettant de faire un diagnostic du trouble d'un ou de plusieurs domaines d'apprentissages, d'en définir le profil en lien avec les modèles théoriques et de conduire aux hypothèses thérapeutiques. Pour la clarté du chapitre, nous envisagerons successivement les différentes fonctions cognitives et/ou domaines d'apprentissages : langage oral, langage écrit, calcul, graphisme, praxies et autres fonctions cognitives non verbales (attention et mémoire).

Néanmoins, l'état des connaissances est nettement plus avancé dans le domaine du langage oral et écrit que dans le domaine des autres fonctions ou apprentissages, tant en ce qui concerne les bases scientifiques que les outils d'évaluation étalonnés et validés. La situation française est différente de celle des pays anglo-saxons car la considération de l'aspect cognitif des troubles des apprentissages est récente. Jusqu'alors, ce sont principalement les aspects psychosociaux qui étaient considérés. Il a fallu attendre la fin des années 1990 avec les deux rapports sur les troubles du langage oral et écrit de l'enfant : le rapport « Ringard » (Jean-Charles Ringard, pour le Ministère de l'éducation nationale) et le rapport « Veber » (Florence Veber, pour le Ministère de la santé) pour reconsidérer les positions antérieures. Ces deux rapports ont conduit à un Plan d'action signé en 2001 par quatre ministères et secrétariats d'état (Éducation nationale, Santé, Recherche, Handicap).

En 2002, un rapport de l'IGAS/IGEN a présenté une analyse des dispositifs pédagogiques et de soins existant et un état des lieux de la situation sur le territoire. Il définissait également les étapes, les rôles respectifs des différents acteurs dans la détection, le dépistage, le diagnostic et la prise en charge des troubles du langage et les moyens nécessaires à leur mise en œuvre[46].

46. IGAS/IGEN. Enquête sur le rôle des dispositifs médico-social, sanitaire et pédagogique dans la prise en charge des troubles complexes du langage. Rapport des inspections générales de l'Éducation nationale et des Affaires sociales, janvier 2002

Une commission interministérielle a réalisé un rapport sur les « outils » qui est accessible depuis 2006 sur le site du Ministère de la santé et des solidarités[47] .

Aujourd'hui, le concept de troubles spécifiques du langage oral et écrit est acquis. En revanche, il existe encore une certaine hétérogénéité des conceptions selon la discipline (par exemple, les données des neurosciences sont encore insuffisamment considérées dans l'approche psychanalytique et les facteurs psychopathologiques sont parfois sous-estimés dans les sciences cognitives).

La coordination des différents acteurs de l'éducation nationale et de la santé n'est pas encore optimale, conduisant à une grande diversité dans les actions de dépistage, les réponses pédagogiques et de soins selon les conceptions des professionnels et non fondées sur les résultats des études scientifiques. Si les acteurs du terrain, instituteurs, rééducateurs, médecins se sentent concernés, les stratégies sont encore souvent mal définies et exceptionnellement évaluées. Les troubles des fonctions non verbales (dyspraxies, dysgraphies), les dyscalculies et les déficits attentionnels et de mémoire nettement moins bien connus, sont donc moins dépistés, diagnostiqués et pris en charge, que les troubles du langage.

Pourtant, il est possible de proposer et d'évaluer aujourd'hui des stratégies indispensables à certains âges clés, comme prendre en considération les troubles du langage oral dès l'âge de 3 ans, les difficultés de déchiffrage dès le CP, les difficultés graphiques dès l'âge de 4 ou 5 ans et les troubles attentionnels et du comportement le plus tôt possible. Il est aussi possible de s'inspirer des données évaluées et publiées dans la littérature pour définir une action pédagogique précoce appropriée à l'école. Les enfants dont les troubles persistent malgré une action pédagogique appropriée ou présentant des troubles sévères nécessitent un diagnostic précis et argumenté du profil de leurs troubles et doivent bénéficier d'un programme de soins adapté, associé à une réponse pédagogique et dont les effets sont évalués par un professionnel compétent. Les adaptations pédagogiques sont actuellement bien définies (Billard et Touzin, 2003) mais encore insuffisamment appliquées faute souvent d'informations auprès des enseignants.

Il est possible de définir le rôle de chacun, au prix d'une politique d'information de tous et de formation des professionnels particulièrement impliqués, afin d'optimiser les prises en charge dans un meilleur rapport qualité-coût. L'école est au premier plan bien sûr, étant le premier maillon de la chaîne (repérage, dépistage, réponse pédagogique de première intention), mais aussi tout au long du processus : les soins dans le domaine des troubles des apprentissages, où l'expression essentielle du trouble est à l'école, ne peuvent être

47. VALLÉE L, DELLATOLAS G. Recommandations sur les outils de repérage, dépistage et diagnostic pour les enfants atteints d'un trouble spécifique du langage. Plan d'action pour les enfants atteints d'un trouble spécifique du langage, Plan triennal interministériel 2001-2004, Ministères chargés de l'éducation nationale et de la santé, octobre 2005 http://www.sante.gouv.fr/htm/dossiers/troubles_langage/recommandations_tsl.pdf

optimisés qu'associés aux adaptations pédagogiques appropriées. La prescription d'évaluations spécialisées, comme l'évaluation orthophonique devant un trouble du langage, est éclairée par un examen clinique de dépistage pertinent effectué par un professionnel suffisamment formé. Les décisions thérapeutiques en terme de type de prise en charge (orthophonie bien sûr devant un trouble du langage, mais aussi psychomotricité ou ergothérapie devant une dysgraphie ou une dyspraxie…), ainsi qu'en terme de fréquence et d'intensité sont prises en considération après un diagnostic précis et ne doivent pas dépendre exclusivement des ressources locales ou des conceptions du professionnel ayant rencontré l'enfant. Les effets de ces actions thérapeutiques doivent être évalués objectivement afin de rectifier soit le diagnostic, soit les axes thérapeutiques en cas d'évolution insuffisamment favorable, en s'aidant des services hospitaliers spécialisés (Centres de référence) mis en place par le Plan d'action 2001.

Outils de repérage, dépistage et diagnostic des différents troubles des apprentissages et cognitifs associés

Il est important de distinguer plusieurs types d'outils :

- ceux qui permettent de dépister des facteurs de risque de troubles spécifiques des apprentissages (troubles du langage oral en maternelle en tant que facteur de risque de la dyslexie par exemple) ;
- ceux qui permettent de dépister un ou plusieurs troubles spécifiques des apprentissages scolaires (après le début des apprentissages) ;
- enfin les outils plus précis et détaillés qui contribuent à confirmer ou non le diagnostic d'un trouble dépisté.

Outils étrangers

La littérature internationale fait état de nombreux outils de repérage ou de dépistage et de diagnostic dans le domaine des troubles des apprentissages (pour une revue sur les outils de dépistage voir Braun, 2000 et pour les outils de diagnostic voir Kamphaus et coll., 2000).

Les outils concernent surtout l'âge pré-scolaire. À l'âge scolaire, la plupart des outils étrangers sont destinés à dépister les troubles du langage écrit. Le PEER (*Pediatric Examination of Educational Reading*) a été conçu dans l'idée de dépister entre 3 ans et demi et 5 ans et demi, les signes pouvant être associés à des troubles futurs d'apprentissage du langage écrit. Le MAP (*Miller Assessment Preschooler*) (Miller et coll., 1987) est considéré comme la batterie médicale de dépistage des troubles des apprentissages entre 5 et 7 ans. Ces batteries donnent des scores globaux, comportent essentiellement des items de motricité, avec peu d'items langagiers et aucun item spécifique d'une fonction bien déterminée.

Par ailleurs, Vellutino et coll. (2004) ainsi que Torgensen et coll. (2001) montrent le peu de prédictivité des échelles classiques d'intelligence, comme les

échelles de Weschler (WPPSI, WISC) ou du K-ABC, pour dépister les troubles des apprentissages et en particulier les dyslexies. Ils remettent en question l'utilisation exclusive de ces outils dans ces troubles, en particulier par les psychologues scolaires, et proposent l'utilisation de batteries plus spécifiques des différents apprentissages ou fonctions cognitives. Toutes les études longitudinales (Snowling, 2000 ; Scaborough, 2001 ; Vellutino et coll., 2004 ; Sprenger-Charolles et coll., sous presse) confirment que les meilleurs prédicteurs de l'apprentissage du langage écrit sont les compétences phonologiques (mémoire phonologique inclue) ainsi que le *Rapid Automatic Naming* (RAN) ou dénomination rapide et la connaissance des lettres. Ce sont donc ces fonctions-là qu'il faut explorer dans une démarche d'action préventive. L'étude longitudinale de Sprenger-Charolles et coll. (sous presse) montre que les compétences en rimes et allitérations à 5 ans prédisent les compétences en lecture de 71 % des enfants.

La littérature concernant non pas la dyslexie, mais les troubles des apprentissages au sens plus général (« *Learning Disability* »), est beaucoup moins claire. Jones et Eberle, en 2000, écrivent « Le défi pour l'avenir est d'identifier les sous-types de troubles spécifiques et de déterminer les interventions appropriées afin d'optimiser le pronostic en terme de communication, indépendance, intégration dans la communauté, estime de soi… ». Il donne ainsi, toute sa valeur aux évaluations qui précisent le profil des enfants en échec scolaire. Kenny et coll. (1990) ont mis au point un examen clinique de première intention en faveur des enfants suspects de troubles des apprentissages : le PEEX (*Pediatric Early Elementary Examination*) qui n'identifie le trouble que chez 64,4 % de la population. Ouvrier et coll. (1999) ont créé une version pédiatrique du MMS (*Minimal Mental Status* ; qui est utilisé chez l'adulte comme examen clinique neuropsychologique de première intention et destiné à discriminer les patients nécessitant une évaluation neuropsychologique complémentaire). La version pédiatrique du MMS donne un score global et non un profil des déficits cognitifs de l'enfant.

En termes de batteries de repérage, dépistage et *screening* clinique, les outils français sont plus nombreux et pour certains plus pertinents et mieux validés que les outils étrangers. En revanche, en ce qui concerne précisément la démarche de dépistage d'un trouble d'acquisition du langage écrit et donc pour évaluer les effets des actions pédagogiques ou de soins, elle est plus clairement définie et largement homogène dans la littérature étrangère qu'en France. La batterie WRMT-R (*Woodcock Reading Mastery Test-Revised*, Woodcock et coll., 1991), qui permet d'évaluer l'identification des pseudo-mots et des mots, est quasiment systématiquement utilisée dans toutes les études de la littérature en langue anglaise et les évaluations comportent toujours également une évaluation des compétences phonologiques, ainsi qu'un test de compréhension de texte lu (test GRAY) au niveau de la précision, la vitesse et la compréhension en lecture oralisée et en lecture silencieuse.

Outils français[48]

Ils sont nombreux, divers dans leurs objectifs (âge, repérage, dépistage ou diagnostic, langage oral, écrit ou autres fonctions…) ainsi que dans leur validation interne et externe (tableaux 21.I et 21.II).

Tableau 21.I : Outils de dépistage disponibles en France

Outils	Âges préscolaires ou scolarité	Domaine des apprentissages
Inventaires français du développement communicatif	12 mois, 18 mois, 24 mois	Développement gestuel et langagier
Questionnaire langage et comportement	3 ans et demi-4 ans	Troubles du langage oral et du comportement
DPL3 (Dépistage et prévention du langage à 3 ans)	3 ans-3 ans et demi	Langage oral
ERTL4 (Épreuve de repérage des troubles du langage à 4 ans)	3 ans 9 mois à 4 ans 6 mois	Langage oral
PER 2000 (Protocole d'évaluation rapide)	3 ans et demi à 5 ans et demi	Langage oral, capacités perceptives et mnésiques, orientation et structuration dans le temps et l'espace
ERTLA6 (Épreuve de repérage des troubles du langage et des apprentissages)	6 ans	Langage oral et compétences requises pour apprentissages
BSEDS (Bilan de santé évaluation du développement pour la scolarité 5-6 ans)	4 ans 11 mois à 6 ans	Langage oral, conscience phonologique, perception, discrimination et attention visuelles
BREV (Batterie rapide d'évaluation des fonctions cognitives et apprentissages)	4 ans à 9 ans	Langage oral, conscience phonologique, graphisme, perception et attention visuelles, fonctions exécutives et raisonnement spatial, mémoire, lecture, orthographe, calcul
Batelem-R	À partir du CP	Lecture
La pipe et le rat	À partir du CP	Lecture semi-collectif
Timé 2	À partir du CP	Lecture semi-collectif
Batterie de Lobrot	À partir du CP	Lecture semi-collectif
L'alouette	À partir du CP	Lecture
ODEDYS (outil de dépistage de la dyslexie)	CE1 au CM2	Niveau et stratégies de lecture et orthographe, métaphonologie, mémoire verbale à court terme et traitement visuel
ROC	À partir du CM2	Lecture

48. Tous les outils cités sont décrits (ainsi que les coordonnées de leurs éditeurs) dans BILLARD C, TOUZIN M, GILLET P. Troubles spécifiques des apprentissages. L'état des connaissances. Signes éditions, Paris, 2003, et dans BILLARD C, TOUZIN M. (sous la direction de). Anthony, Clémentine, Saïd et les autres. Une découverte concrète des troubles spécifiques des apprentissages. Cd-Rom de sensibilisation ARTA, Paris, 2003

Tableau 21.II : Principaux outils de diagnostic disponibles en France
A : Outils concernant le langage oral et écrit

Outils	Âges ou scolarité	Domaine des apprentissages
BEPL	3 à 4 ans	Langage oral
ELOLA	4 à 12 ans	Langage oral
N-EEL	3,7 à 8,7 ans	Langage oral
ELO	3 à 11 ans	Langage oral
EDP 4-8	4 à 8 ans	Discrimination des sons
GAP	4 à 5 ans	Épreuve des gnosies auditivophonétiques
EVIP	2 ans et demi à 18 ans	Compréhension lexicale
VOCIM	3 à 9 ans	Compréhension lexicale
TVAP 3-5 et 5-8	3 à 5 ans 5 à 8 ans	Vocabulaire actif et passif
TCG	3 à 9 ans	Expression syntaxique
ECOSSE	4 à 12 ans	Compréhension syntaxique orale et écrite
O 52	3 à 8 ans	Compréhension syntaxique
NSST	5 à 8 ans	Expression et compréhension syntaxiques
DEDALE	4 à 7 ans	Version courte du TCG et TVAP
Épreuve de fluence sémantique	5 à 8 ans	Fluence sémantique (Kremin et Dellatolas, 1996)
LMC-R	CE1 à 5e	Langage écrit
L2MA	8 ans et demi à 11 ans et demi	Batterie « Langage oral, langage écrit, mémoire, attention »
BELEC	CE1 et CM1	Langage écrit Habiletés métaphonologiques
BALE		Langage écrit
EVALEC	CP au CM1	Langage écrit
ORLEC	7 à 12 ans	Compréhension langage écrit
ANALEC	8 ans à adulte	Langage écrit
Batelem-R	Grande section maternelle à CE2	Langage écrit, calcul

B : Outils concernant les fonctions cognitives en dehors du langage oral et écrit (liste non exhaustive)

Outils	Âges ou scolarité	Domaine des apprentissages
Échelles de Weschler WPPSI-R ou WPPSI-III WISC-III ou WISC-IV		Intelligence
K-ABC	2 ans et demi à 12 ans et demi	Intelligence et apprentissages
Stroop	8 à 15 ans	Dénomination couleurs
Deno 48		Dénomination images
Nepsy	3 à 12 ans	Fonctions neuropsychologiques diverses

Outils	Âges ou scolarité	Domaine des apprentissages
BREV	4 à 9 ans	Graphisme
VMI	2 à 18 ans	Graphisme
DTVP-2	4 à 10 ans	Graphisme et perception visuelle
Figures de Rey	4 ans à l'âge adulte	Graphisme, perception visuelle, capacités visuo-constructives et planification
BHK	À partir du CP	Écriture
Frostig TDVP	3–7 ans	Fonctions visuo-perceptives
Benton 3D	5 ans et 4 mois à 10 ans et 4 mois	Fonctions visuo-perceptives
Movment ABC		Coordination gestuelle
Subtest K-ABC	Jusqu'à 12 ans 6 mois	Calcul
Subtest Batelem-R	Grande section maternelle à CE2	Calcul
Subtest Weschler	Préscolaire et scolaire	Calcul
UDN2	4 à 12 ans	Calcul
Numérical	CE2, CM	Calcul
Tédi-maths	Jusqu'au CE	Calcul
Zareki-R	Primaire	Calcul
Items « barrage des 3 » BREV	4 à 9 ans	Attention visuelle
Items de la Nepsy	3 à 12 ans	Fonctions attentionnelles
Barrage de Corkum	Préscolaire	Fonctions attentionnelles
Barrage des cloches	Grande section maternelle à CM2	Fonctions attentionnelles
Test de Zazzo		Fonctions attentionnelles
D2	À partir de 9 ans	Fonctions attentionnelles
Fepsy	Scolaire	Fonctions attentionnelles
CTp-II	Scolaire	Fonctions attentionnelles
Tapping BREV	4–9 ans	Contrôle de l'inhibition
Partie B Nepsy	3–12 ans	Contrôle de l'inhibition
Test de Stroop Version jour/nuit	8 à 15 ans 3 à 7 ans	Contrôle de l'inhibition
Tour de Londres Nepsy	Jusqu'à 12 ans	Fonctions exécutives
Wisconsin	Après 8 ans	Fonctions exécutives

Les outils peuvent être classés selon trois objectifs différents :

• certains consistent à repérer une population à risque de troubles spécifiques des apprentissages. Ils concernent, soit les troubles du langage oral avant 5 ans, soit les signes prédictifs de dyslexie à 5-6 ans. Ces populations dépistées à risque ne sont pas forcément pathologiques ultérieurement : certains troubles du langage oral sont transitoires, et certains enfants porteurs de signes prédictifs de dyslexie apprendront normalement à lire sans aucune intervention. Par ailleurs, les populations non détectées à risque en maternelle, peuvent présenter ultérieurement des troubles spécifiques des apprentissages. L'objectif est donc essentiellement de proposer aux enfants repérés une action préventive dans le cadre de leur scolarité normale ;

• d'autres outils ont pour objectif de préciser la réalité d'un trouble, son profil et sa gravité, comme par exemple un trouble spécifique et sévère du langage oral à 5 ans ou de l'acquisition du langage écrit dès le CP ou du graphisme après 5 ans ; ces outils permettent donc de définir les actions pédagogiques, de prescrire les évaluations complémentaires qui affirmeront le diagnostic et préciseront les actions de soins qui en découlent ;
• enfin, le troisième type d'outils a pour objectif de confirmer un diagnostic évoqué à la suite de l'outil précédent. Ce dernier type d'outil très spécialisé sera réalisé par le professionnel concerné : évaluation psychologique du fonctionnement psychique et cognitif par un psychologue, évaluation du langage oral et écrit par un orthophoniste, évaluation des fonctions graphiques et praxiques par un psychomotricien, ergothérapeute ou neuropsychologue, évaluation des fonctions attentionnelles et mnésiques par un neuropsychologue…

L'utilisation de ces différents outils se réfère à des âges clés du développement selon les recommandations de l'Anaes (2001) ou selon les données des études de prévalence et longitudinales concernant les troubles d'acquisition du langage écrit.

Dès 3 ans, un trouble du langage oral doit être pris en considération et amener à différencier un trouble secondaire (une surdité, un trouble du comportement ou communication, voire un déficit intellectuel) qui nécessitera la prise en charge de la pathologie primitive et non uniquement du langage oral, d'un trouble spécifique. Jusqu'à environ 4 ans et demi-5 ans, seuls les troubles spécifiques et sévères (un ou plusieurs critères de gravité : inintelligibilité, agrammatisme ou déficit de la compréhension) nécessitent une évaluation orthophonique détaillée et une rééducation dès que l'enfant coopère. Les troubles spécifiques sans critères de gravité doivent être suivis, avec une adaptation pédagogique et une guidance parentale.

Dès 5 ans, tout trouble spécifique du langage oral doit être évalué et rééduqué par un orthophoniste afin d'améliorer le langage oral et préparer l'apprentissage du langage écrit (Anaes, 2001).

Même s'il n'existe pas de recommandations ni d'études longitudinales dans ce domaine, l'expérience clinique suggère que la cinquième année est un âge clé pour détecter un trouble du graphisme et/ou une dyspraxie. Le diagnostic reposera sur une évaluation complémentaire psychologique pour affirmer son caractère spécifique, ainsi qu'une évaluation en psychomotricité ou ergothérapie pour en préciser le profil et la gravité.

Dès 5-6 ans, les difficultés d'acquisition du code numérique (nom et construction des nombres, comptine numérique), ainsi qu'au CP-CE1 les difficultés d'accès aux faits numériques (tables d'addition puis de multiplication), de transcodage des nombres doivent être repérés et amener à une évaluation psychologique pour affirmer leur caractère spécifique, ainsi qu'une évaluation précise du calcul.

En ce qui concerne les troubles d'apprentissage du langage écrit, les données des études longitudinales (Shaywitz et coll., 1999 ; Scarbourough,

2001 ; Sprenger-Charolles et coll., 2003) montrent que les capacités de lecture en CP et en CE1 sont corrélées avec les aptitudes ultérieures, et que les troubles du langage oral sont très prédictifs de futures difficultés en lecture. Les troubles d'acquisition du langage écrit doivent être pris en considération dès le CP. S'ils sont associés à un trouble du langage oral, ils nécessitent une évaluation orthophonique. S'ils sont sans trouble du langage oral mais sévères (non-acquisition du processus de déchiffrement à la fin du CP, non-amélioration après une réponse spécifique à l'école), ils nécessitent également une évaluation orthophonique. Cette évaluation orthophonique doit être accompagnée d'une évaluation psychologique si les troubles d'apprentissage de la lecture ne semblent pas isolés (déficit en graphisme, calcul…).

Cette diversité des situations selon les âges clés et la symptomatologie présentée donne toute son importance à l'examen clinique de première intention et au médecin référent pour le réaliser, prescrire les évaluations complémentaires, en faire la synthèse et guider les soins de l'enfant, les réponses à l'école et le suivi de l'enfant et de ses parents.

Outils ayant fait l'objet de validation en France

Les principaux outils de dépistage et de diagnostic utilisés en France sont présentés dans les tableaux 21.I. et 21.II. Les outils peuvent être classés par âge et objectif.

Avant le CP, il n'est pas possible de repérer ou dépister un trouble des apprentissages scolaires, en particulier de l'acquisition du langage écrit. En revanche, le repérage et le dépistage des enfants à risques, particulièrement de ceux porteurs d'un trouble du langage oral, amènera à proposer des actions pédagogiques sur le trouble dépisté et les actions de soins si nécessaires.

Entre 12 mois et 3 ans et demi

Le repérage d'un développement déviant du langage oral se fait entre 12 mois et 3 ans et demi.

Les inventaires français du développement communicatif (Kern, 2003 ; Bovet et coll., 2005a et b), version française adaptée du *McArthur Communicative Development Inventory*, concernent le développement du langage oral entre 12 et 24 mois. Il s'agit de deux versions, l'une courte et l'autre longue, d'une interview des parents concernant les gestes, la production et la compréhension de mots. Les inventaires de communication ont été étalonnés dans une large population et la prédictivité à 3 ans a été validée. Il donne des repères de l'évolution du langage oral en France, très dépendant du

niveau socioculturel maternel, avec des marques clés : comme le babillage dupliqué acquis chez 99,5 % des enfants à 12 mois et la combinaison de mots acquise chez 92 % de la population à 24 mois. Les données longitudinales dans les populations à risques (Lyytinen et coll., 2001 et 2004), décrivant la supériorité des évaluations précoces à celles effectuées entre 3 et 5 ans, pourraient donner son sens à l'utilisation de ces interviews parentales dans les familles où un enfant ou un parent a eu un trouble du langage oral.

Le questionnaire « Langage et comportement » (Chevrie-Müller, 2003 ; Chevrie-Müller et Goujard, 1990 ; Chevrie-Müller et coll., 1993) est destiné au repérage par les enseignants des troubles du langage oral à 3 ans et demi, en petite section de maternelle. Il a subi une validation interne ainsi qu'externe en comparaison à une batterie de langage oral de référence (430 enfants ont bénéficié du questionnaire et de la batterie BEPL (Batterie d'évaluation psycholinguistique). Une version courte, comportant 29 questions, a défini dans la population de référence, quatre situations :

- enfant sans difficultés (0 à 9 réponses négatives), soit 86,3 % des cas ;
- enfants à surveiller (10 à 13 réponses négatives) chez 7 % de la population ;
- enfants présentant des difficultés probables (14 à 17 réponses négatives) chez 3 % de la population ;
- enfants présentant des difficultés certaines (plus de 17 réponses négatives) chez 3,7 % de la population.

La validation externe objective une bonne valeur prédictive négative (92,2 %) mais au prix d'une faible valeur prédictive positive (54,1 %). Ce questionnaire peut servir de guide de repérage aux troubles du langage oral pour les jeunes enseignants, mais il ne donne qu'un score global et ne permet pas de différencier les troubles spécifiques des troubles non spécifiques.

Le DPL3 (Dépistage et prévention des troubles du langage à 3 ans ; Coquet, 2003) consiste en 10 questions courtes sur le langage et la communication, et sont destinées aux parents ou aux enseignants. La population d'étalonnage (439 enfants tout-venant, dont 152 revus ultérieurement) a permis de définir un score dont les limites sont beaucoup trop larges par rapport à la fréquence estimée des troubles du langage à 3 ans-3 ans et demi (12 % des enfants avec un score faible de 0 à 2 sur 10 seraient donc à risque).

Entre 4 ans et 4 ans et demi

L'ERTL 4 (Épreuves de repérage des troubles du langage de l'enfant de 4 ans) permet un examen rapide en 5 à 10 minutes du langage oral en donnant un score global très approximatif qui, dans l'étude initiale chez 526 enfants, repérait 16,9 % d'enfants au langage douteux ou déficitaire, donc une proportion trop élevée par rapport à la prévalence supposée du

trouble. La validation externe longitudinale comparant ce score chez 187 enfants avec les évaluations scolaires en CE2 de 148 d'entre eux, objective, comme les questionnaires à 3 ans, une bonne valeur prédictive négative (95 %) mais au prix d'une faible valeur prédictive positive (58 %). Cet outil ne donne pas non plus de renseignements sur le profil du trouble (spécifique ou non, sévère ou non) et dépiste également trop d'enfants par rapport à la prévalence supposée du trouble.

La même critique peut être faite au PER 2000 (Protocole d'évaluation rapide) qui permet l'évaluation en 30 minutes environ du langage oral et des fonctions non verbales chez l'enfant âgé de 3 ans et demi à 5 ans et demi, et qui, dans l'étalonnage initial (Ferrand, 2000) repérait 10 à 15 % d'enfants dits « pathologiques ».

Selon les recommandations de l'Anaes[49], il faut rester prudent dans l'utilisation des outils très précoces. Ces recommandations préconisent l'évaluation orthophonique d'un enfant atteint de trouble spécifique du langage oral entre 3 ans et 4 ans, uniquement en présence d'un ou plusieurs critères de gravité (inintelligibilité, agrammatisme ou troubles de compréhension).

Entre 5 et 6 ans

Le BSEDS (Bilan de santé évaluation du développement pour la scolarité 5-6 ans) a été mis en place avec l'objectif de dépister, en grande section de maternelle (GSM), les signes prédictifs de difficultés ultérieures d'acquisition du langage écrit (déficit en langage oral, dans les compétences phonologiques ou la prise d'information visuelle). Les normes de référence ont été déterminées par un étalonnage chez 1 076 enfants. Une étude longitudinale a comparé le niveau de lecture en second semestre de CE1 aux résultats rétrospectifs de la BSEDS chez 501 enfants (Zorman et Jacquier-Roux, 2003 ; Zorman et coll., 2004). La valeur prédictive négative, si l'on considère les compétences phonologiques, les compétences en production langagière ou les deux, est entre 90 et 92 %. La plupart des enfants normaux en lecture l'était au BSEDS, mais la valeur prédictive positive est beaucoup plus faible (compétences phonologiques 30 %, production langagière 40 %, les deux 60 %), donc beaucoup d'enfants déficitaires au BSEDS lisaient normalement en CE1. L'utilisation de cette batterie se conçoit donc essentiellement dans un programme préventif en faveur des enfants à risque de dyslexie (et non pas certainement dyslexiques) et donc dans un programme d'entraînement à l'école. L'ERTLA6 s'inscrit également dans cette démarche. Une validation dans une population d'enfants examinés par l'ERTLA6, et

49. L'orthophonie dans les troubles spécifiques du langage oral chez l'enfant de 3 à 6 ans. Agence Nationale d'Accréditation et d'Évaluation en Santé, 2001

dont les compétences scolaires ont été appréciées par les évaluations nationales en CE2 définit une sensibilité de 79 %, une spécificité de 87 %, une valeur prédictive négative de 95 %, mais une valeur prédictive positive de 58 % (avec un score ≥7) (Loos-Ayav et coll., 2005). Néanmoins le choix de l'évaluation en CE2 ne permet pas de préciser le type de troubles d'apprentissages observés, et la cotation du test en score global (de 0 à 18 selon la réussite ou échec aux 18 items) ne permet pas de définir une action de soins précise sur les troubles repérés.

L'absence d'études affirmant les effets réels d'une action préventive dès la GSM des troubles d'acquisition des apprentissages scolaires, en particulier du langage écrit, dans l'état actuel de nos connaissances limite l'utilisation de ces outils dans le cadre envisagé dans cette expertise. Ils ne peuvent pas remplacer le repérage et le dépistage après le début du CP des difficultés d'entrée dans le code grapho-phonémique.

En CP et après repérage de difficultés d'acquisition du langage écrit

Plusieurs outils répondent de façons diverses à la question du dépistage de troubles du langage écrit.

Dès le CP, la Batelem-R (Savigny, 1996) teste l'acquisition du code graphème-phonème en lecture et orthographe ainsi que l'orthographe lexicale et grammaticale (étalonnage en CP, CE1 et CE2 sur une population de 242 enfants en CP, 218 en CE1 et 187 en CE2). Elle ne permet pas de différencier des difficultés isolées, de difficultés plus globales des apprentissages ou bien associées à un déficit du langage oral, ou des fonctions attentionnelles… Elle devra donc être complétée : par exemple, par la batterie BREV (Batterie rapide d'évaluation des fonctions cognitives) ou une évaluation complémentaire psychologique. Il existe aussi dans la Batelem une compréhension en lecture silencieuse de texte à partir de fin de CP et une évaluation du calcul.

D'autres tests étalonnés existent dès le CP pour apprécier les capacités de lecture et transcription, soit en passation semi-collective (« La Pipe et le rat » : Lefavrais, 1986 ; la batterie de l'ORLEC : Lobrot, 1988 ; le Timé 2 : Ecalle, 2000), soit en passation individuelle (comme le test de « l'Alouette ») pour le niveau de décodage ou d'autres tests étalonnés de lecture.

La batterie BREV permet, jusqu'à l'âge de 9 ans (CE2), d'apprécier les apprentissages en lecture, orthographe et calcul, et de replacer le niveau de l'enfant dans ses compétences en langage oral, fonctions non verbales, conscience phonologique, attention et mémoire. Elle a été étalonnée chez 700 enfants (dont 100 enfants en CP, 100 en CE1 et 100 en CE2) et validée en comparaison à une batterie de référence chez 375 autres (avec une sensibilité et spécificité respective pour lecture et orthographe de 95 % et 100 %).

L'ODEDYS (Outils de dépistage de la dyslexie, Cognisciences Grenoble) permet, outre l'appréciation de l'âge lexique par le test de l'Alouette, d'apprécier les stratégies d'identification des mots réguliers, irréguliers et pseudo-mots, et les compétences cognitives sous-jacentes en traitement de l'information visuelle et phonologique. Il a été étalonné chez 669 enfants de CE1 au CM2.

Au-delà du CM2, un outil est en cours de validation pour dépister en collège les troubles du langage écrit (ROC, Cognisciences Grenoble, Académie de Montpellier et Rennes).

En résumé de ces différents outils, la Batelem permet rapidement (environ 10 minutes) et dès le CP de dépister les mauvais décodeurs sans donner plus de renseignements. La BREV permet d'apprécier globalement le niveau de chaque apprentissage et de préciser le profil cognitif des enfants. L'ODEDYS est plus détaillé pour examiner le langage écrit mais il ne permet pas de différencier les troubles spécifiques en langage écrit des troubles des apprentissages globaux, et nécessite donc en cas de déficit, de compléter par la BREV ou une évaluation psychologique pour préciser la spécificité du trouble, évaluer des fonctions comme le graphisme, le calcul et le langage oral.

Comme le soulignent Vellutino et coll. (2004) et Torgesen et coll. (2001), les outils habituellement utilisés par les psychologues (batteries composites d'intelligence et tests projectifs) sont insuffisants pour détecter les troubles d'acquisition en langage écrit ou calcul. Ils ne permettent pas non plus d'apprécier les différentes fonctions langagières. Ils doivent être complétés par d'autres outils comme ceux cités dans ce chapitre lorsqu'un enfant leur est signalé avec cette plainte.

Outil d'examen clinique de première intention entre 4 et 9 ans : la batterie BREV

La batterie BREV (Batterie rapide d'évaluation des fonctions cognitives ; Billard et coll., 2002a et b, 2006) permet, en 20 à 30 minutes, l'examen neuropsychologique de première intention d'un enfant signalé pour un éventuel trouble des apprentissages et/ou des fonctions cognitives. Quinze items rapides permettent d'évaluer succinctement le langage oral (compréhension et production), les compétences phonologiques (production phonologique, conscience phonologique, métaphonologie et mémoire phonologique à court terme), les fonctions non verbales (graphisme, discrimination et attention visuelles, raisonnement spatial et planification) et les apprentissages en lecture, orthographe et calcul. Ceci permet de confirmer ou non la plainte et d'en définir le profil en terme de spécificité et de type, ainsi que la gravité, afin de prescrire de façon éclairée les évaluations complémentaires nécessaires et la démarche pédagogique et de soins.

Un étalonnage chez 700 enfants normaux permet de définir les normes et écarts-types de chacun des 15 items dans la population de référence. Deux validations externes en comparaison à une large batterie de référence ont

permis de préciser les corrélations entre chacun des items de la BREV et l'item similaire de référence, toutes largement significatives, et de définir la sensibilité et la spécificité. La validation chez 173 enfants suspects d'un trouble des apprentissages et/ou des fonctions cognitives objective la diversité des profils présentés : entre 4 et 6 ans, 61 % des enfants consultant pour un trouble du langage oral ont un trouble spécifique, 31 % ont un trouble non spécifique et 7 % ont une dyspraxie. Chez les enfants de 6 à 9 ans, 64 % ont une dyslexie, 26 % une dyspraxie, 10 % un trouble complexe et 10 % un trouble déficit de l'attention. Dans l'ensemble de la population, 28 % des enfants ont un déficit intellectuel. Environ 90 % des enfants ont été classés, suite à la BREV, dans un diagnostic concordant à celui de l'évaluation de référence. Il s'agit donc de différencier devant une plainte :

- les enfants réellement déficitaires ou non ;
- les déficits portant spécifiquement sur un apprentissage ou une fonction ou non ;
- les déficits sévères ou non.

La BREV se situe dans la démarche de Jones et Eberle (2000) : en première intention, devant une situation de difficultés cognitives ou scolaires, il convient de préciser le sous-type de trouble afin d'y apporter la réponse adéquate. Elle permet d'orienter la démarche de prescription d'évaluations complémentaires : orthophonique devant un trouble spécifique du langage oral ou écrit, mais aussi psychologique devant un déficit global de toutes les fonctions, psychologique et en psychomotricité ou ergothérapie devant une suspicion de dyspraxie. Elle permet également au médecin référent d'évaluer extérieurement l'évolution du trouble (par exemple l'évolution de la lecture et de l'orthographe à la fin d'une série de séances orthophoniques), et d'échanger avec les rééducateurs et les parents.

Outils confirmant le diagnostic

Ils peuvent être classés selon l'âge et l'apprentissage ou la fonction cognitive considérés. Les tests utilisés en France pour le langage oral et écrit sont rassemblés dans le tableau 21.II A. Les outils explorant les fonctions cognitives en dehors du langage oral et écrit sont présentés dans le tableau 21.II B. Les outils diagnostiques envisagés ici concernent le diagnostic des troubles des apprentissages scolaires mais également des fonctions cognitives sous-jacentes à ces apprentissages.

Échelles d'intelligence

Les échelles de Weschler (WPPSI-R ou WPPSI-III avant 6-7 ans, et WISC-III ou WISC-IV après 6 ans) sont les plus utilisées. Elles permettent de définir un profil cognitif au prix d'un examen long qui ne peut être réalisé

que par un psychologue expérimenté. Son interprétation nécessite d'être vigilant au comportement de l'enfant lors de la passation, et en particulier aux éventuelles fluctuations selon les subtests. Elles permettent de définir un Quotient Intellectuel (QI). Le Quotient Intellectuel Global (QIG), qui tient compte des résultats du Quotient Verbal (QIV) et du Quotient de Performance non verbale (QIP), ne doit être retenu que lorsqu'il n'existe pas de dissociation entre le QIV et le QIP, ce qui souvent n'est pas le cas chez les enfants porteurs de troubles des apprentissages. Ce n'est donc pas ce chiffre qui compte mais l'analyse de chacun des subtests pour discriminer les fonctions préservées (par exemple le QIP et les différents subtests de performance toujours préservés dans les troubles spécifiques du langage oral et écrit ; ou bien le QIV et les différents subtests verbaux dans les dyspraxies), ainsi que les fonctions altérées (les subtests verbaux souvent altérés dans les troubles spécifiques du langage oral ou bien la mémoire immédiate dans les dyslexies ou bien le code, les cubes et assemblages d'objet dans les dyspraxies). La pratique d'une évaluation psychométrique de ce type s'impose devant tout trouble des apprentissages complexe, ou résistant, ou face à un doute sur les fonctions non verbales à un examen clinique de première intention comme la BREV... En revanche, comme le signalent Vellutino et coll. (2004), cette évaluation est totalement insuffisante pour préciser les diagnostics qu'il s'agisse de trouble spécifique du langage oral ou de dyslexie ou de dyscalculie ou de dyspraxie, diagnostic qui nécessitera en complément la pratique par le professionnel spécialisé de tests spécifiques. Le K-ABC de Kaufman et Kaufman (1983, 1990, 1993, 1994a et b, 1997, 1999) donne d'autres renseignements, en particulier sur les processus séquentiels souvent altérés dans la dyslexie.

Tests spécifiques du langage oral

Les tests spécifiques du langage oral sont indispensables devant tout trouble spécifique du langage oral dès 3-4 ans en cas de critères de gravité, ou systématiquement après 5 ans devant tout trouble persistant du langage oral ainsi que devant tout trouble d'acquisition du langage écrit (tableau 21.II A). Ils doivent répondre aux modèles de développement du langage oral et examiner systématiquement les versants expressif et réceptif.

Sur le versant expressif, les praxies bucco-faciales, l'articulation, la production phonologique, l'évocation lexicale, la production syntaxique doivent être explorées pour le versant expressif.

Sur le versant réceptif, les gnosies auditives, la compréhension lexicale et syntaxique doivent être explorées. Après 5 ans et demi, du fait du lien étroit avec l'acquisition du langage écrit, les compétences phonologiques doivent aussi être évaluées (outre la production phonologique, il s'agit de la discrimination des sons, des rimes et allitérations, de la conscience phonologique, de la métaphonologie et de la mémoire phonologique à court terme). Le RAN

(dénomination rapide de formes, couleurs, chiffres, images…) est aussi actuellement décrit comme une fonction prédictive importante de l'acquisition en lecture, mais les actions de l'entraînement sur ce déficit sont moins claires. La perception temporelle (Tallal, 1980) ou la perception catégorielle (Sprenger-Charolles et coll., sous presse) font aujourd'hui partie des évaluations de recherche mais leurs applications en pratique courante ne sont pas claires.

Plusieurs tests étalonnés en français existent, mais leurs étalonnages concernent des populations beaucoup moins importantes que pour les échelles d'intelligence. Il existe peu de tests concernant l'enfant de plus de 8 ans et demi (seulement quelques subtests très limités de la L2MA ; Chevrie-Müller et coll., 1997) et certaines fonctions comme la sémantique et la pragmatique ne sont explorées par aucune des batteries françaises. Citons comme batteries généralistes de langage, la N-EEL (Nouvelles épreuves pour l'évaluation du langage) de 4 ans et demi à 8 ans et demi (Chevrie-Müller et Plaza, 2001), l'ELOLA (Évaluation du langage oral de l'enfant aphasique) qui comporte plus de fonctions langagières explorées et qui est étalonnée de 2 ans et demi à 12 ans et demi (De Agostini et coll., 1998), et l'ELO (Évaluation du langage oral) (Khomsi, 2001) rapide et donc peu détaillée. D'autres tests complémentaires sont indispensables pour étudier certaines fonctions peu explorées dans les batteries précédentes : le Vocabulaire en Images VOCIM et l'EVIP (Échelle de vocabulaire en images) pour la compréhension lexicale, l'ECOSSE (Épreuve de compréhension syntaxico-sémantique) (Lecocq, 1996) ou le O-52 (Khomsi, 1987) et le NSST (*NorthWestern Syntax Screening Test*) (version française de Chevrie-Müller : Test d'évaluation des aptitudes syntaxiques) pour la compréhension syntaxique orale et écrite, et le TCG-R (Deltour, 1992) pour la production syntaxique.

Les tests explorant les compétences phonologiques existent dans toutes les batteries de langage écrit. Avant 6 ans, outre les batteries utilisées en recherche et les batteries prédictives (particulièrement le BSEDS, la BREV), il existe des subtests spécifiques dans la N-EEL ou l'ELOLA (nouvelle version). Certains tests sont plus spécialisés comme l'EDP 4-8 pour la discrimination des sons ou comme l'EVALEC, la BALE ou la BELEC pour les rimes, allitérations et la suppression du phonème initial.

Tests spécifiques du langage écrit

La littérature anglo-saxonne mentionne l'utilisation de façon systématique de plusieurs subtests pour explorer en clinique les compétences en langage écrit (WMRT-R et tests Gray) :

- un niveau de lecture oralisée (temps et précision) ;
- les stratégies de lecture et orthographe par l'identification et l'écriture de mots (en anglais, beaucoup sont irréguliers) et pseudo-mots ;
- les différentes compétences phonologiques sous-jacentes à l'acquisition du langage écrit ;

- plus un niveau de compréhension de lecture oralisée et silencieuse.

En français, il existe aussi plusieurs batteries étalonnées permettant de définir ces différentes compétences, mais il n'y a pas de batterie consensuelle étalonnée sur une large tranche d'âge pour permettre de définir tous les paramètres souhaités pour un diagnostic de dyslexie, une appréciation des stratégies déficitaires et efficientes de l'enfant, et les déficits des fonctions cognitives sous-jacentes. Il faut donc utiliser plusieurs outils plus ou moins efficients afin de tendre vers une évaluation de type similaire à celle des pays anglo-saxons.

Niveau de lecture

L'âge de lecture doit être apprécié en passation individuelle par un professionnel averti, à l'aide d'un test étalonné. Le test de l'Alouette (lecture en 3 minutes d'un texte sans sens) est le test classique le mieux étalonné (Lefavrais, 2006). Néanmoins, son étalonnage qui tient compte du nombre de mots lus et des erreurs était jusqu'à aujourd'hui exprimé en âge de lecture de 6 ans à l'adolescence. Le nouvel étalonnage est effectué sur un nombre limité d'enfants. Il est pourtant important de traduire le niveau de lecture chronométré en écart-type plutôt qu'en âge de lecture car un retard de lecture de 18 mois ou 2 ans n'a évidemment pas le même sens à 7-8 ans ou à 13 ans. L'absence de sens du texte et les ambiguïtés le rendent très sensible aux dyslexies, qui souvent s'aident du contexte pour avoir une lecture fonctionnelle et sont très pénalisés dans la vitesse. Les subtests de déchiffrement et de compréhension du K-ABC définissent aussi un âge de lecture mais ils ne sont pas chronométrés (Kaufman et Kaufman, 1994a et b). La Batelem-R (également non chronométrée, Savigny, 1996) permet de définir en centile le niveau de déchiffrement (et de transcription phonétique) en fonction du mois de CP-CE1 et CE2, ainsi qu'un niveau de compréhension en lecture silencieuse avec questions ouvertes (Savigny, 1996). La LMC-R (Épreuve d'évaluation de la compétence en lecture-forme révisée) comporte une lecture en 1 minute appréciant l'identification des mots du CE1 à la 5e (mais la trop grande taille de l'écart-type limite son utilisation) (Khomsi, 1999).

Stratégies de lecture

Les données de la littérature (Sprenger-Charolles, sous presse) incitent à évaluer à la fois la précision de lecture (fréquence et type des erreurs), mais aussi pour les mots lus correctement les temps de réaction de lecture. Ces derniers permettront de différencier les procédures d'adressage (plus rapides, ne dépendant ni de la complexité ni de la longueur du mot ou pseudo-mot à lire) et les procédures d'assemblage (lus plus lentement, d'autant plus que le mot est long et complexe). Plusieurs batteries permettent d'explorer les stratégies d'identification de mots, en lien avec les modèles. Certaines donnent rapidement une impression clinique comme la L2MA (précision de lecture de 20 pseudo-mots, 10 mots réguliers et 10 mots irréguliers du CE2 au CM2), ou l'ODEDYS (temps et précision de l'identification de 20 mots réguliers, irréguliers et pseudo-mots du CE1 au CM2), voire la partie IME du

LMC-R. D'autres sont plus précises comme la BELEC (épreuve « MIM » de lecture de 72 items et épreuve « Régul » de 48 mots réguliers et irréguliers étalonné en CE1 et CM1, Mousty et Leybaert, 1999) dont l'analyse quantitative et qualitative permet de définir les effets de longueur, lexicalité, fréquence et complexité en temps et précision, ou bien la BALE (Batterie analyse du langage écrit). Enfin, d'autres batteries très détaillées et informatisées sont les seules à définir précisément le temps d'identification de chaque item (mots réguliers, irréguliers et pseudo-mots différents selon leur longueur, complexité et fréquence), comme l'EVALEC dont l'utilisation aujourd'hui est encore réservée à la recherche (étalonnée de fin de CP à la fin du CM1). Dans les autres batteries comme la BALE ou la BELEC, le facteur temps est apprécié par le chronométrage de listes d'items (en général séries de 6). L'intérêt de ces outils de lecture de listes de pseudo-mots, mots réguliers et irréguliers réside essentiellement dans la mise en évidence des dissociations qui évoquent l'efficience et le déficit des procédures phonologiques ou globales.

Toutes ces batteries nécessitent un niveau de lecture supérieur au CE1 et une analyse également qualitative des erreurs pour apprécier non seulement les stratégies utilisées par l'enfant, mais aussi la nature des erreurs phonologiques (« déjà » → « décha ») ou visuelles (« amie » → « aime »). Par exemple, une régularisation d'un mot irrégulier (« tabac » → « tabak ») évoque une procédure analytique utilisée donc globale déficitaire. La lexicalisation (« boinde » → « blonde ») évoque l'inverse.

Fonctions cognitives sous-jacentes

L'évaluation des compétences cognitives déficitaires sous-jacentes à la dyslexie est indispensable pour orienter la réponse éducative et rééducative. Il s'agit d'apprécier les capacités de l'enfant à discriminer les sons, à les identifier, à segmenter les mots en syllabes et phonèmes, à réaliser des épreuves de suppression de syllabes ou sons dans différents mots ou pseudo-mots et en différentes positions. Les principales batteries de langage écrit permettent d'étudier les compétences phonologiques sous-jacentes en dehors de la discrimination des sons, la mémoire phonologique à court terme. La dénomination rapide peut être explorée par la dénomination de couleurs (outil Stroop, 1935) ou d'images (outil Deno 48) ou de formes (outil Nepsy). En revanche, l'évaluation en clinique des compétences visuo-attentionnelles est limitée aux tests attentionnels classiques comme les tests de barrage et à quelques épreuves complémentaires de l'ODEDYS (discrimination de séquences de lettres). Les épreuves plus spécifiques comme le report partiel et global (Valdois et coll., 2003) ou la précision d'identification du mot selon le point de fixation (Nazir et Aghababian, 2004 ; Ducrot et Lété, 2005) ne sont pas actuellement diffusées en pratique courante.

Dans le même ordre d'idée, toute évaluation du langage écrit doit s'accompagner d'une évaluation du langage oral au niveau du versant réceptif

(compréhension lexicale et syntaxique) et au niveau du versant expressif (production phonologique, syntaxique, évocation lexicale), en plus de l'évaluation des différentes composantes phonologiques.

Compréhension de lecture

La LMC-R comprend également une compréhension de phrases, mais le support imagé constitue une aide non négligeable et ce test est donc insuffisant pour apprécier la fonctionnalité de la lecture, c'est-à-dire la compréhension d'un texte non imagé.

Les autres tests évaluant la compréhension sont plus rares. L'Ecosse de Lecocq (1996) permet de comparer la compréhension de phrases à l'oral et à l'écrit, mais il est très long et très sensible également aux capacités attentionnelles ou de mémoire de travail de l'enfant. Il existe aussi des tests de compréhension de texte soit en lecture oralisée soit en lecture silencieuse comme l'ORLEC ou la Batelem. Nous ne disposons pas d'un test largement étalonné du CP au secondaire permettant de comparer la lecture oralisée (précision, temps et compréhension) et la compréhension en lecture silencieuse.

Orthographe

Des tests d'orthographe étalonnés complètent ces batteries. Il s'agit de dictée de mots réguliers simples (comme « lavabo ») ou plus ambigus (« dans »), irréguliers (« femme »), de pseudo-mots comme la liste des 66 mots de Martinet et Valdois (1998) ; l'ODEDYS comporte une liste de pseudo-mots, mots réguliers et ambigus orthographiquement. La Batelem-R teste l'encodage phono-graphique, l'orthographe lexicale et grammaticale du CP au CE2. La dictée « du corbeau » du L2MA permet de différencier une transcription de syllabes sans sens, une transcription en contexte phonétique, lexicale et grammaticale du CE2 au CM2. Quelle que soit la batterie utilisée, les erreurs doivent être analysées pour comprendre la stratégie utilisée par l'enfant : procédure phonologique utilisée lorsqu'il s'agit d'une erreur phonologiquement plausible (« corbeau » → « corbo »), ou d'une erreur phonologique (→ « cordo »), ou d'une erreur contextuelle (« blessé » → « blesé »), ou procédure globale si un indice orthographique est préservé (« clown » → « clowne »).

Tests spécifiques de graphisme, praxies, perception et production visuelles et spatiales

Comme pour les troubles du langage, la démarche d'évaluation se déroule en deux temps :

- le premier temps nécessite, pour interpréter les résultats de ces tests spécifiques des fonctions non verbales, de vérifier la spécificité des troubles et donc la normalité des fonctions langagières par la pratique d'un test d'intelligence verbale ;

• le second temps consiste à réaliser des tests spécifiques non verbaux qui peuvent être interprétés en relation avec les modèles.

Sur le versant productif, la coordination des gestes et leur planification dans le but d'un geste complexe constituent *stricto sensu* la fonction praxique gestuelle. Lorsque l'activité nécessite une construction visuo-spatiale, il s'agit d'une fonction cognitive mettant en jeu les relations visuo-spatiales dépendant du cortex pariétal. Sur le versant réceptif, outre les fonctions perceptives permettant d'intégrer les différentes modalités sensorielles tactiles et visuelles dans une activité comme recevoir une balle pour la relancer, d'autres fonctions visuelles (gnosies visuelles) et visuo-spatiales (perception des différentes relations topologiques) sont indispensables pour intégrer par exemple la construction complexe. L'acte graphique comporte la nécessité de planifier des gestes précis de la main pour tracer une figure complexe comme la figure de Rey ou les enchaînements calligraphiques, puis la possibilité de construire des relations spatiales. Sur le plan perceptif, dans la situation de copie, toutes les fonctions d'intégration visuelles et spatiales sont en jeu. L'apprentissage de l'écriture est, de plus, très lié à l'apprentissage de l'orthographe.

Les dysgraphies peuvent être isolées, dans le cadre d'un trouble de l'acquisition de la coordination, ou associées à une dyslexie ou un des éléments d'une dyspraxie. Ainsi, il importe de réaliser devant cette plainte, une évaluation à l'aide de tests standardisés.

L'évaluation langagière permet d'affirmer la normalité des fonctions verbales et donc la spécificité du trouble. Les résultats des tests non verbaux cités ultérieurement dans le chapitre peuvent donc être considérés comme spécifiquement déficitaires.

L'évaluation cotée, avec un test étalonné, du graphisme et de l'écriture définit le profil et la gravité des déficits des différentes fonctions visuelles et spatiales. Des tests français existent, pour la plupart issus de tests étrangers.

Le graphisme peut être apprécié par une copie de dessins étalonnés en fonction de l'âge. La copie de dessins de la BREV (4 à 9 ans) est de réalisation rapide mais sommaire, la copie de dessins du VMI (*Visual Motor Integrating test* de Beery) est plus détaillée, ainsi que le Frostig saturé à 7 ans. Les deux figures de Rey A et B offrent une plus grande complexité de planification.

L'écriture peut être évaluée par un test anglophone étalonné dans une population française : ce test, le BHK (Échelle d'évaluation rapide de l'écriture chez l'enfant) (Hamstra-Bletz et coll., 1987 ; Charles et coll., 2003), apprécie la vitesse et la qualité de l'écriture tant en copie que dictée.

L'évaluation spécifique des fonctions visuo-perceptives se fait à l'aide d'un test d'origine anglophone, le DTVP 2. Le versant constructif peut être évalué, outre la copie de figure de Rey (construction en 2 D), par les constructions du test de Benton en 3 D.

Enfin, la coordination gestuelle peut aussi être évaluée par un test étalonné dans une population française, le *Movment* ABC (version française du *Movment Assessment for Children*), qui apprécie la motricité globale et fine.

Les ergothérapeutes et psychomotriciens (ou les neuropsychologues) ont les compétences pour réaliser ces différents tests et en déduire les approches thérapeutiques.

Ces notions, encore insuffisamment mises en pratique, sont d'autant plus importantes que les conséquences d'une dyspraxie dans la vie quotidienne sont considérables[50]. Elles peuvent être fortement diminuées par une reconnaissance précoce du problème qui permet d'expliquer à l'enfant, sa famille, et son enseignant les raisons de sa maladresse, et de favoriser la verbalisation afin de lui permettre de construire autrement les programmes moteurs.

Tests spécifiques de calcul

Le calcul nécessite un fonctionnement complexe. Un âge de développement en calcul peut être déterminé par le subtest « calcul » du K-ABC jusqu'à 12 ans, ou bien par la Batelem-R pour les cycles 2 et 3 (du CP au CE2).

La démarche devant une plainte sur le calcul, qui du reste est rarement isolée, consiste alors également, dans un premier temps, à apprécier la spécificité du trouble par un examen psychologique. Cet examen psychologique déterminera en particulier le niveau intellectuel dont dépendent les capacités de logique et raisonnement. Il donnera également une indication sur le déficit en arithmétique grâce au subtest arithmétique (par exemple des échelles de Weschler). Enfin, il décrira le profil cognitif dans lequel s'inscrit le déficit en calcul, en particulier il déterminera les éventuels déficits en intelligence verbale et empan de chiffres, souvent associés à des difficultés de rappel des faits arithmétiques ou des difficultés avec le facteur verbal (comptine numérique, nom des nombres), ou les déficits non verbaux, souvent associés à des dyscalculies spatiales.

Après cette appréciation du caractère spécifique des difficultés en calcul, il existe plusieurs batteries d'évaluation des différentes fonctions en calcul. Elles sont encore trop généralistes. Seules les plus récentes sont inspirées des modèles neuropsychologiques du calcul, très récents et encore peu validés chez l'enfant. La plus ancienne, l'UDN 2, d'inspiration très piagétienne, explore les capacités en logique, le développement de l'abstraction, les principales notions numériques. Son système de cotation est très complexe et elle ne permet pas de définir un trouble spécifique des facteurs verbaux (oral et écrit), des facteurs analogiques (notion de magnitude du nombre), et de la

50. Voir CD-Rom « Une découverte concrète des troubles spécifiques des apprentissages ».

construction du nombre en code arabe, ni d'évaluer le rappel des faits arithmétiques et les différents transcodages, en référence aux modèles récents neuropsychologiques. Le Numérical, chez l'enfant de CE2 au CM, est plus inspiré par ces modèles neuropsychologiques, mais sa validation en France est très limitée. Le Tédi-math, plus récent, permet mieux de décrire les déficits des enfants en lien avec les modèles neuropsychologiques mais il ne concerne que les jeunes enfants (jusqu'au CE). Le Zareki-R, en cours d'étalonnage, également plus inspiré des modèles neuropsychologiques récents concernera les enfants de primaire.

Tests spécifiques des fonctions attentionnelles

Des tests étalonnés explorant les fonctions attentionnelles, la mémoire de travail, les fonctions exécutives et les fonctions mnésiques à long terme sont disponibles. Ils ont été créés en référence aux modèles d'attention de Baddeley (Baddeley et Logie, 1999). Les tests attentionnels sont particulièrement importants dans les apprentissages, en particulier du fait de la forte comorbidité dyslexie-trouble déficit de l'attention/hyperactivité. Des tests étalonnés permettent de mesurer les fonctions d'attention (soutenue, sélective et divisée) et le contrôle de l'inhibition. En complément de ces fonctions attentionnelles, l'évaluation de la mémoire de travail et des fonctions exécutives sont également disponibles chez l'enfant. L'attention soutenue nécessite un test d'une durée suffisante, faute de quoi, le contrôle actif de l'enfant sous-estime ses difficultés de maintien de l'attention. De nombreux tests de barrage existent avec un étalonnage chez l'enfant, mais ils se présentent pour la plupart dans une version d'une durée d'une minute (barrage des « 3 » de la BREV, attention auditive et visuelle de la Nepsy, barrages de Corkum, barrage des Cloches). Le test de Zazzo est un test de barrage d'une durée de 10 minutes d'attention soutenue et sélective, comme le test « d 2 » utilisable chez l'enfant d'âge scolaire. Plus modernes, les tests informatisés permettent une utilisation sur une durée plus longue (de l'ordre d'une dizaine de minutes) et renseignent donc sur la fluctuation de l'attention à l'aide de différents temps de réaction. Les étalonnages de ces tests ne sont pas en français (Fepsy qui détermine l'attention visuelle et auditive ou, plus complet, le CTP-II, dont l'analyse donne des renseignements détaillés sur la vigilance, l'attention soutenue et sélective et sur le contrôle de l'inhibition). Les données qu'ils fournissent sont précieuses, en particulier pour apprécier les effets du traitement médicamenteux par le méthylphénidate en comparant les scores de l'enfant à lui-même avant et après traitement. Les tests de contrôle de l'inhibition sont des tests « go-no-go » (*tapping* de la BREV, partie B de l'attention auditive de la Nepsy, test de Stroop pour les enfants lecteurs). Les fonctions exécutives peuvent être évaluées par des tests de planification étalonnés chez l'enfant (Tour de Londres, d'Hanoï ou Wisconsin).

Les différents tests appréciant la mémoire de travail comportent les tests d'empan (chiffres à l'endroit et à l'envers, par exemple du WISC pour la boucle phonologique et la mémoire de travail verbale ; ou empan de Corsi pour le calepin visuo-spatial). La fluence, la mémoire narrative et les séquences motrices complètent l'évaluation des fonctions exécutives.

Évaluation du comportement et des troubles émotionnels

La pratique clinique met en lumière la fréquence de la comorbidité des troubles des apprentissages avec les troubles du comportement ou émotionnels. Il ne s'agit pas d'imputer au seul trouble du comportement ou émotionnel, les troubles d'apprentissages, mais d'évaluer également cette dimension pour la prendre en compte dans le projet thérapeutique. Les critères du DSM-IV, les questionnaires, comme le questionnaire d'Achenbach (*Child Behaviour Checklist*), ou les questionnaires de Conners permettent une première approche mais subjective, particulièrement utile pour détecter une hyperactivité ou un trouble attentionnel. Les entretiens psychologiques avec les parents et l'enfant, l'analyse des dessins, éventuellement complétés par les tests projectifs, permettent de mieux cerner les éléments anxieux ou dépressifs ou d'inhibition, ainsi que les manifestations d'agressivité présentés par les enfants. La prise en charge de ces troubles associés, particulièrement importante lorsque l'évolution des troubles des apprentissages n'est pas celle attendue malgré une prise en charge éducative et de soins adéquate, ne doit en aucun cas faire négliger le fait que les adaptations et remédiations pédagogiques et les soins de rééducation restent la prise en charge spécifique.

Démarche du repérage au diagnostic et à la prise en charge et professionnels concernés

Une condition *sine qua non* pour optimiser les prises en charge des enfants peut être proposée. Si l'on se réfère aux âges clés cités précédemment, on peut définir un organigramme qui parte du repérage des troubles au diagnostic (figure 21.1).

Figure 21.1 : Schéma de prise en charge

Le repérage des populations à risques – enfants de moins de 5 ans présentant un trouble spécifique et sans critère de gravité du langage oral par exemple, ou déficit en conscience phonologique et traitement visuel en grande section de maternelle – peut être fait par les enseignants et les médecins de l'enfant (PMI, scolaire, généraliste ou pédiatre). Dans la mesure où il s'agit d'une population à risque et non certainement pathologique, comme en témoignent les pourcentages d'enfants repérés et les valeurs prédictives des tests, les mesures à prendre sont des mesures préventives et non de soins : il peut s'agir de guidance parentale et de suivi par les médecins ambulatoires, et de réponses pédagogiques adaptées en milieu scolaire dans les limites actuelles d'appréciation des bénéfices d'une telle réponse faite avant l'apprentissage de la lecture.

En revanche, le repérage d'un trouble avéré nécessite une démarche en plusieurs étapes pour définir les soins qui sont indispensables. Le trouble avéré peut être : un trouble du langage oral avec un ou plusieurs critères de gravité avant 5 ans ; un trouble de parole ou langage oral après 5 ans ; un trouble d'apprentissage du langage écrit sévère en fin de CP (pas de déchiffrement ou fusion) ; un déficit de plus de 2 ans ou de plus de deux écarts-types dans un test individuel mesurant les aptitudes en langage écrit ; des troubles du

graphisme et du calcul (déficit de plus de deux écarts-types en graphisme ou calcul). La passation d'une évaluation permet de vérifier en individuel la réalité du trouble.

Pour la mise en évidence du caractère spécifique ou non du trouble, la réalisation d'un examen clinique de première intention, à l'aide d'une batterie comme la BREV, est parfois suffisante si tout concorde (pas de déficit de compréhension en langage oral, ni du graphisme, ni de calcul…). Dès qu'un doute existe sur la non-spécificité d'un trouble ou devant tout trouble sévère ou durable malgré une prise en charge adéquate, la réalisation d'un examen psychologique s'impose pour apprécier le comportement et le fonctionnement cognitif à l'aide d'une batterie composite d'intelligence. Bien évidemment, pour cette étape de différenciation des troubles primitifs et secondaires, les facteurs médicaux comme l'audition (audiogramme tonal devant tout trouble de la compréhension ou phonologique persistant), la vision (y compris la coordination oculomotrice), l'existence d'une pathologie neurologique causale (comme une infirmité motrice cérébrale, épilepsie, une phacomatose ou autre cause génétique de pathologie mentale), ou d'un trouble psychiatrique avéré (comme un trouble envahissant du développement), doivent être éliminés.

Ensuite, il s'agit d'évaluer précisément les fonctions altérées par le professionnel concerné : orthophoniste pour le langage, psychomotricien et/ou ergothérapeute pour le graphisme et les praxies, psychologue pour le calcul ou les fonctions attentionnelles. Les évaluations doivent toujours être réalisées à l'aide d'un test étalonné pour l'âge de l'enfant. Les résultats quantitatifs, en précisant le test utilisé pour les différentes fonctions concernées, doivent être donnés précisément en écart-type ou déviation standard par rapport aux normes de la population de référence, ainsi que les altérations qualitatives. La coordination des évaluations, lorsqu'elles sont multidisciplinaires, doit être effectuée par un médecin référent de la famille et expert dans les troubles des apprentissages.

Ces évaluations devront être renouvelées après la prise en charge pour apprécier l'évolution de l'enfant en réalisant les mêmes tests étalonnés dont les résultats comparatifs quantitatifs et qualitatifs permettront d'apprécier objectivement les bénéfices du projet thérapeutique.

En conclusion, les outils français, bien qu'insuffisamment nombreux ou étalonnés dans une population française dans certains domaines comme le calcul, existent et permettent de définir une conduite à tenir devant une plainte concernant les apprentissages : outil de repérage destinés à sensibiliser les professionnels sur certains troubles comme le langage oral, outils de dépistage des difficultés en langage écrit, calcul ou graphisme. Un examen clinique de première intention effectué par un professionnel expérimenté à l'outil et aux pathologies est toujours utile pour vérifier la réalité du trouble,

son profil, sa gravité et déterminer ainsi les évaluations complémentaires nécessaires, à faire réaliser par le professionnel spécialiste. Ce professionnel expérimenté pourra ainsi faire la synthèse des évaluations complémentaires pour proposer le programme thérapeutique le plus adapté aux difficultés de l'enfant selon leur profil, leur gravité et l'âge. Ceci permettra d'éviter des orientations inadéquates (par exemple, n'adresser qu'à l'orthophoniste un trouble du langage qui est secondaire à une psychopathologie ou un déficit intellectuel, sans prise en compte de la pathologie primitive ou un trouble sévère du graphisme). Ceci permettra aussi au professionnel assurant la prescription des bilans et leur renouvellement d'effectuer cette prescription de façon éclairée, de faire la synthèse des différentes évaluations si elles ont été nécessaires (par exemple psychologique et orthophonique), et de mieux assurer la guidance familiale et le suivi de l'enfant dans sa globalité. Cet arbre décisionnel nécessite une sensibilisation de tous les professionnels et une formation suffisante des personnes ressources (en particulier médecins scolaires, pédiatres, psychologues scolaires) aux outils et aux pathologies.

BIBLIOGRAPHIE

ANAES. L'orthophonie dans les troubles spécifiques du langage oral chez l'enfant de 3 à 6 ans. Agence Nationale d'Accréditation et d'Évaluation de la Santé, 2001 : 80 p

AUTESSERRE D, PÉRENNOU G, ROSSI M. Methodology for the transcription and labeling of a speech corpus. *Journal of the International Phonetic Association* 1989, **19** : 2-15

BADDELEY AD, LOGIE R. Working memory: the multiple component model. *In*: Models of working memory. MYAKE A, SHAH P (eds). Cambridge University Press, Cambridge, 1999 : 28-61

BILLARD C, TOUZIN M. Anthony, Clémentine, Saïd et les autres. Une découverte concrète des troubles spécifiques des apprentissages. Cd-Rom de sensibilisation ARTA, Paris, 2003

BILLARD C, VOL S, LIVET MO, MOTTE J, VALLÉE L, GILLET P. The BREV neuropsychological test: Part I. Results from 500 normally developing children. *Developmental Medecine and Child Neurology* 2002a, **44** : 391-398

BILLARD C, MOTTE J, FARMER M, LIVET MO, VALLÉE L, et coll. The BREV neuropsychological test: Part II. Results of validation in children with epilepsy. *Developmental Medecine and Child Neurology* 2002b, **44** : 398-340

BILLARD C, DUCOT B, PINTON F, COSTE-ZEÏTOUN D, PICARD S, WARSZAWSKI J. BREV une batterie d'évaluation des fonctions cognitives : Validation dans les troubles des apprentissages. *Arch Fr Ped* 2006, **13** : 23-31

BOVET F, DANJOU G, LANGUE J, MORELLO M, TOCKERT E, KERN S. Les inventaires français du développement communicatif (IFDC) du nourrisson. *Médecine et Enfance*, 2005a, **25** : 327-332

BOVET F, DANJOU G, LANGUE J, MORELLO M, TOCKERT E, KERN S. Un nouvel outil d'évaluation du développement communicatif du nourrisson. *Médecine et Enfance* 2005b, **25** : 67-74

BRAUN CMJ. Neuropsychologie du développement. Flammarion médecine-sciences, 2000 : 491 p

CARROW E. Test for auditory comprehension of language. Mass, Teaching Resources Corporation. Boston, 1971

CHARLES M, SOPPELSA R, ALBARET J-M. BHK – Échelle d'évaluation rapide de l'écriture chez l'enfant. Éditions et Applications Psychologiques, Paris, 2003 : 74 p

CHEVRIE-MÜLLER C. Questionnaire langage et comportement – 3 ans et demi. *In* : L'état des connaissances. BILLARD C, GILLET P, TOUZIN M (eds). Signes Éditions, livret 2, Paris, 2003 : 45-46

CHEVRIE-MÜLLER C, GOUJARD J. Validation d'une méthode de dépistage précoce des troubles du langage. *ANAE* 1990, **2** : 30-39

CHEVRIE-MÜLLER C, SIMON AM, DECANTE P. Épreuves pour l'examen du langage. Centre de Psychologie Appliqué, Paris, 1981

CHEVRIE-MÜLLER C, SIMON AM, FOURNIER F. Batterie Langage oral, Langage écrit, Mémoire, Attention (L2MA). Éditions du Centre de Psychologie Appliquée, Paris : 1997

CHEVRIE-MÜLLER C, PLAZA M. N-EEL : les Nouvelles Épreuves pour l'Examen du Langage. Les Éditions du Centre de Psychologie Appliquée, Paris, 2001

CHEVRIE-MÜLLER C, SIMON AM, DUFOUIL C, GOUJARD J. Dépistage précoce des troubles de développement du langage à 3 ans et demi : validation de la méthode. *ANAE* 1993, **5** : 82-91

CHEVRIE-MÜLLER C, SIMON AM, LE NORMAND MT, FOURNIER S. Batterie d'évaluation psycholinguistique : I. BEPL A. II BEPL B. Éditions du centre de psychologie appliquée, Paris, 1988

COQUET F. Le dépistage et la prévention du langage à 3 ans. *In* : L'état des connaissances. BILLARD C, GILLET P, TOUZIN M (eds). Signes Éditions, livret 2, Paris, 2003 : 43-44

DE AGOSTINI M, METZ-LUTZ MN, VAN HOUT A, CHAVANCE A, DELOCHE M, et coll. Batterie d'évaluation du langage oral de l'enfant aphasique (ELOLA) : standardisation francaise (4-12 ans). *Revue de neuropsychologie* 1998, **8** : 319-368

DELTOUR JJ, HUPKENS D. Test de vocabulaire actif et passif, TVAP. EAP, Paris, 1980

DELTOUR JJ. Dedale. EAP, Paris, 2000

DELTOUR JJ. TCG test de closure grammaticale. EAP, Paris, 1992

DUCROT S, LÉTÉ B. Le développement des capacités visuo-attentionnelles au cours de l'acquisition de la lecture. *In* : Voir, agir et communiquer : déficit et handicap. COELLO Y, CASALIS S, MORONI C (eds). Presses du septentrion, Lille, 2005 : 181-197

DUNN LM, THERIAULT-WHALEN C. Échelle de vocabulaire en images Peabody : EVIP, Toronto, PSYCAN, 1993

ECALLE J. Timé 2, test d'identification de mots écrits. EAP, Paris, 2000

FERRAND P. PER 2000, Protocole d'évaluation rapide. Ortho Éditions, Isbergues, France, 2000

JONES BL, EBERLE JA. Learning disabilities: diagnostic considerations from an educational perspective. *Seminars in Clinical Neuropsychiatry* 2000, **5** : 157-163

HAMSTRA-BLETZ E, BIE J. DE, BRINKER BPLM DEN. Beknopte beoordelingsmethode voor kinderhandschriften. Lise: Swets & Zeitlinger, 1987

KAMPHAUS RW, PETOSKEY M, ROWE EW. Current trends in psychological testing of children, Professional Psychology. *Research Practise* 2000, **31** : 155-164

KAUFMAN AS, KAUFMAN NL. Administration and scoring manual for the Kaufman assessment battery for children. Circle Pines, AGS, 1983

KAUFMAN AS, KAUFMAN NL. Kaufman brief intelligence test. Circle Pines, AGS, MN, 1990

KAUFMAN AS, KAUFMAN NL. Kaufman survey of early academic and language skills. Circle Pines, AGS, MN, 1993

KAUFMAN AS, KAUFMAN NL. Kaufman functional academic skills test. Circle Pines, AGS, MN, 1994a

KAUFMAN AS, KAUFMAN NL. Kaufman short neuropsychological assessment procedure. Circle Pines, AGS, MN, 1994b

KAUFMAN AS, KAUFMAN NL. Kaufman test of academic achievement normative update. Circle Pines, AGS, MN, 1997

KAUFMAN AS, KAUFMAN NL. Kaufman adolescent and adult intelligence test. Circle Pines, AGS, MN, 1999

KENNY T, GAES G, SAYLOR W, GROSMAN L, KAPPELMAN M, et coll. The pediatric early elementary examination: sensitivity and specificity. *Journal of Pediatric Psychology* 1990, **1** : 21-26

KERN S. Les inventaires français du développement communicatif. *In* : L'état des connaissances. BILLARD C, GILLET P, TOUZIN M (eds). Paris, Signes Éditions, livret 2, 2003 : 41-42

KHOMSI A. Épreuve d'évaluation des stratégies de compréhension en situation orale 0-52. Éditions du Centre de Psychologie Appliquée, Paris, 1987

KHOMSI A. LMC-R : Lecture des mots et compréhension. Éditions du Centre de Psychologie Appliquée, Paris, 1999

KHOMSI A. Évaluation du langage oral (ELO). Éditions du CPA, Paris, 2001

KREMIN H, DELLATOLAS G. Phonological and semantic fluency in children aged 5 to 8. *ANAE* 1996, **36** : 23-28

LECOQ P. Une épreuve de compréhension syntaxico-sémantique. Presse Universitaire du Septentrion, Lille, 1996

LEFAVRAIS P. Test de leximétrie de « la pipe et le rat ». EAP, Paris, 1986

LEFAVRAIS P. Test de leximétrie de l'Alouette, ECPA, Paris, nouvel étalonnage 2006

LOBROT M. ORLEC. Orthographe et Lecture. EAP, Paris, 1988

LOOS-AYAV C, ROY B, BLANC JP, APTEL E, MAEDER C, et coll. Validation d'un test de repérage des troubles du langage et des apprentissages pour l'enfant de 6 ans (ERTLA6), une étude prospective. *Santé Publique* 2005, **17** : 179-189

LYYTINEN H, AHONEN T, EKLUND K, GUTTORM TK, LAAKSO ML, et coll. Developmental pathways of children with and without familial risk for dyslexia during the first years of life. *Dev Neuropsychol* 2001, **20** : 535-554

LYYTINEN H, AHONEN T, EKLUND K, GUTTORM TK, LAAKSO ML, et coll. Early development of children familial risk for dyslexia-follow-up from birth to school age. *Dyslexia* 2004, **10** : 146-178

MARTINET C, VALDOIS S. Dictée de 66 mots à complexité variable, 1998

MILLER LJ, LEMERAND PA, COHN SH. A summary of three predictive studies with the map (miller assessment for preschooler). *The Occupational Therapy Journal of Research* 1987, **7** : 371-380

MOUSTY P, LEYBAERT J. Évaluation des habiletés de lecture et d'orthographe au moyen de la BELEC : données longitudinales auprès d'enfants francophones testés en 2ème et 4ème années. *Revue Européenne de Psychologie Appliquée* 1999, **4** : 325-342

NAZIR T, AGHABABIAN V. Diagnostic des stratégies « déviantes » de lecture. *In* : Apprentissage de la lecture et dyslexies développementales. VALDOIS S, COLÉ P, DAVID D (eds). Solal, Marseille, 2004 : 69-84

OUVRIER R, HENDY J, BORNOHLT L, BLACK FH. SYSTEMS: scholl years screening test for the evaluation of mental status. *J Child Neurol* 1999, **8** : 145-148

SAVIGNY M. Batelem-R. EAP, Paris, 1996

SCARBOUROUGH HS. Connecting early language and literacy to later reading (dis)abilities: evidence, theory, and practice. *In*: Handbook of early literacy research. NEUMAN SB, DIKINSON DK (eds). Guildford Press, New York, 2001 : 97-110

SHAYWITZ SE, FLETCHER JM, HOLAHAN JM, SHNEIDER AE, MARCHIONE KE, et coll. Persistence of dyslexia: the Connecticut Longitudinal Study at adolescence. *Pediatrics* 1999, **104** : 1351-1359

SNOWLING M. Dyslexia. Blackwell Publishing, Oxford, 2000

SPRENGER-CHAROLLES L, SIEGEL LS, BECHENNEC D, SERNICLAES W. Development of phonological and orthographic processing in reading aloud, in silent reading, and in spelling: A four-year longitudinal study. *J Experimental Child Psychology* 2003, **84** : 194-217

SPRENGER-CHAROLLES L, COLÉ P, BÉCHENNEC D, KIPFFER-PIQUARD A. EVALEC : Batterie d'Évaluation diagnostique de la Dyslexie. *European Bulletin of Applied Psychology-Revue Europeenne de Psychologie Appliquée*, sous presse

STROOP JR. Studies of interference in serial verbal reactions. *J Exp Psychol* 1935, **18** : 643-662

TALLAL P. Auditory temporal perception, phonics and reading disabilities in children. *Brain and Language* 1980, **9** : 182-198

TORGESEN JK, RASHOTTE CA, ALEXANDER AW. Principles of Fluency in reading: relationships with empirical outcomes. *In*: Time, fluency and developmental dyslexia. WOLF M (ed). York press, Parkton MD, 2001 : 333-355

VALDOIS S, BOSSE ML, ANS B, CARBONEL S, ZORMAN M, et coll. Phonological and visual processing deficits can dissociate in developmental dyslexia: Evidence from two cases studies. *Reading and Writing* 2003, **16** : 543-572

VELLUTINO FR, FLETCHER JM, SNOWLING MJ, SCANLON DM. Specific reading disability (Dyslexia): what we have learned in the past four decades? *Journal of Child Psychology and Psychiatry* 2004, **45** : 2-40

WECHSLER D. Wechsler intelligence scale for children-third edition: manual. Psychological Corporation, New York, 1991

WEIL-HALPERN F, CHEVRIE-MULLER C, SIMON AM, GUIDET C. NSST. Test d'évaluation des aptitudes syntaxiques. Édition et Applications Psychologiques, Paris, 1983

WOODCOCK RW, JOHNSON MB, MATHER N, MCGREW Z, WERDER JK. Woodcock-Johnson psycho-educational battery-revised. Allen, DLM Teaching Resources, TX, 1991

ZORMAN M, JACQUIER-ROUX M. Bilan de santé évaluation du développement pour la scolarité 5-6 ans (BSEDS 5-6 2003). Grenoble, Laboratoire Cognisciences, 2003

ZORMAN M, LEQUETTE C, POUGET G. Dyslexies : intérêt d'un dépistage et d'une prise en charge précoce à l'école. Évaluation du BSEDS 5-6. *In* : Développement cognitif et troubles des apprentissages. METZ-LUTZ MN, DEMONT E, SEEGMULLER C, DE AGOSTINI M, BRUNEAU N (eds). Solal, Marseille, 2004 : 245-270

22

Bilan des études de prévention en milieu scolaire

De nombreuses études ont évalué les effets d'entraînements ayant pour objectif une réponse de première intention pédagogique effectuée à l'école, soit sur des enfants à risque de difficultés d'acquisition du langage écrit (Ehri et coll., 2001 ; Torgesen et coll., 2001a), soit le plus souvent sur des enfants en situation d'échec en lecture.

Les études sur les facteurs de risque de difficultés d'acquisition de la lecture s'appuient sur les hypothèses génétiques : si un parent est dyslexique, son enfant a environ 50 % de risques d'être dyslexique. L'étude de Scaborough (1990) part d'une cohorte de 32 enfants âgés de 2 ans issus d'une famille avec troubles de la lecture comparée à une cohorte d'enfants issus de familles sans difficultés de même niveau socioculturel. À 8 ans, 65 % du groupe à risque (20 enfants) sont dyslexiques alors qu'ils avaient, par rapport au groupe témoin, le même niveau de vocabulaire, mais des difficultés syntaxiques à 30 mois ainsi qu'une connaissance des lettres, une conscience phonologique et une évocation lexicale déficitaires à 5 ans.

Deux études (Pennington et Lefly, 2001 ; Snowling et coll., 2003) montrent bien qu'au niveau comportemental il n'y a pas de distinction nette entre enfants bons lecteurs et enfants dyslexiques mais un continuum au niveau des performances de lecture. Ainsi, les enfants issus de famille à risque sont à 8 ans diversement lecteurs mais toujours plus en difficulté que les témoins : ils ont un déficit probablement biologique, d'origine génétique, qu'ils compensent plus ou moins selon des facteurs indéterminés. Il n'est probablement pas possible aujourd'hui d'agir sur le facteur biologique, mais les interventions adéquates peuvent aider à compenser les difficultés de lecture. C'est cette compensation que les entraînements visent à favoriser, entre autres actions. Cependant, dans ces études, les facteurs comme la rééducation, les difficultés psychologiques, les liens soins-école ne sont absolument pas pris en compte. Or, leur importance est certainement fondamentale. Dans l'étude danoise d'Arnbak et Elbro (2000), les enfants à risque gardent des difficultés de conscience morphologique et de vitesse d'articulation mais ces difficultés ne retentissent pas sur la connaissance des lettres, peut-être parce qu'ils bénéficient d'un système pédagogique particu-

lier avec plus de temps en jardin d'enfants et un système orthographique différent.

Les bases scientifiques sous-tendant la nature de ces entraînements sont les connaissances acquises en recherche fondamentale sur l'apprentissage de la lecture développées dans les chapitres précédents. Toutes ces études concernent des populations anglophones, donc dans une langue encore moins transparente que le français.

Les enjeux de ces travaux sont essentiels : une réponse pédagogique effectuée en classe ne discrimine pas l'enfant qui en bénéficie, elle est réalisable pour tout enfant sans implication de son milieu socioculturel et n'entraîne pas de coût en terme de santé, à l'inverse d'une réponse de soins. Il est donc indispensable de tenir compte des résultats de ces études : quels sont les entraînements les plus pertinents ? Sur quels enfants agissent-ils ? Quelles sont les qualités et intensités de leurs effets ? Néanmoins, la particularité de notre langue et de notre système éducatif rendra nécessaires des études françaises.

Entraînements : les grandes questions

L'intérêt des entraînements tient à la nécessité d'éviter chez les enfants mauvais lecteurs le « décalage » avec leurs pairs bons lecteurs. En effet, un enfant mauvais lecteur lit moins qu'un bon lecteur en classe, étrange paradoxe et source d'aggravation évidente de ses difficultés. Allington (1983) décrivait qu'à âge égal, un bon lecteur lit 1 933 mots par semaine et un mauvais 16. Cunningham et Stanovitch (1998), comparant les enfants meilleurs lecteurs de CM2 (90e centile) aux plus mauvais de même classe (10e centile), montrent que les bons lecteurs lisent en 2 jours le même nombre de mots que les mauvais lecteurs en 1 an. Ehri et coll. (2001) insistent sur la nécessité de pouvoir décoder correctement un mot nouveau plusieurs fois de suite pour pouvoir, ensuite, le lire globalement et accéder au sens.

Ainsi, il s'agit de ne pas laisser un enfant s'enliser dans le cercle vicieux et agir le plus vite possible chez le mauvais décodeur, ou à risque de le devenir. Les questions à poser sont :

- quels sont les enfants concernés par un entraînement phonologique ?
- les entraînements doivent-ils concerner les déficits spécifiques du décodage ?
- les effets se généralisent-ils sur la compréhension ?

En ce qui concerne les modalités d'entraînement (la taille des groupes, le type d'entraînement, sa durée, son mode – individuel ou en petit groupe –), les tests ou études déterminant l'efficacité de ces différentes modalités donnent des résultats très variables.

En revanche, il y a un consensus dans les études sur les points suivants :
• un travail spécifique sur les compétences phonologiques et la voie d'assemblage, donc un travail auditif et visuel (Ehri et coll., 2001) ;
• un travail explicite (les enfants sans difficultés apprennent de façon implicite), donc répétitif avec « béquilles » ;
• un travail intensif, quotidien avec des petits groupes homogènes (3 à 5) ou individuel ;
• avec valorisation, renforcements positifs.

Lovett et coll. (1990) ont réalisé une étude préliminaire sur 45 enfants randomisés en 2 groupes, entraînés pendant 35 semaines, 60 minutes par jour 4 fois par semaine. Deux programmes étaient comparés, l'un expérimental portant sur le décodage avec l'introduction de mots réguliers puis irréguliers en insistant sur leurs irrégularités *versus* un programme de résolution de problème. Les mots réguliers et irréguliers entraînés (programme sur le décodage) ont été acquis, en lecture ainsi qu'en écriture, avec une meilleure précision et rapidité, mais il n'y a pas réellement de généralisation sur les mots non entraînés.

Résultats des principales études sur les effets de l'entraînement phonologique

Cette partie décrit les résultats des principales études évaluant les effets d'un entraînement dans une population d'enfants mauvais lecteurs.

Méta-analyse du *National Reading Panel*

La méta-analyse de Ehri et coll. (2001) reprend les effets des entraînements à la conscience phonologique portant sur 52 études publiées ayant conduit à 96 travaux comparant les résultats des groupes expérimentaux et témoins. L'analyse de l'importance des effets montre que l'enseignement de la conscience phonologique a un large impact statistique (taille d'effet[51] : d = 0,86) sur son développement. L'effet est plus modéré mais statistiquement significatif sur la lecture (d = 0,53) et l'écriture (d = 0,59). Non seulement l'identification des mots, mais aussi la compréhension est améliorée. L'effet sur la lecture existe dans toutes les conditions de l'entraînement, d'intensité variable. Les effets sont positifs aussi bien chez les enfants qui apprennent à lire normalement, que sur ceux à risque de difficultés et pour ceux qui ont des

51. La taille d'effet correspond à la valeur moyenne du groupe traité moins la valeur moyenne du groupe témoin, divisé par l'écart-type du goupe témoin. Entre 0,20 et 0,50 une taille d'effet est petite, elle est moyenne entre 0,50 et 0,80, et grande au-delà de 0,80.

difficultés, en maternelle ou en CP, quel que soit le milieu socioculturel. Cet enseignement développe aussi l'écriture chez les enfants en difficultés. Les effets les plus marqués sont :

- dans les populations à risques ou normales plutôt que chez les dyslexiques ;
- quand ils associent la conscience phonologique (segmentation, identification, élision…) aux lettres ;
- quand l'enseignement ne porte que sur une ou deux compétences plutôt que sur de multiples ;
- en petit groupe plutôt que individuellement ou en classe ;
- quand il dure entre 5 et 18 heures plutôt que plus longtemps ;
- quand le plan expérimental et l'évaluation ont été plus rigoureux ;
- chez les enfants plus jeunes.

L'enseignement de la conscience phonologique associé à la voie d'assemblage, intensif, spécifique, explicite, en petit groupe à besoin similaire, favorise la lecture et l'écriture chez les enfants en difficultés de décodage.

Pour mieux illustrer les résultats globaux émanant de la méta-analyse du *National Reading Panel*, nous reprenons en détail ci-dessous quelques-unes des études les plus emblématiques.

Études de Vellutino (États-Unis)

Vellutino a réalisé une étude longitudinale partant de la grande section maternelle (GSM) dans 17 écoles d'Albany aux États-Unis, soit 1 284 enfants (classes sociales moyennes et moyennes supérieures) dont 51 % de garçons et 49 % de filles (Vellutino et coll., 1996 et 2004). En novembre du 1er grade (équivalent CP), les maîtres évaluent le niveau de lecture des enfants (niveau 1 : très mauvais ; niveaux 4 et 5 : supérieur à franchement excellent ; niveau 3 : normal). Les enfants avec troubles sensoriels, psychopathologie, déficit intellectuel, pathologie chronique, et anglais en seconde langue sont exclus.

Dans cette étude, 125 enfants sont considérés comme mauvais lecteurs (niveau 1). Une autorisation pour participer à l'étude est donnée pour 90 % de ces enfants. Ces mauvais lecteurs sont appariés dans chaque classe avec un enfant de même sexe de bon niveau de lecture (niveau 3 ou 4). Tous ces enfants sont examinés individuellement avec un test d'identification de mots et de pseudo-mots (WRMT-R). Si l'enfant a un score égal ou inférieur au 15e centile pour ces tests, il est éligible pour le groupe de « mauvais lecteurs » : soit 118 enfants, 70 garçons et 48 filles, tous avec un QI performance (QIP) > 90 lors du test WPPSI-R, soit 9 % des 1 284.

Les normolecteurs ne sont pas entraînés (environ 50 enfants divisés en 2 groupes selon leur QI). Les mauvais lecteurs sont entraînés et revus en deuxième partie de CP (1er grade), puis au début, en première et deuxième

partie de CE1 (2e grade), enfin 1 an après (deuxième partie CE2, 3e grade) et 2 ans après (deuxième partie CM1, 4e grade).

L'entraînement commence à la moitié du CP (1er grade) et finit soit à la fin de l'année scolaire (fin du premier grade), soit au milieu du 2e grade, en fonction des besoins de l'enfant.

L'analyse des compétences en lecture au début de l'entraînement et l'analyse de l'évolution des enfants entre le début et la fin de l'entraînement ont permis de définir 6 groupes : 2 groupes de normolecteurs (un à QI normal, l'autre à QI supérieur) et un groupe à niveau de lecture insuffisant (groupe entraîné) qui a été divisé en 4 sous-groupes selon l'amélioration bonne, très bonne, faible, ou très faible (tableau 22.I).

Tableau 22.I : Récapitulatif des enfants ayant participé à l'étude et description des fonctions cognitives des 6 groupes (d'après Vellutino et coll., 1996 et 2004)

	VIQ[1]	PIQ[2]	Nombre de mots identifiés (écart-type)	Nombre de pseudo-mots identifiés (écart-type)
Normolecteurs Intelligence moyenne 28 enfants	106 (6,7)	107 (9)	37 (13)	12,8 (8,4)
Normolecteurs Intelligence supérieure 37 enfants	121 (8,6)	119 (6)	39 (11)	13,7 (7,5)
Mauvais lecteurs Effets très positifs de l'entraînement 18 enfants	105 (12)	105 (9)	11,5 (5,5)	1,3 (1,7)
Mauvais lecteurs Effets positifs de l'entraînement 19 enfants	104 (10)	106 (13)	11,6 (4,6)	0,8 (0,9)
Mauvais lecteurs Effets faibles 18 enfants	101 (10)	103 (1,9)	6,9 (4,6)	1,0 (1,9)
Mauvais lecteurs Effets très faibles 19 enfants	101 (14,5)	102 (9,8)	4,4 (3,3)	0,7 (2,2)

[1] VIQ : *Verbal intellectual quotient* (écart-type) ; [2] PIQ : *Performance intellectual quotient* (écart-type)

L'hypothèse de travail est que l'entraînement améliorera une partie, mais pas tous les enfants mauvais lecteurs et donc permettra de déterminer le profil différenciant les bons et mauvais répondeurs.

Au début de la GSM, les enfants ont passé une batterie de tests : langage (segmentation phonémique), *Rapid Automatic Naming* (RAN), rapidité

d'articulation, compréhension lexicale, mémoire de phrases, de mots, mémoire visuelle, apprentissage associatif, WPPSI-R, opérations concrètes, attention, *Matching Familiar Test* ; langage écrit (identification de lettres et mots très fréquents réputés comme les plus liés aux performances de lecture en fin de CP) et arithmétique. Tous les enfants dont le score de langage écrit se situe dans le dernier quartile (25 % d'identification) sont considérés comme à risque et participent à l'étude.

En novembre de 1er grade, les enfants mauvais lecteurs sont divisés par tirage au sort en 2 groupes, l'un entraîné (74 enfants), l'autre pas entraîné (42 enfants). Ce groupe d'enfants non entraînés dit « *contrast group* » de mauvais lecteurs bénéficie d'une aide mais sans protocole. Les bons lecteurs n'ont aucun soutien pédagogique autre que leur scolarité ordinaire. L'entraînement est individuel, quotidien, d'une demi-heure, pendant au moins 15 semaines. Le type d'entraînement est décidé individuellement mais il concerne toujours l'identification des mots par le décodage. Il est précisément décrit (Vellutino et Scanlon, 2002). Le groupe qui répondra mal à l'entraînement par rapport au groupe normolecteur est déficitaire en terme de conscience phonologique, dénomination de lettres, mémoire à court terme et RAN, et non en terme de sémantique, syntaxe et visuel ou en QI.

Les résultats montrent que :
- 67 % des mauvais lecteurs entraînés ont, après l'entraînement de 1 ou 2 semestres, un niveau correct de lecture (proche de la moyenne des enfants normaux) ;
- 33 % (12 enfants), soit 1,5 % de l'échantillon de départ, restent mauvais lecteurs donc réellement dyslexiques.

Les enfants aux QI déficitaires (< 90) ou dont l'anglais n'est pas la première langue ont été exclus ; on ne sait pas s'ils auraient bénéficié ou non de cette aide pédagogique.

Les auteurs proposent que la non-réponse à cet entraînement précoce à l'école serait la meilleure façon de différencier les dyslexies réelles des enfants ayant des difficultés d'apprentissage non structurelles. Néanmoins cette approche a l'inconvénient de réduire la dyslexie à ses symptômes. On peut au contraire penser que certains dyslexiques (notamment les moins sévères et ceux d'intelligence supérieure) peuvent bien répondre aux entraînements phonologiques, alors que certains mauvais lecteurs pourraient être de mauvais répondeurs pour des raisons autres que la dyslexie. Il faut donc se garder de faire de la résistance à l'entraînement pédagogique une nouvelle définition de la dyslexie.

Ils soulignent que la prédiction en niveau de lecture et en terme de réponse à l'entraînement est déterminée par les capacités phonologiques dès la GSM et non par les autres compétences intellectuelles, syntaxiques, sémantiques, visuelles. Ces tâches phonologiques distinguent les bons lecteurs des mauvais lecteurs qui répondent mal, mais pas des mauvais lecteurs très bons

répondeurs. Le déficit des tâches phonologiques pourrait être le marqueur du déficit structurel de la dyslexie, définissant le caractère durable et peu sensible aux entraînements.

Dans une conférence présentée à *« the National Research Center on Learning Disabilities »*, Vellutino et coll. (2003) décrivent un entraînement plus précoce en maternelle concernant les enfants les plus en difficultés dans les fonctions cognitives prédictives de la lecture. Les enfants entraînés sont comparés à un groupe témoin sans entraînement autre que leur pédagogie habituelle. Les résultats obtenus dans les compétences phonologiques, la lecture de lettres et les prémices de déchiffrement sont meilleurs en fin d'année scolaire dans le groupe entraîné avec une intensité variable selon la fonction (taille d'effet de 0,50 à 0,65 sur certaines fonctions). Les auteurs précisent qu'un entraînement des « mauvais lecteurs » issus des deux groupes est poursuivi ensuite au niveau du 1er grade. La présentation des résultats ne permet pas de savoir si le groupe d'enfants entraînés dès 5 ans a de meilleurs scores en fin de 1er grade que celui qui n'est entraîné qu'à partir du 1er grade.

Études de Torgesen (États-Unis)

Le challenge pour Torgesen est de se focaliser sur une pratique de lecture structurée pour éviter le cercle vicieux mauvais décodage/pauvreté du stock lexical (Torgesen, 2002 ; Torgesen et coll., 2001a et b). Pour cela, il faut développer les compétences de décodage dès que possible ; mais ensuite, il faut aussi augmenter le stock lexical de mots qui pourront être lus par adressage.

Une première étude (Torgesen et coll., 2001a) concerne 115 enfants de 6 à 12 ans et 8 mois ayant des scores inférieurs au 13e centile en lecture (identification de mots et pseudo-mots au WRMT-R), dont 30 avec 2 ans au moins de retard, quel que soit le QI, participent à l'étude. Ils sont randomisés en deux groupes : expérimental et témoin. Dans une première phase, seul le groupe expérimental suit l'entraînement. Dans une seconde phase, seul le groupe initialement témoin reçoit un entraînement. Tous les entraînements se déroulent en classe, par petits groupes de niveau similaire, et par les enseignants eux-mêmes (après formation spécifique). Les tests servant de critères d'efficacité concernent la conscience phonologique, le décodage, la précision de lecture et l'orthographe. L'entraînement quotidien de 55 minutes (appelé « PAT » : *Phonological Auditory Training*) comporte 30 minutes de conscience phonologique, phonétique et code alphabétique (décomposition, assemblage, en répétant jusqu'à la bonne réponse, les items des plus faciles aux plus difficiles), 15 minutes de lecture et écriture, plus 5 minutes pour le sens. Les enfants entraînés ont une amélioration significative des scores en précision de lecture (pseudo-mots) quel que soit l'âge (environ 15 points standards = 1 écart-type), en compréhension (7,9 à 13,5 points), et très significative en orthographe (de 9,5 à 11,2 points) par rapport au groupe

témoin. Pendant la seconde phase, le groupe non entraîné dans un premier temps, puis entraîné dans un second temps, obtient *in fine* des gains identiques au groupe entraîné en premier qui lui ne progresse plus (tableau 22.II).

Le bénéfice existe quels que soient la gravité du déficit et l'âge, mais il est plus important chez les plus jeunes, sur le décodage et particulièrement sur la compréhension. Les résultats très positifs obtenus chez les enfants de grades 1 et 2 (CP-CE1) montrent les bénéfices potentiels d'une approche pédagogique ciblée en direction de tous les mauvais lecteurs, sans attendre un diagnostic de dyslexie.

La deuxième étude de Torgesen et coll. (2001b) est une étude randomisée concernant 60 enfants, âgés de 8 à 10 ans, dont 75 % environ ont aussi un trouble déficit de l'attention. Là encore, les entraînements considérés sont administrés en classe par les enseignants eux-mêmes (après formation), et par petits groupes.

Deux programmes sont comparés : l'« ADD » (*Auditory Discrimination in Depth* : dérivé de Lindamood et Lindamood, 1984) dans lequel l'entraînement attaque directement la conscience phonémique en laissant les enfants découvrir eux-mêmes les particularités articulatoires, de nombre, d'identité et de séquence des phonèmes dans les mots, en faisant sentir et entendre aux enfants la conscience phonémique pour les aider à décoder ; et l'« EP » (*Embedded Phonics*) qui est un enseignement explicite dans les stratégies de décodage phonémique : conversion lettre-son et fusion. La conscience phonémique est stimulée au cours des épreuves de transcription et d'épellation, et les stratégies d'identification de mots le sont dans les épreuves de lecture de texte. L'entraînement est individuel, pendant environ 8 semaines, 50 minutes par jour soit 67,5 heures. Les effets sont mesurés sur l'identification de pseudo-mots, de mots (précision et vitesse) et la compréhension de texte. Les deux entraînements donnent des résultats similaires. Ils ont de l'effet sur le décodage des pseudo-mots et des mots, sur la précision et la compréhension des textes, mais pas sur la vitesse de lecture du texte. Surtout, les scores deux ans après la fin de l'entraînement sont toujours identiques, alors que les enfants n'ont eu aucune prise en charge particulière.

Les résultats des deux entraînements montrent clairement que la moyenne des scores ne bouge pas dans la période avant l'entraînement (16 mois d'enseignement spécialisé « ordinaire »), ni dans le suivi de deux ans après l'entraînement, mais augmente significativement pendant l'entraînement (scores à 79 au premier et second pré-test ; augmentation de 79 à 89 après les 8 semaines d'entraînement ; passage de 89 à 91 pendant les deux années qui suivent, sans autre prise en charge que la pédagogie ordinaire) (tableau 22.III). À peu près un tiers de l'effectif est encore insuffisamment performant en décodage de pseudo-mots et identification de mots dans un texte, tandis que plus de la moitié ont récupéré un niveau normal d'identification de mots sans contexte.

Tableau 22.II : Scores normalisés avant et après entraînement et gains en scores normalisés (d'après Torgesen et coll., 2001a)

Niveau	Pré-test Grade 1-2	Post-test Grade 1-2	Gain Gr. Entraî*	Gain Gr. Cont**	Pré-test Grade 3-4	Post-test Grade 3-4	Gain Entr.*	Gain témoins**	Pré-test Grade 4-5	Post-test Grade 4-5	Gain Entr.*	Gain témoins**
Précision mots (score)***	89,9	96,3	6,4	4,2	84,7	90,2	5,5	2,0	88,4	93,9	5,5	1,8
Précision pseudo-mots	85,7	101,3	15,6	3,0	81,1	96,2	15,1	0,9	79,6	98,1	18,5	0,6
Texte oralisé	87,5	97,0	9,5	2,5	87,9	100,3	12,4	0,5	86,8	96,5	9,7	5,6
Compréhension silencieuse	87,9	101,4	13,5	2,4	88,4	99,6	11,2	4,5	96,3	104,2	7,9	5,2
Compréhension oralisée	79,0	100,5	21,5	6,5	85,6	97,9	12,3	5,3	85,6	94,4	8,8	-0,3
Vitesse mots	87,1	91,0	3,9	2,8	89,0	93,2	4,2	2,7	85,0	86,5	1,5	2,6
Vitesse pseudo-mots	84,3	93,0	8,7	0,1	79,1	92,9	13,8	0,6	79,9	86,3	6,4	0,4
Vitesse texte oral	85,5	94,5	9,0	4,0	81,5	86,8	5,3	3,4	67,9	81,8	13,9	5,7
Orthographe pseudo-mots (nombre)	0,6	9,3	8,7	0,7	3,5	13,2	9,7	0,2	5,5	14,1	8,6	1,4
Orthographe mots (nombre)	9,0	16,5	7,5	2,5	25,8	31,2	5,4	3,4	36,4	43,1	6,7	4,1

*Gain après l'entraînement du groupe entraîné
**Gain après la même période du groupe non entraîné
***Score établi d'après un score moyen de référence (M = 100)

Tableau 22.III : Scores normalisés en fonction du programme ADD ou EP (d'après Torgesen et coll., 2001b)

	ADD Pré-test	ADD Post-test	ADD Suivi 2 ans	EP Pré-test	EP Post-test	EP Suivi 2 ans
Identification pseudo-mots (score)*	68,5	96,4	91,8	70,1	90,3	89,9
Identification mots	68,9	82,4	87,0	66,4	80,5	83,9
Lecture globale**	69,7	74,5	82,1	67,3	72,7	77,8
Gray ***Précision	73,8	89,4	91,3	77,5	87,5	90,4
Gray*** Vitesse	71,3	75,4	72,7	71,5	72,1	70,7
Gray*** Compréhension	73,3	85,6	87,9	79,4	86	87,2

*Score établi d'après un score moyen de référence (M = 100)
**Lecture globale : appelée en anglais « *sight word* », mots identifiés par adressage
***Gray : un test de compréhension de lecture de différents paragraphes soit oralisée soit silencieuse, étalonnée en terme de précision (nombre d'erreurs), de vitesse et de compréhension

Comme dans le travail de Vellutino et coll. (2004), l'entraînement permet de différencier des bons et des mauvais répondeurs. La figure 22.1 montre l'évolution sous l'effet de l'entraînement et dans le suivi à distance (1 et 2 ans) des différents paramètres de lecture en fonction du classement des élèves dans les 4 quartiles en fin d'entraînement. Sur le plan du décodage, les trois quarts des élèves ont et gardent un niveau normal grâce à l'entraînement, la moitié en terme d'identification des mots et de compréhension et seulement un quart en vitesse.

Ni l'âge, ni le niveau socioculturel n'ont d'influence sur les effets de l'entraînement. Les plus mauvais décodeurs sont ceux qui progressent le plus, mais ceux qui atteignent le meilleur niveau en fin d'entraînement sont quand même les moins faibles au départ.

Les auteurs ont également évalué et comparé des programmes d'entraînement à la conscience phonologique commencés au second semestre de maternelle (Torgesen et Davis, 1996 ; Torgesen et coll., 1999) chez des enfants présentant de faibles compétences phonologiques. Les résultats sont évalués en fin de maternelle, fin de CP et fin de CE1. Ils indiquent une amélioration principalement des compétences phonologiques dans le groupe entraîné et en particulier chez les enfants ayant bénéficié du protocole qui privilégie l'apprentissage de mots à l'apprentissage de texte. Cependant, même avec un entraînement intensif, 24 % de l'échantillon des enfants à risque restent déficitaires en lecture de mots et 21 % en leture.

Figure 22.1 : Résultats de l'entraînement en score global de lecture selon que les enfants aient eu au post-test un score de lecture dans un des 4 quartiles (élevé : quartile supérieur 75e cent ; moyen+ : quartile moyen 50e cent ; moyen - : quartile moyen faible 25e cent ; faible : faible < 25e cent), exprimés en score normalisé (norme : 100) (d'après Torgesen et coll., 2001b)

Torgesen (2002) décrit concrètement les effets positifs d'un programme de repérage et d'aide pédagogique mis en place dans une école en milieu socio-culturellement défavorisé (65 % d'enfants appartenant aux minorités, le plus souvent Afro-américaines et 60 % d'enfants appartenant à des familles à faible revenu). Ce programme n'a été que partiel la première année (1995) puis a été complété la cinquième année, ce qui permet de voir l'évolution du niveau de lecture des enfants au fil de la mise en place du programme. Entre la première année (1995) et la 5e (1999), le pourcentage d'enfants qui avaient un faible niveau de lecture de mots tel que mesuré par un examinateur autre que l'enseignant, a chuté de 31,8 % à 3,7 % en fin de grade 1 et de 14,5 % à 2,4 % en fin de grade 2. D'après l'auteur, l'extension d'une telle pratique dans 20 écoles a fait évoluer le score médian en centile du test de lecture *California Achievement Test* du centile 49 au centile 73. Ses propositions de programme préventif des difficultés de lecture concernent les enfants du jardin d'enfant (*kindergarten*) au grade 3 et sont les suivantes :

- au jardin d'enfants, les enfants présentant un déficit en conscience phonémique et dans la connaissance des correspondances lettres-sons doivent être identifiés et bénéficier d'un soutien à la lecture, associé à un soutien en langage oral si leur vocabulaire est pauvre ;
- à partir du grade 1, l'évolution du niveau de lecture doit être évaluée trois fois par an par un test rapide de décodage et de lecture de mots, associé à un

test de compréhension au grade 2 et 3. Les enfants dont l'évolution est insuffisante doivent bénéficier du programme préventif.

La rapidité est le seul score qui est peu ou pas amélioré. Les programmes préventifs, longs et appliqués à des enfants à risques, entraîne un effet de normalisation, sans qu'on puisse savoir s'il s'agit d'un effet d'autant meilleur que l'enfant est jeune… ou du fait que les enfants n'auraient pas tous eu des difficultés.

Dans un de leurs derniers articles, Torgesen et coll. (2001b) insistent sur la fluidité de lecture insuffisamment améliorée par ces programmes de remédiations. Un autre type d'entraînement semble donc nécessaire pour améliorer ce paramètre.

Études utilisant un outil informatisé

Comme d'autres auteurs, Wise et Olson (2004) soulignent le facteur génétique à l'origine de la dyslexie et principalement si l'on considère le décodage des pseudo-mots et la conscience phonologique (taux d'héritabilité de 71 et 72 %). Devant l'absence de thérapie spécifique de ce déficit génétique, les auteurs proposent une action sur l'environnement pédagogique pour tenter de le pallier. L'objectif des différentes études est de comparer une situation expérimentale où l'enfant bénéficie d'un entraînement explicite informatisé quotidien et une situation ordinaire où l'enfant n'a pas d'autre aide que la pédagogie habituelle : il y a clairement une supériorité des entraînements. Dans une première étude, trois programmes expérimentaux sont proposés. Au fur et à mesure que l'enfant lit, l'ordinateur surligne la rime de début du mot, surligne la segmentation syllabique et surligne le mot entier.

Une première étude montre une supériorité de la condition rime, par rapport aux deux autres conditions, puis une seconde étude plus large ne montre pas de différences entre les trois conditions expérimentales, toutes trois efficaces, avec néanmoins une interaction de la condition de segmentation et de la gravité du déficit en conscience phonologique.

Dans un second travail, ils comparent deux conditions informatisées de 30 minutes par jour pendant 50 sessions, soit 22 heures :
- « *Accurate Reading in Context* » (ARC) entraînant l'utilisation du contexte pour aider l'enfant à lire ;
- « *Phonological Analysis* » (PA) insistant sur le décodage et les compétences phonologiques.

Le PA donne des effets supérieurs sur la conscience phonologique, le décodage et la lecture de mots en temps limité, effet qui persiste au bout de 1 à 2 ans sauf la lecture de mots en temps limité, donc la fluidité de lecture. L'ARC donne des effets supérieurs en lecture de mots en temps limité mais

ces effets disparaissent également au bout de 1 à 2 ans. Le PA est plus efficace sur la lecture en temps limité pour les grades 2 et 3 (CE), et l'ARC pour les grades 5 (CM2).

À l'inverse des travaux de Torgesen et coll. (2001b) et Vellutino et coll. (2004), on n'observe pas ici de maintien de l'effet de l'entraînement. Cependant, l'effet d'un entraînement avec une durée plus brève et par logiciel – et donc un entraînement moins coûteux et plus généralisable qu'une pédagogie ou rééducation – est tout à fait intéressant. Les auteurs proposent d'utiliser précocement le PA sur les plus faibles décodeurs et l'ARC sur les plus âgés pour la fluidité.

Dans l'étude de McCandliss et coll. (2003), l'entraînement qui repose sur le logiciel « *Word building* » est différent, mais touche également le principe alphabétique et les compétences phonologiques : l'enfant a des cartes avec des lettres. Il part d'un mot qu'il sait lire (« sat ») et doit créer des pseudo-mots soit en changeant un phonème, en travaillant sur un seul phonème de paires minimales, avec une attention « ciblée » sur le changement avec lettres (selon les principes établis par la méta-analyse de Ehri) : (« sat » → « cat »), soit en ajoutant un autre (« top » → « stop »), ou élisant (inverse). L'objectif est de favoriser la reconnaissance orale des sons (pour le décodage), et aussi de construire le stock orthographique.

Les 4 mois de *baseline* sans prise en charge particulière permettent la réalisation des tests, puis 20 sessions d'entraînement individuel pendant 50 minutes sont effectuées. Deux groupes sont randomisés : l'un entraîné, l'autre rentrant à nouveau dans le *baseline* pendant 4 mois, puis entraîné ensuite. Trente huit enfants âgés de 7 à 10 ans en fin de CP en école élémentaire urbaine, dont les parents volontaires amenaient les enfants au laboratoire 3 fois par semaine, ont bénéficié de l'entraînement (trouble déficit de l'attention, déficit intellectuel et psychopathologie exclus). Les enfants avaient des scores peu déficitaires < 40e centile dont 20 au 30e. Les résultats sont significatifs en ce qui concerne le groupe entraîné *versus* le groupe témoin sur la lecture de pseudo-mots (6,8 à 14,8 *versus* 6,4 à 7,3), de mots (35,5 à 38,8 *versus* 31,4 à 31,6) et la compréhension (16,6 à 24,3 *versus* 15 à 17,6). Les effets concernent le décodage tant en début que fin de mots, voyelles ou consonnes. Pour les consonnes, il est particulièrement efficace pour les consonnes secondes d'un cluster.

Moore et coll. (2005) montrent qu'un entraînement à la discrimination de paires de sons, chez des enfants normaux (30 entraînés et 30 témoins) âgés de 8 à 10 ans, même de courte durée (12 heures sur 4 semaines), avec de la parole naturelle, améliore les compétences phonologiques, y compris le décodage de pseudo-mots et la discrimination de mots, et ce d'autant plus que les scores initiaux étaient plus faibles. Curieusement, ces améliorations des compétences phonologiques globales n'étaient pas accompagnées d'une amélioration à la tâche de perception catégorielle qui faisait l'objet de

l'entraînement, ce qui suggère que les progrès ne sont pas tant dus à une véritable amélioration des capacités perceptives, qu'à une amélioration des capacités méta-phonologiques induite par la tâche perceptive.

Magnan et Ecalle (2006) ont publié une étude d'entraînement d'enfants à risque en GSM. Cet entraînement informatisé administré en classe utilise un logiciel « *Play On* » (Danon-Boileau et Barbier, 2002) de discrimination auditive et visuelle de paires minimales comme « pa » et « ba ». Il dure 10 heures réparties sur 5 semaines, deux fois 15 minutes par jour, 4 jours par semaine. Cette étude a entraîné les enfants qui étaient au départ les plus mauvais décodeurs et a analysé leurs résultats en comparaison avec ceux d'autres enfants décodant mieux au départ, mais non entraînés. L'entraînement a permis aux enfants entraînés de devenir meilleurs en moyenne que l'autre groupe. Cet entraînement est le seul qui ait été évalué en France. Il a l'intérêt de répondre aux critères de la méta-analyse d'Ehri, d'être facilement réalisable (seulement 10 heures, 1 moniteur pour chaque enfant, éventuellement par petits groupes chacun devant un ordinateur). Cette voie est à continuer en proposant :

- une évaluation d'entraînements similaires en fin de GSM pour les enfants dépistés à risque ;
- une évaluation en seconde partie de CP chez les faibles décodeurs ;
- une évaluation plus large chez de mauvais lecteurs.

Il reste à apprécier si cet entraînement peut, comme dans les travaux de Vellutino et de Torgesen, servir de réponse de première intention à l'école, afin de différencier les enfants en retard – qui après entraînement récupèrent un niveau suffisant – des enfants dyslexiques qui devront avoir une réponse de soins associée à une réponse pédagogique individualisée.

Une autre étude française (en cours de publication) étudie les effets d'un entraînement à l'école des enfants mauvais décodeurs de CE1, en petit groupe à l'aide d'un logiciel spécifique (voir communication de Billard et coll.).

Ces quelques études montrent l'intérêt particulier des outils informatisés pour les entraînements phonologiques. Ceux-ci ne peuvent pas se substituer à un véritable enseignant, mais peuvent venir en complément, notamment dans la mesure où les enfants peuvent les utiliser en dehors du temps scolaire, de manière autonome et non supervisée.

Entraînements à la fluidité et à la morphologie

Comme le montrent Torgesen et coll. (2001b), les entraînements au décodage n'améliorent pas la vitesse de lecture, qui nécessite d'autres types d'entraînements. La revue de la littérature de Meyer et Felton (1999) montre que l'entraînement le plus reconnu comme efficace sur la fluidité

(donc la rapidité de la lecture) est la technique de répétition de lecture : les lettres, mots et phrases lus sont répétés jusqu'à obtenir une certaine vitesse. Plusieurs auteurs décrivent les effets d'un tel entraînement sur la vitesse de lecture d'un texte (entraînement de 6 minutes par jour pendant 6 à 9 mois).

Les entraînements à la fluidité par « *Flashcards* » (Tan et Nicholson, 1997) consistent à faire lire à l'enfant le plus rapidement possible et de façon répétée des mots et des phrases, isolément puis dans un texte. La comparaison d'un groupe entraîné à un groupe témoin (au total 42 enfants mauvais lecteurs de 7 à 10 ans) montre un effet significatif de l'entraînement sur la compréhension, dans la précision et la vitesse de lecture des listes de mots isolés ou dans un texte.

Levy et coll. (1997) étudient 28 enfants mauvais lecteurs de CM1 (score normalisé d'identification de mots moyen de 81,5). Les effets d'un entraînement à la lecture répétée de 72 mots sur la vitesse, la précision et la compréhension de lecture de textes sont mesurés (en comparant les effets sur la lecture d'un texte contenant les mots entraînés dans le groupe expérimental, aux effets sur la lecture d'un texte ne comprenant pas les mots entraînés pour le groupe témoin). Cette étude montre que les enfants lisent plus vite et plus précisément les histoires contenant les mots entraînés, confirmant l'effet de la lecture répétée sur la fluidité. En revanche, la compréhension n'est pas améliorée dans sa première expérimentation ; une deuxième expérimentation limitant le temps d'exposition des mots lors de la lecture répétée à 1,5 seconde aurait plus d'effet sur la compréhension.

Meyer et Felton (1999) font une revue des 15 publications concernant l'entraînement à la fluidité par la lecture répétée et répondent ainsi aux principales questions. La lecture répétée améliore la fluidité de lecture mesurée en nombre de mots par minute, en ce qui concerne les enfants normaux de CE2, ou les enfants de CE1 ayant un décodage correct mais qui sont lents, ou les mauvais lecteurs de fin de primaire. La vitesse de lecture est liée à la qualité du décodage et au RAN (particulièrement chez les bons décodeurs). L'amélioration concerne plus les enfants en difficultés avec le processus orthographique que ceux en difficultés avec le processus alphabétique. La précision de la lecture est également améliorée. Les auteurs s'accordent sur la nécessité de 3 à 4 relectures et sur une durée des sessions de 15 minutes environ, assistées ou non, quel que soit le répétiteur. Toutes les modalités de répétition améliorent la fluidité, mais seule la condition de répétition assistée d'un professeur corrigeant les fautes améliore le niveau d'identification des mots. En revanche, les résultats contradictoires (comme le montrent les deux expérimentations de Levy et coll., 1997) du transfert de l'amélioration de la fluidité sur la compréhension de lecture interdisent aujourd'hui toute conclusion définitive. Il est clair que ces entraînements de la fluidité par la lecture répétée nécessitent au préalable un travail sur le décodage et doivent se faire avec des mots et des textes accessibles au

niveau du décodage de l'enfant. L'entraînement à lire rapidement des mots (en un temps limité comme *Flashcards*), qu'il s'agisse d'une liste ou qu'ils soient dans le cadre d'un texte, améliore la vitesse et la précision de la lecture, sans que l'on puisse conclure sur les effets concernant la compréhension.

Les programmes RAVE-O (Wolf et coll., 2000) et *Decoding pilot program* comportent outre le travail sur le décodage, un travail sur la fluidité et l'accès au sens en lien avec les modèles connectionnistes. Le RAVE-O est constitué de deux parties : RAVE qui insiste sur la signification des mots à travers la conscience des différents sens du même mot selon le contexte, et O qui insiste sur le principe de la fluidité de la reconnaissance orthographique. Le *Great leaps program* propose 5 à 7 minutes quotidiennes de lecture de liste de mots décodables puis de phrases et de textes où, après chaque segment d'une minute, les erreurs de l'enfant sont reprises. L'enfant lit chaque jour le même segment jusqu'à une lecture suffisamment rapide de mots avec moins de 2 erreurs. Enfin, le *Decoding pilot program* consiste, sur une année, à entraîner le décodage, la fluidité, le vocabulaire et la métalinguistique ainsi que l'orthographe. Aucun de ces programmes n'a encore fait l'objet d'une évaluation.

Adaptations pédagogiques

La réponse de l'école aux troubles des apprentissages comporte deux versants : celui de la réponse pédagogique directement destinée à améliorer les déficits que l'enfant présente et dont nous avons fait la revue précédemment, et celui des adaptations pédagogiques qui ont pour objectif de permettre aux enfants de contourner leur handicap en lecture. Ces dernières consistent à tenir compte des difficultés présentées par les enfants du fait de leur trouble des apprentissages et à leur donner les moyens de le contourner pour continuer leurs apprentissages. Il s'agit par exemple de ne pas pénaliser les enfants et adolescents dyslexiques par leurs difficultés en lecture dans les différentes matières, soit en leur lisant les énoncés de mathématiques et les textes de littérature, soit en leur laissant un temps supplémentaire, soit en utilisant la version lecture de la dictée vocale. Il s'agit de ne pas les pénaliser pour les fautes d'orthographe, de limiter les réponses écrites pour qu'ils puissent faire une triple relecture en orthographe (orthographe phonétique, d'usage et grammaticale), du fait de leur difficulté en calligraphie. Ces adaptations sont décrites dans un Cd-Rom de sensibilisation (Billard et Touzin, 2003). Plusieurs académies, en particulier celle de Grenoble et de Rennes, ont édité un guide à l'usage des enseignants ainsi qu'un livret de suivi de l'élève dyslexique, qui sont particulièrement utiles pour permettre à ces enfants de continuer les apprentissages dans de bonnes conditions. Une réflexion en France sur la nature de ces adaptations et sur les critères deman-

dés pour que les enfants puissent en bénéficier est indispensable pour harmoniser ces mesures.

En conclusion, les travaux de la littérature internationale montrent qu'un entraînement en milieu scolaire améliore les compétences des mauvais lecteurs. Une action précoce sur les faibles décodeurs au décodage et à la conscience phonologique aboutit à une amélioration des enfants entraînés, alors que les enfants sans entraînement ne progressent pas. Pour être efficace, cette action doit répondre aux modalités suivantes :

- en petit groupe à besoin similaire ou en individuel ;
- explicite, intensive, avec renforcement positif ;
- associant un travail sur la conscience phonologique et le décodage.

Il est important de souligner qu'une telle prise en charge pédagogique peut être effectuée précocement (dès le milieu du CP), pour tous les mauvais lecteurs, sans attendre un diagnostic de dyslexie. Par ailleurs, cette prise en charge peut être effectuée par les enseignants eux-mêmes, sous réserve qu'ils aient suivi une formation spécifique.

Les modalités d'entraînement ne sont pas forcément aussi longues que celles préconisées par Torgesen, certains entraînements courts à la discrimination des sons ayant également un effet. Néanmoins, le transfert sur la fonctionnalité de lecture n'a pas encore été prouvé. Une réponse pédagogique de ce type permet par ailleurs aux deux tiers environ des enfants entraînés de récupérer un niveau de lecture proche de la normale et ils n'auront plus besoin d'aucune prise en charge. Néanmoins, ces entraînements n'améliorent pas (ou peu) la vitesse de lecture. Les effets notés sur la vitesse et la compréhension dans certaines études semblent seulement liés à l'amélioration du décodage. Les travaux plus récents, et en particulier l'analyse individuelle des réponses à l'entraînement, soulignent l'intérêt de la spécificité de l'entraînement aux déficits précis présentés par l'enfant, ainsi que l'utilisation de compensation comme la morphologie. D'autres entraînements sont donc nécessaires pour améliorer la fluidité, comme la lecture répétée ou en temps limité. Probablement, il faut encore envisager un autre type d'entraînement pour la compréhension. Par ailleurs, la spécificité de la langue française nécessite des études en condition écologique pour prouver les effets et les limites d'entraînements similaires à ceux de la littérature internationale.

BIBLIOGRAPHIE

ARNBAK E, ELBRO C. The effects of morphological awareness training on reading and spelling skills of young dyslexics. *Scandinavian Journal of Educational Research* 2000, **44** : 229-251

ALLINGTON RL. The reading instruction provided readers of differing reading abilities. *Elementary School Journal* 1983, **83** : 548-559

BILLARD C, TOUZIN M. Anthony, Clémentine, Saïd et les autres. Une découverte concrète des troubles spécifiques des apprentissages. Cd-Rom de sensibilisation ARTA, Paris, 2003

CUNNINGHAM AE, STANOVITCH KE. What reading does for the mind. *American Educator* 1998, **22** : 8-15

DANON-BOILEAU L, BARBIER D. Play on: Un logiciel d'entraînement à la lecture. CD-ROM PC: Audivi-Média, 2002

EHRI LC, NUNES SR, WILLOWS DM, VALESKA SXHUSTER B, YAGHOUB-ZADEH Z, SHANAHAN T. Phonemic awareness instruction helps children learning to read: Evidence from the National Reading Panel's meta-analysis. *Reading Research Quaterly* 2001, **36** : 250-287

LEVY BA, ABELLO B, LYSYNCHUK L. Transfer from word training to reading in context: gains in reading fluency and comprehension. *Learning Disability Quaterly* 1997, **20** : 173-188

LINDAMOOD CH, LINDAMOOD PC. Auditory discrimination in depth. Blacklick, Ohio: SRA, 1984

LOVETT MW, WARREN-CHAPLIN PM, RANSBY MJ, BORDEN SL. Training the words recognition skills of reading disabled children: treatment to transfert effects. *Journal of Educational psychology* 1990, **82** : 769-780

MAGNAN A, ECALLE J. Audio-visual training in children with reading disabilities. *Computer and Education* 2006, **46** : 407-425

MCCANDLISS BD, BECK I, SANDAK R, PERFETTI C. Focusing attention on decoding for children with poor reading skills: a study of the Word Building intervention. *Scientific Studies of Reading* 2003, **7** : 75-105

MEYER MS, FELTON RH. Repeated reading to enhance fluency: old approaches and new directions. *Annals of Dyslexia* 1999, **49** : 283-306

MOORE DR, ROSENBERG JF, COLEMAN JS. Discrimination training of phonemic contrast enhances phonological processing in mainstream school children. *Brain and Language* 2005, **94** : 72-85

PENNINGTON BF, LEFLY DL. Early reading development in children at family risk for dyslexia. *Child development* 2001, **72** : 816-833

SCABOROUGH HS. Very early language deficits in dyslexic children. *Child Development* 1990, **61** : 1728-1743

SNOWLING MJ, GALLAGHER A, FRITH U. Family risk of dyslexia is continuous: Individual differences in the precursors of reading skills. *Child Development* 2003, **74** : 358-373

TAN A, NICHOLSON T. Flashcards revisited : Training Poors readers to read words faster improves their comprehension of text. *Journal of Educational Psychology* 1997, **89** : 276-288

TORGESEN JK. The prevention of reading difficulties. *J School psychol* 2002, **40** : 7-26

TORGESEN JK, DAVIES C. Individual difference variables that predict response to training in phonological awareness. *Journal of Experimental Child Psychology* 1996, **63** : 1-21

TORGESEN J, WAGNER R, RASHOTTE C, ROSE E, LINDAMOOD P, et coll. Preventing reading failure in young children with phonological processing disabilities: Group and individual responses to instruction. *Journal of Educational Psychology* 1999, **91** : 579-593

TORGESEN JK, RASHOTTE CA, ALEXANDER AW. Principles of fluency in reading : relationships with empirical outcomes. *In* : Time, fluency and developmental dyslexia. WOLF M (ed). Parkton MD, York press, 2001a : 333-355

TORGESEN JF, ALEXANDER AW, WAGNER RK, RASHOTTE CA, VOELLER KKS, CONWAY T. Intensive remedial instruction for children with severe reading disabilities : immediate and long term outcomes of two instructional approaches. *Journal of Learning Disabilities* 2001b, **34** : 33-58

VELLUTINO FR, SCANLON DM. The Interactive Strategies approach to reading intervention. *Contemporary Educational Psychology* 2002, **27** : 573-635

VELLUTINO FR, FLETCHER JM, SNOWLING MJ, SCANLON DM. Specific reading disability (Dyslexia): what we have learned in the past four decades? *Journal of Child Psychology and Psychiatry* 2004, **45** : 2-40

VELLUTINO FR, SCANLON DM, SIPAY ER, SMALL SG, PRATT A, et coll. Cognitive profiles of difficult-to-remediate and readily remediated poor readers: early intervention as a vehicle for distinguishing between cognitive and experential deficits as basic causes of specific reading disability. *Journal of Educational Psychology* 1996, **88** : 601-638

VELLUTINO FR, SCANLON DM, SMALL S, FANUELE D. Response to intervention as a vehicle for distinguishing between reading disabled and non-reading disabled children: evidence for the role of kindergarten and first grade intervention. Paper presented at the National Research Center on Learning Disabilities Responsiveness-to-Intervention Symposium, Kansas City, MO, December 2003

WISE BW, OLSON RK. Paper prepared for International Workshop on Computer-Based reading Instructional Programs, Paris 16-17/1/2004

WOLF M, MILLER L, DONNELLY K. Retrieval, Automaticity, Vocabulary, Elaboration, orthography (RAVE-0): A comprehensive, fluency based reading intervention program. *Journal of Learning Disabilities* 2000, **34** : 503-512

23

Traitements et méthodes de rééducation de la dyslexie

Le marché de la rééducation de la dyslexie est immense et occupé par une grande diversité de méthodes de rééducation et d'entraînement. Une partie de ces méthodes découlent directement des différentes théories de la dyslexie. Elles ont généralement été proposées par des scientifiques travaillant sur les théories correspondantes, et ont souvent été évaluées scientifiquement. Cependant, un très grand nombre de traitements préconisés pour la dyslexie n'ont fait l'objet d'aucune étude scientifique, ni d'un point de vue théorique, ni du point de vue de l'évaluation de l'efficacité du traitement.

Dans la mesure où le présent rapport a pour ambition de présenter l'état de l'art des connaissances scientifiques sur les troubles des apprentissages, il s'appuie sur des travaux publiés dans les revues scientifiques internationales. Tous les traitements dont l'efficacité a été évaluée et discutée dans la littérature scientifique sont donc analysés. Néanmoins, du fait de leur notoriété ou de leur popularité auprès du public ou de certains professionnels, il paraît nécessaire de mentionner également certains traitements non scientifiquement évalués. Par ailleurs, d'autres traitements présumés existent sur le marché sans être pour autant évoqués ici. Leur absence de ce rapport implique qu'ils n'ont pas été abordés dans la littérature scientifique, et donc que leur efficacité n'a pas été validée scientifiquement. Tous ces traitements non évalués sont à considérer avec la plus grande prudence.

Pour commencer, il est important de rappeler les critères scientifiques qui permettent d'évaluer l'efficacité d'un traitement. En premier lieu, rappelons que les comptes-rendus de cas individuels, qu'ils émanent de professionnels ou des patients eux-mêmes (ou de leurs parents), aussi spectaculaires semblent-ils, n'ont pas valeur de preuve. En effet, ils ne constituent pas une évaluation objective, et quelques cas isolés ne permettent pas de contrôler les nombreux facteurs qui pourraient induire une amélioration. Seules des études de groupes, fondées sur des observations objectives et quantifiées, et appuyées par des statistiques rigoureuses, peuvent éventuellement apporter une preuve d'efficacité. Deuxièmement, l'amélioration d'un groupe subissant un traitement expérimental ne peut s'évaluer dans l'absolu, mais par référence à un groupe témoin. En effet, la plupart des enfants, même dyslexiques, s'amélio-

rent avec le temps. Enfin, le traitement reçu par ce groupe témoin est crucial pour interpréter l'évolution du groupe expérimental. Il est bien connu que les effets placebo[52] et Hawthorne[53] peuvent produire des résultats positifs sans aucun lien avec le traitement présumé. Ceci impose que le groupe témoin reçoive un traitement placebo de durée et d'intensité comparable. De plus, il est recommandé que la répartition entre les groupes, expérimental et témoin soit aléatoire, et que les sujets et expérimentateurs ne soient pas informés de leur groupe d'appartenance. C'est la procédure classique de l'essai clinique contrôlé randomisé en double aveugle. Beaucoup d'essais cliniques de traitements présumés de la dyslexie ne respectent pas (ou pas totalement) ce standard incontournable de la recherche médicale. Enfin, comme un essai contrôlé randomisé en double aveugle peut démontrer un effet positif par le simple fait du hasard, la confiance que l'on peut avoir dans l'efficacité d'un traitement est d'autant plus grande que celle-ci aura été démontrée par plusieurs études indépendantes réalisées sur un grand nombre de personnes, plutôt que par une seule étude réalisée sur un petit nombre de personnes (a fortiori si elle est financée par la société qui vend le traitement).

Rééducations de type orthophonique

Les caractéristiques principales de la rééducation orthophonique de la dyslexie sont :

- l'entraînement des capacités phonologiques de l'enfant ;
- la rééducation de la lecture avec des méthodes souvent différentes de celles possibles en classe ;
- la mise en place de stratégies de compensation pour permettre à l'enfant de contourner les déficits identifiés.

La rééducation orthophonique repose sur des principes généraux issus des connaissances scientifiques acquises et validées au cours des dernières années (Shankweiler et coll., 1979 ; Snowling, 1981 ; Frith, 1986 ; Vellutino, et coll., 2004). Ces mêmes principes ont inspiré des programmes d'entraînement en langue anglaise qui ont été évalués chez les enfants dyslexiques (Vellutino et coll., 1996 ; McCandliss et coll., 2003).

De ce fait, il y a de manière générale de fortes présomptions d'efficacité des types les plus courants de rééducation orthophonique pratiquées en France.

52. L'effet placebo est le résultat d'une mesure thérapeutique d'efficacité intrinsèque nulle ou faible, sans rapport logique avec la maladie, mais agissant, si le sujet pense recevoir un traitement actif, par un mécanisme psychologique ou psycho-physiologique.

53. On appelle effet Hawthorne les résultats, positifs ou négatifs, qui ne sont pas dus aux facteurs expérimentaux, mais à l'effet psychologique que la conscience de participer à une recherche et d'être l'objet d'une attention spéciale exerce sur le sujet ou sur le groupe expérimental.

Néanmoins, la rééducation orthophonique telle que pratiquée en France, c'est-à-dire le plus souvent en cabinet, n'a pas encore fait l'objet d'évaluation scientifique dans le traitement de la dyslexie. Il y a là une lacune importante des recherches qui devrait impérativement être comblée.

Le fait que la rééducation orthophonique se déroule individuellement, avec un(e) orthophoniste ayant bénéficié d'une formation spécifique, permet, au-delà des programmes génériques d'entraînement de la phonologie et de la lecture, de développer un programme de rééducation sur mesure, fondé sur un bilan précis des compétences et des faiblesses de l'enfant, et d'exécuter ce programme dans des conditions optimales d'interactivité permettant une adaptation en temps réel aux besoins de l'enfant. Cette particularité essentielle de la prise en charge orthophonique ne peut a priori qu'augmenter son efficacité, par rapport aux programmes d'entraînement administrés en classes ou en groupes, qui sont évalués dans la littérature scientifique. Néanmoins, il existe une grande diversité de pratiques orthophoniques qui devraient donc être évaluées et comparées entre elles, en prenant en compte les modalités de leur mise en œuvre, afin de mieux cerner les bonnes pratiques, et être en mesure de mieux guider la pratique orthophonique.

Dans le cadre des évaluations nécessaires de la rééducation orthophonique, il serait également important d'évaluer l'intensité optimale de cette rééducation. Les travaux issus de la littérature internationale portant sur des programmes d'entraînement pédagogiques (informatisés ou non) appliqués à des enfants « mauvais lecteurs » montrent qu'une certaine intensité est requise pour atteindre une efficacité raisonnable (typiquement, 4 à 5 séances par semaine) et que, moyennant cette intensité, de bons résultats peuvent être obtenus sur des durées de rééducation relativement courtes (de l'ordre de 6 semaines). La question de la fréquence des séances et de la durée du programme de la rééducation orthophonique pour les enfants dyslexiques mériterait donc d'être évaluée très rigoureusement.

À défaut de véritables évaluations scientifiques de la pratique orthophonique, on peut s'appuyer sur les études qui s'apparentent le plus à de la rééducation orthophonique d'enfants dyslexiques, à savoir les entraînements intensifs de la phonologie et de la lecture. Cela inclut les études décrites dans le chapitre précédent, qui portaient sur des enfants « mauvais lecteurs ». Ces études ne s'adressaient pas spécifiquement à des enfants dyslexiques, mais en incluaient inévitablement. Par ailleurs, nous rapportons ci-dessous quelques études contrôlées d'entraînement d'enfants dyslexiques.

Entraînement audiovisuel à l'identification des syllabes orales et écrites

Cet entraînement informatisé, administré en classe, utilise un logiciel « *Play On* » (Danon-Boileau et Barbier, 2002) de discrimination auditive et

visuelle de paires minimales comme « ba » et « pa » (Magnan et coll., 2004). Il dure 10 heures réparties sur 5 semaines, deux fois 15 minutes par jour, 4 jours par semaine. Son évaluation a été réalisée chez 14 enfants dyslexiques âgés de 100 et 145 mois avec un niveau de lecture à « La pipe et le rat »[54] entre 77 et 94 mois.

Les enfants ont été randomisés en 2 groupes : un groupe entraîné les 5 premières semaines et l'autre non entraîné, puis les groupes ont été permutés afin que chacun bénéficie de l'entraînement. Le travail montre un effet clair de l'entraînement (figure 23.1).

Figure 23.1 : Courbe d'évolution des scores des enfants au Timé 2 (d'après Magnan et Ecalle, 2004)

Cette étude a été répliquée dans deux nouveaux groupes de 7 enfants dyslexiques en école spécialisée dans laquelle les enfants bénéficiaient d'une prise en charge orthophonique en plus de l'entraînement informatisé (Magnan et Ecalle, 2006). Les améliorations observées restent du même ordre, à ceci près que les enfants s'améliorent également dans la période sans entraînement, du fait certainement de la rééducation orthophonique. Il semble que dans cette étude les bénéfices de la rééducation orthophonique et de l'entraînement informatisé aient été additifs.

Enfin, les mêmes auteurs ont effectué une étude complémentaire comparant deux nouveaux groupes d'enfants dyslexiques, l'un suivant toujours le même entraînement informatisé à l'école, au rythme de 30 minutes par jour, 4 jours par semaine pendant 5 semaines, l'autre suivant le même entraînement à la maison, à leur propre rythme, pendant la même durée (Magnan et Ecalle,

54. Test de lecture semi-collectif à partir du CP

2006). Les résultats donnent un avantage au groupe entraîné à la maison. Ceci semble dû au fait que le groupe entraîné à la maison a bénéficié d'un entraînement plus intensif que celui entraîné à l'école (spontanément ou sous le contrôle des parents). Ce résultat suggère à la fois qu'une plus grande intensité des entraînements pourrait être encore plus profitable à l'enfant, et que cette plus grande intensité peut être obtenue justement grâce à la souplesse des outils informatiques, qui peuvent être utilisés aussi bien à l'école qu'à la maison, aux horaires et au rythme qui conviennent le mieux à l'enfant.

Si ces études sont très encourageantes, il faut néanmoins rester prudent : les améliorations sont statistiquement significatives mais elles restent faibles en valeur absolue. Dans l'étude de Magnan et Ecalle (2004) par exemple, les améliorations sont constatées sur un test facile (Timé 2), consistant à reconnaître un mot parmi des intrus phonologiques ou visuels ou sans rapport, en incluant les réponses phonologiquement plausibles. Ce test ne permet pas bien de voir les effets sur la fonctionnalité de la lecture : les enfants améliorent leurs scores d'environ 5 réponses et arrivent à un score en moyenne de 31 pour un score maximum de 36, alors qu'ils sont sévèrement dyslexiques. Par ailleurs, les auteurs évoquent une grande variation individuelle mais ne la décrivent pas dans leur étude.

On est donc loin d'un véritable « traitement » complet de la dyslexie. Il faut plus voir ce type d'entraînement informatique comme un outil complémentaire de la rééducation orthophonique qui peut en renforcer utilement les effets.

Entraînement de la morphologie

L'utilisation de la morphologie pour aider l'enfant dyslexique en fin de primaire à compenser ses difficultés phonologiques semble très prometteuse, comme le suggère le travail d'Arnbak et Elbro (2000). En effet, l'extrême difficulté pour le dyslexique à utiliser le code grapho-phonologique en lecture (compétences phonologiques déficitaires) invite à l'aider à utiliser le code grapho-sémantique, c'est-à-dire les unités de sens que sont les morphèmes qu'il a encodés (par exemple, il a encodé le digraphe « en » dans « dent », il peut en déduire « dentiste, dentier… »). Or, la majorité des mots que nous utilisons est plurimorphémique (« re » dans reprendre, relire, revendre, redire… ou bien « lait » dans laitage, laitier, laiterie, allaitement…). L'apprenti-lecteur, dès les débuts de la lecture, utilise des unités morphémiques pour lire (Casalis et coll., 2004). Une maîtrise parfaite du décodage n'est donc pas nécessaire pour recourir aux unités morphémiques. Un entraînement par groupe de 12 heures de 60 collégiens dyslexiques sur l'extraction des unités morphémiques, bases, préfixes, suffixes, à l'oral et écrit, améliore le déchiffrage (test de l'Alouette) et la compréhension (test

de Lobrot), de façon hétérogène, indépendamment du niveau intellectuel et des compétences phonologiques, en corrélation avec le niveau de vocabulaire (Colé et coll., 2005).

Rééducations auditives

Les différentes théories explicatives de la dyslexie fondées sur le rôle de l'audition ont donné lieu à des méthodes de rééducation mettant en jeu la discrimination des sons.

Rééducation du traitement auditif temporel

La théorie selon laquelle les dyslexiques (et les dysphasiques) souffrent d'un déficit du traitement auditif temporel (Tallal et Piercy, 1973 ; Tallal, 1980) a naturellement engendré des entraînements visant à rééduquer leur perception auditive. La plus célèbre de ces méthodes est le programme américain *Fast ForWord (Scientific Learning Corporation*, 1997). Il s'agit d'un programme informatique comportant plusieurs types de jeux. L'un d'eux est un entraînement à la discrimination de séquences auditives temporelles, les autres sont des jeux fondés sur le langage et entraînant les capacités phonologiques (comme bien d'autres programmes de type « orthophonique »). La particularité de ces derniers est d'utiliser la parole modifiée pour la rendre plus intelligible aux enfants qui auraient un déficit de traitement auditif temporel. Dans cette parole modifiée, les sons brefs et les transitions rapides (essentiellement dans les plosives) sont amplifiés et allongés. Le degré d'amplification et d'allongement, comme la difficulté des jeux, est varié de manière adaptative, sur la base de la performance de chaque enfant. Une première évaluation de *Fast ForWord* conduite par ses propres auteurs sur des petits groupes d'enfants dysphasiques a suggéré que l'entraînement purement auditif en combinaison avec l'entraînement phonologique avec la parole modifiée amélioraient significativement les performances auditives d'une majorité de ces enfants (Merzenich et coll., 1996), ainsi que leurs capacités de langage oral (Tallal et coll., 1996).

Néanmoins, l'essentiel de *Fast ForWord* est constitué de jeux de parole visant à renforcer les capacités de discrimination phonétique et de conscience phonologique, comme dans l'orthophonie traditionnelle. Un effet positif du programme pourrait donc être attribué à sa composante phonologique plus que strictement auditive. Pour tester cette hypothèse, ces auteurs ont comparé les performances de deux groupes de 11 enfants, l'un suivant l'entraînement avec la parole modifiée, l'autre avec la parole normale. Les résultats suggèrent des progrès significativement supérieurs pour le groupe suivant l'entraînement avec la parole modifiée (Tallal et coll., 1996), ce qui

renforce l'hypothèse selon laquelle la rééducation du traitement auditif temporel est cruciale. Ces résultats encourageants doivent toutefois être modérés par un certain nombre de limitations méthodologiques (Gillam, 1999), notamment :

- les petits effectifs des groupes étudiés ;
- l'absence d'expérimentation en double aveugle (pour l'étude contrôle avec/sans parole modifiée) ;
- le fait que les chercheurs ayant réalisé les études de validation scientifique sont les principaux actionnaires de l'entreprise (*Scientific Learning*) commercialisant le programme.

Des études complémentaires, à plus grande échelle, mieux contrôlées, et éventuellement indépendantes, apparaissent nécessaires pour valider de manière définitive ce traitement.

Suite aux premiers résultats, le programme a été commercialisé à grande échelle aux États-Unis et au Canada. Les données recueillies sur plus de 15 000 enfants ont été centralisées par les chercheurs de *Scientific Learning*, et des résultats spectaculaires sont régulièrement annoncés dans les conférences scientifiques, sur le site Internet de *Scientific Learning*, ainsi que dans des articles de revue de la littérature (Tallal et coll., 1998 ; Tallal, 2004). Pourtant, ces données qui, par leur poids quantitatif, permettraient d'asseoir (ou de rejeter) définitivement cet entraînement, n'ont à ce jour pas été soumises à la littérature scientifique expertisée par des pairs.

En parallèle, un certain nombre de groupes indépendants ont effectué des études visant à tester l'efficacité de *Fast ForWord* ou de programmes comparables s'en inspirant, la plupart sur des enfants dysphasiques, parfois sur des enfants dyslexiques. La majorité de ces études notent une amélioration des performances langagières absolues de ces enfants, mais qui n'est pas significativement supérieure à celle obtenue par des rééducations plus standards (type orthophonie) (Friel-Patti et coll., 2001 ; Gillam et coll., 2001) ou à celle d'un groupe témoin suivant l'entraînement sans parole modifiée (Habib et coll., 2002 ; Bishop et coll., 2005), voire même à celle d'un groupe témoin ne subissant aucun traitement expérimental (Hook et coll., 2001 ; Troia et Whitney, 2003 ; Cohen et coll., 2005 ; Bishop et coll., 2006 ; Strehlow et coll., 2006). Certaines études n'ont même observé aucune amélioration des performances en lecture chez des enfants dyslexiques (Agnew et coll., 2004 ; Pokorni et coll., 2004). Ainsi, les résultats des études indépendantes sont loin des résultats spectaculaires annoncés par *Scientific Learning* : au mieux, ils sont équivalents à ceux d'une rééducation traditionnelle, au pire ils sont nuls.

Bien sûr, beaucoup de ces études indépendantes souffrent, comme les études originales de *Scientific Learning*, d'un certain nombre de limitations, notamment au niveau des effectifs. Il est donc probable que la puissance statistique de ces études soit insuffisante pour répondre clairement à la question posée.

À ce titre, l'étude qui est de loin la plus importante en nombre et également l'une des mieux contrôlées est celle du groupe d'Edimbourg (Cohen et coll., 2005), qui a porté sur 77 enfants avec des troubles spécifiques du langage sévères : 23 enfants suivant le programme *Fast ForWord*, 27 enfants suivant un autre programme informatique d'entraînement du langage, et 27 enfants ne recevant aucun traitement expérimental (les enfants des 3 groupes continuant à suivre leur scolarité et leur rééducation orthophonique habituelle). Cette étude n'a observé aucun effet significatif de *Fast ForWord* ni de l'autre programme informatisé par rapport au groupe témoin.

À l'issue de ces différentes études, la question de l'efficacité du programme *Fast ForWord* reste toujours en suspens. Si tant est que des effets positifs puissent être constatés, il est probable qu'ils soient dus largement à la composante linguistique du programme, plutôt qu'à sa composante auditive. A fortiori, lorsque l'on considère les controverses actuelles sur la présence ou non de déficits auditifs chez les enfants dyslexiques et sur la nature de leurs déficits auditifs lorsqu'ils en ont, l'intérêt d'un entraînement spécifique du traitement auditif temporel paraît discutable.

Méthode Tomatis

La méthode Tomatis est une méthode de stimulation auditive qui a été préconisée pour beaucoup de troubles d'apprentissages et notamment la dyslexie. Cette méthode repose sur une conception de l'audition (Tomatis, 1963) qui n'a aucun fondement scientifique. Un petit nombre d'études indépendantes faiblement contrôlées ont été conduites sur divers groupes d'enfants avec des troubles d'apprentissage, mais elles présentaient d'importants problèmes méthodologiques. Une seule étude a été normalement évaluée et publiée dans la littérature scientifique, et n'a observé aucun progrès sur les mesures de langage (Kershner et coll., 1990). Une méta-analyse de toutes les études ne permet pas de conclure à un effet positif de la méthode (Gilmor, 1999).

Sémiophonie (ou méthode Lexiphone)

La sémiophonie (Beller, 1974) est une méthode de rééducation intensive dont le principe fondamental est une stimulation auditive (le « son paramétrique ») qui ne repose sur aucun principe scientifique connu. Elle utilise un appareil nommé Lexiphone pour produire cette stimulation auditive. De plus, la rééducation incorpore aussi une exposition structurée à de la parole (syllabes, mots et pseudo-mots), de la musique, ainsi qu'à des textes lus, de la lecture guidée et de l'écriture. À ce jour, aucun essai clinique contrôlé n'a été publié dans la littérature scientifique (un essai clinique est en cours en France). Une étude a été publiée dans une revue associative, rap-

portant des progrès significatifs pour le groupe expérimental (Lloyd et Nicholson, 2003). Néanmoins, le groupe témoin ne bénéficiant d'aucun traitement contrôlé, on ne sait pas si les effets observés peuvent être dus à l'effet placebo ou pas. Enfin, comme pour *Fast ForWord*, s'il s'avérait que le traitement a une certaine efficacité, il faudrait encore tenter de départager les contributions respectives du « son paramétrique » et de la partie plus traditionnelle portant sur la parole et la lecture.

Rééducations visuelles

Plusieurs méthodes de rééducation de la dyslexie portent sur les capacités visuelles et visuo-attentionnelles.

Occlusion d'un œil

Deux essais cliniques contrôlés randomisés en double aveugle ont été conduits par Stein et ses collaborateurs (Stein et Fowler, 1985 ; Stein et coll., 2000) sur des enfants à la fois dyslexiques et présentant une instabilité binoculaire (mesurée par le test de Dunlop, 1972). Dans la seconde étude, les enfants du groupe expérimental devaient porter des lunettes teintées jaune pâle dont l'œil gauche avait été occulté, alors que les enfants du groupe témoin devaient porter les mêmes lunettes teintées jaune pâle, sans œil occulté. Les résultats indiquent une amélioration significativement plus grande des performances en lecture du groupe expérimental par rapport au groupe témoin, et que ces effets positifs persistent pendant au moins 9 mois après le traitement (Stein et coll., 2000). Ces résultats, qui gagneraient à être répliqués indépendamment, suggèrent que l'occlusion d'un œil peut être un traitement efficace pour les enfants dyslexiques qui souffrent d'un problème d'instabilité binoculaire avéré (et seulement pour ceux-là).

Lentilles, lunettes et transparents teintés

Il a été suggéré depuis longtemps que le port de lunettes ou lentilles teintées peut améliorer la lecture de personnes dyslexiques qui auraient des symptômes visuels (Irlen, 1991), mais sans preuve scientifique. L'élaboration de la théorie du stress visuel (Wilkins, 1995 ; Wilkins et coll., 2004) a conduit à un essai clinique sur un petit échantillon de personnes présentant à la fois des troubles d'apprentissage et un stress visuel (Bouldoukian et coll., 2002). Cet essai visait à mesurer l'efficacité de transparents de couleur appliqués sur une page de texte pour la réduction des symptômes de stress visuel et l'amélioration de la vitesse de lecture. Chaque sujet de cet essai a testé les effets d'une part d'un transparent témoin filtrant les ultraviolets (administré

comme placebo), et d'autre part d'un transparent de couleur choisi individuellement de manière à minimiser les symptômes de stress visuel. Les résultats montrent que les sujets lisent significativement plus vite (d'environ 4 %) avec le transparent de couleur qu'avec le transparent placebo (Bouldoukian et coll., 2002). Ces effets, modestes et qui demandent à être répliqués indépendamment, suggèrent que l'utilisation d'un transparent dont la couleur a été optimisée individuellement peut avoir des effets bénéfiques sur la lecture, pour les personnes qui souffrent d'un stress visuel. À ce propos, il est bon de rappeler que le stress visuel n'est pas la dyslexie, certaines personnes en étant affectées sans être dyslexiques, et vice-versa. Un tel traitement ne peut donc être préconisé au mieux que pour les personnes souffrant effectivement de stress visuel.

Stimulation hémisphérique spécifique

Bakker (1992) a proposé qu'il existe deux types de dyslexie, un type « linguistique » (L) caractérisé par un usage déficient de l'hémisphère gauche, et un type « perceptif » (P) caractérisé par un usage déficient de l'hémisphère droit. Bien que cette théorie reste totalement isolée au sein de la littérature scientifique, Bakker s'est appuyé sur cette théorie pour proposer un traitement de la dyslexie, appelé « stimulation hémisphérique spécifique », qui consiste à stimuler spécifiquement celui des deux hémisphères cérébraux qui est présumé déficient chez un enfant donné, en présentant de manière brève (tachistoscopique) et répétée des mots dans le champ visuel opposé. Des données expérimentales faiblement contrôlées sont venues à l'appui de l'efficacité de ce traitement (Bakker et coll., 1990 ; Bakker, 1992). Une étude indépendante sans groupe témoin a également rapporté des effets positifs du traitement, et ce quel que soit l'hémisphère stimulé (celui présumé déficient ou l'autre), ce qui va à l'encontre de la théorie de Bakker et suggère que les effets seraient non spécifiques (par exemple attentionnels) (Dryer et coll., 1999).

Récemment, de nouvelles études ont suggéré une efficacité significative de ce traitement chez un groupe de 12 enfants dyslexiques italiens présentant une mini-héminégligence gauche, comparé à une rééducation orthophonique traditionnelle (au contenu et à l'intensité non précisés toutefois) (Facoetti et coll., 2003). Encore une fois, il a été montré que le côté de la stimulation, s'il avait un impact sur les capacités visuo-attentionnelles, n'en avait pas sur les scores en lecture (Lorusso et coll., 2005). Une autre étude sans groupe témoin a de plus suggéré que la présentation centrale des stimuli entraînait au moins autant de progrès que la présentation latérale (Lorusso et coll., 2004). Ainsi, si un tel traitement a un effet sur la lecture, cela ne peut être en raison de la stimulation spécifique d'un hémisphère cérébral. L'effet pourrait être dû à une amélioration générale des capacités visuo-attentionnelles, chez des enfants qui au départ présentent une mini-héminé-

gligence gauche, ou bien une amélioration générale des capacités attentionnelles. Peut-être que les effets d'un tel traitement sont, bien que dans une modalité différente, comparables à ceux obtenus par l'entraînement (perceptivement inefficace) de la discrimination phonémique (Moore et coll., 2005). Néanmoins, la réalité des progrès observés en lecture demande à être confirmée sur des études à plus grande échelle comportant un groupe témoin recevant un autre traitement (placebo ou orthophonique) d'intensité comparable.

Rééducation audiovisuelle non linguistique

Inspirés par les théories sensorielles de la dyslexie et par le programme *Fast ForWord* impliquant notamment un entraînement purement auditif, Kujala et coll. (2001) ont mis au point un programme d'entraînement sensoriel plus radical car ne comportant aucun son de parole. En revanche, l'un des principes de leur programme était de renforcer les connexions entre représentations auditives et visuelles en effectuant un entraînement à l'appariement inter-modal. L'entraînement consistait à apparier des séquences de tons variant en fréquence et en durée, et des séquences de rectangles variant en hauteur et en épaisseur (la hauteur symbolisant la fréquence et l'épaisseur la durée). À l'issue de 7 semaines de traitement, une amélioration de la lecture plus importante a été observée dans le groupe entraîné par rapport au groupe témoin. Des corrélats neurophysiologiques de cette amélioration ont été mis en évidence. Néanmoins, dans cette étude le groupe témoin ne subissait aucun traitement particulier, donc on ne peut conclure si l'effet de ce traitement audiovisuel est différent de l'effet placebo.

Rééducations motrices ou proprioceptives

Les systèmes moteurs et propriocepteurs ont aussi fait l'objet de méthodes de rééducation.

Rééducation de la motricité et de l'équilibre

La clinique DDAT, basée à Kenilworth en Grande-Bretagne, déclare avoir mis au point une rééducation du cervelet et du système vestibulaire inspirée de la théorie cérébelleuse de la dyslexie (Nicolson et coll., 2001). Le contenu de cette rééducation n'est pas disponible en détail pour cause de secret commercial, mais elle comporte notamment des exercices d'équilibre sur une planche, des exercices de lancer et de récupération d'objets, des exercices de coordination et de doubles tâches, ainsi que des étirements. Une évaluation de cette rééducation a été rapportée dans la littérature scientifique

(Reynolds et coll., 2003). Des progrès ont été observés dans le groupe expérimental particulièrement sur des mesures d'équilibre et de motricité, et beaucoup plus faiblement sur des mesures de lecture. Néanmoins, cette étude est très problématique d'un point de vue méthodologique car le groupe témoin n'a subi aucun traitement. De plus, les troubles de lecture des enfants témoins étaient beaucoup plus modérés, la plupart n'étant pas dyslexiques. On ne peut rien conclure de cette étude quant aux effets potentiels d'une rééducation de ce type.

Rééducation des réflexes archaïques

Il a été suggéré qu'il y aurait un lien causal entre la persistance des réflexes archaïques et les troubles d'apprentissage (Morrison, 1985). Les réflexes archaïques sont des réflexes présents à la naissance qui peuvent être essentiels à la survie du nourrisson (par exemple la succion), mais qui disparaissent ou évoluent avec le développement cérébral au cours de la première année de vie. Plusieurs dizaines de réflexes archaïques ont été décrits. La persistance de tels réflexes au-delà de 12 mois peut indiquer une atteinte neurologique et des troubles moteurs (Holt, 1991). McPhillips et Sheehy (2004) ont évalué la persistance d'un réflexe archaïque particulier (le réflexe tonique asymétrique du cou) au sein d'un échantillon représentatif de 409 enfants âgés de 9 à 10 ans, en comparant en particulier les enfants se situant au-dessous du 10e centile en lecture (mauvais lecteurs), à ceux des 10 % médians et à ceux situés au-dessus du 90e centile. Ils ont observé que la persistance maximale du réflexe était observée chez 17 % des enfants mauvais lecteurs, et chez aucun des enfants des deux autres groupes. Au sein du groupe de mauvais lecteurs, ceux qui répondaient à un critère diagnostique de la dyslexie présentaient une fréquence plus élevée (60 %) de persistance du réflexe tonique asymétrique du cou, mais ce n'était pas le cas pour les quelques dyslexiques présents dans le groupe médian. Ainsi, les auteurs suggèrent que la persistance de réflexes archaïques pourrait être associée à la dyslexie (McPhillips et Sheehy, 2004).

Sur la base de cette observation, McPhillips et coll. (2000) ont effectué un essai clinique contrôlé randomisé en double aveugle d'un traitement consistant à répéter régulièrement des mouvements liés à quatre réflexes archaïques, de manière à faire disparaître ces réflexes. Le groupe placebo répétait des mouvements similaires mais ne présentant aucun lien avec des réflexes archaïques, et il y avait également un groupe témoin ne subissant aucun traitement. Le critère d'inclusion des enfants dans cet essai était à la fois d'être dyslexique (selon un critère pré-établi) et de présenter une persistance du réflexe tonique asymétrique du cou. Les auteurs ont observé une réduction du réflexe tonique asymétrique du cou et des progrès significatifs en lecture chez le groupe expérimental par rapport au groupe placebo.

Bien entendu, la focalisation de l'étude sur des enfants dyslexiques présentant une persistance de réflexes archaïques n'autorise pas de généralisation à l'ensemble des enfants dyslexiques, et la prévalence de la persistance de réflexes archaïques demanderait à être confirmée. On peut également s'interroger sur la nature de l'effet observé. En l'absence d'hypothèse précise sur le lien entre réflexes archaïques et lecture, il semble plausible qu'il s'agisse d'un effet indirect. Par exemple, si les enfants présentant une persistance de réflexes archaïques souffrent de troubles moteurs, et que le traitement proposé améliore la motricité, il peut s'ensuivre un gain de confiance et d'estime de soi qui change l'attitude et les performances de l'enfant dans de multiples domaines scolaires et extra-scolaires, entre autres la lecture. Dans ce cas, on en conclura que le traitement des réflexes archaïques n'est pas un traitement des troubles de lecture en tant que tels, mais des troubles moteurs ou d'autres symptômes associés à la dyslexie. Dans l'état actuel de l'art, les données disponibles sont insuffisantes pour répondre à ces questions.

Rééducation de la proprioception

Il existe une théorie proprioceptive de la dyslexie selon laquelle un syndrome de déficience posturale est la cause des troubles de lecture dans la dyslexie (Martins da Cunha, 1979). Cette théorie n'a à ce jour pas été exposée ni évaluée dans la littérature scientifique. Sans que l'on puisse l'affirmer faute de données, il est possible que les symptômes décrits par cette théorie soient les mêmes, ou soient liés aux troubles posturaux et d'équilibre évoqués dans la théorie cérébelleuse (Nicolson et coll., 2001), et/ou à la persistance de réflexes archaïques évoquée par McPhillips et coll. (2004). Une étude publiée dans une revue professionnelle française rapporte que 100 % des enfants dyslexiques examinés présentent un syndrome de déficience posturale (Quercia et coll., 2005), mais sans aucune référence à un groupe témoin. Une nouvelle étude incluant un groupe témoin rapporte des troubles de l'équilibre statique chez environ 50 à 60 % des enfants dyslexiques testés (Pozzo et coll., 2006). Il s'agit là de résultats relativement comparables à ceux rapportés dans le cadre de la théorie cérébelleuse (Nicolson et coll., 2001). En revanche, le lien entre les troubles d'équilibre observés par Pozzo et coll. (2006) et le syndrome de déficience posturale évalué par Quercia et coll. (2005) n'est pas clair, les deux études employant des protocoles très différents.

Une méthode de rééducation issue de la théorie proprioceptive a été publiée en France à destination des ophtalmologistes (Quercia et coll., 2004). Elle implique le port de lunettes à prismes, le port de semelles compensées et la répétition de certains mouvements. Les motivations théoriques conduisant à associer ces trois types d'intervention restent relativement obscures. On ne sait pour l'instant rien de l'efficacité de cette méthode. Un essai clinique est en cours.

Sur la base des données disponibles sur les rééducations motrices et des réflexes archaïques qui semblent relativement voisines, on peut se hasarder à faire l'hypothèse que le syndrome de déficience posturale est une autre manière de définir les troubles moteurs et d'équilibre évoqués précédemment, que ce syndrome est associé à la dyslexie (ainsi qu'à tous les troubles développementaux), quoique certainement pas avec une comorbidité de 100 %. Et si le traitement préconisé a réellement un effet sur le syndrome de déficience posturale, alors il peut éventuellement produire des effets indirects bénéfiques chez les enfants qui en souffrent. Néanmoins, on voit mal ce traitement être en mesure de guérir tous les enfants dyslexiques comme il en est fait la publicité.

Traitements médicamenteux ou nutritifs

Plusieurs médicaments et compléments nutritifs ont fait l'objet d'essais cliniques sur des enfants dyslexiques.

Méthylphénidate

Le méthylphénidate, actuellement indiqué pour les troubles attentionnels et hyperactifs, a également fait l'objet de plusieurs essais cliniques sur des enfants dyslexiques. Il n'a pas montré d'effet positif sur les enfants dyslexiques « purs », sans trouble d'attention ou hyperactivité (Gittelman et coll., 1983).

Antihistaminiques

Se basant sur une théorie cérébelleuse-vestibulaire de la dyslexie (Levinson, 1988), il a été suggéré que les médicaments pour le mal des transports (les antihistaminiques) pourraient soigner la dyslexie (Levinson, 1991). Un essai clinique testant l'effet de la méclozine n'a pas confirmé cette hypothèse (Fagan et coll., 1988).

Piracétam

Le piracétam est une molécule qui est réputée stimuler certaines capacités cognitives. Des effets positifs du piracétam sur la lecture de texte et sur la mémoire verbale des enfants dyslexiques ont été démontrés dans plusieurs essais cliniques avec contrôle placebo (Helfgott et coll., 1986 ; Tallal et coll., 1986 ; Wilsher et coll., 1987), quoique pas dans tous (Ackerman et coll., 1991). Diverses préparations de piracétam ont reçu des autorisations de mise sur le marché en France (pas aux États-Unis), l'indication principale

étant pour les troubles neurosensoriels liés à l'âge. Néanmoins, la commission de la transparence a jugé son service médical rendu insuffisant.

Il est bien évident qu'il ne s'agit pas ici d'effets spécifiques. Si le piracétam produit bel et bien un effet positif significatif sur le fonctionnement cognitif, il doit, comme beaucoup de psychostimulants, produire ces effets chez la plupart des sujets, et uniquement de manière temporaire. Il ne peut donc être considéré comme un traitement pour la dyslexie.

Acides gras polyinsaturés

Dans le cadre de sa théorie magnocellulaire, John Stein (2001) a proposé que les magnocellules requièrent une forte concentration d'acides gras polyinsaturés pour maintenir la perméabilité de leur membrane et donc leurs capacités de réponses rapides. Il a ainsi émis l'hypothèse qu'un supplément nutritif d'acides gras polyinsaturés pourrait compenser les déficiences intrinsèques des magnocellules des personnes dyslexiques. En parallèle, certaines études ont rapporté de faibles concentrations d'acides gras dans le sang d'enfants avec trouble déficit de l'attention/hyperactivité (Stevens et coll., 1995), mais la plupart des essais cliniques de suppléments nutritifs pour ces enfants ont été infructueux (Stevens et coll., 2003). Richardson et Puri (2002) ont conduit un essai clinique sur des enfants avec troubles d'apprentissage dont une grande proportion étaient également dyslexiques et présentaient des troubles déficit de l'attention/hyperactivité. Le groupe expérimental a reçu des comprimés contenant une combinaison de différents acides gras polyinsaturés (oméga-3 et 6), le groupe placebo prenant des comprimés d'huile d'olive. La seule mesure de l'étude était un questionnaire portant sur divers symptômes liés à l'inattention et l'hyperactivité. Les auteurs ont rapporté une diminution significative de ces symptômes, particulièrement d'inattention, dans le groupe expérimental par rapport au groupe placebo. Aucune donnée présentée ne permet d'évaluer d'éventuels gains en lecture. On ne peut donc actuellement rien conclure sur les éventuels effets des acides gras polyinsaturés sur la dyslexie.

Psychothérapies

Il n'existe pas de traitement psychothérapique de la dyslexie abordé dans la littérature scientifique. Néanmoins, il est impossible de ne pas aborder cette approche, compte tenu de sa popularité auprès d'une partie des professionnels.

Lorsqu'un enfant présente des troubles anxieux, dépressifs ou divers troubles de comportement, cela peut engendrer une grande variété de symptômes. Dans certains cas, l'un des symptômes peut être une difficulté à apprendre à lire. Mais il s'agit de toute évidence de troubles non spécifiques à la lecture et de nature très différente de ceux qui rentrent dans le cadre de la définition de

la dyslexie. Afin d'éviter les confusions et d'offrir à chaque enfant la prise en charge optimale pour lui, ce type de troubles doit simplement être diagnostiqué comme tel, pas comme une dyslexie. L'exception étant une co-occurrence avérée entre par exemple des troubles anxieux et une dyslexie, auquel cas les deux diagnostics sont appropriés.

Enfin, il faut garder à l'esprit que beaucoup d'enfants dyslexiques souffrent de leurs échecs scolaires, ce qui peut bien sûr entraîner, de manière secondaire, des troubles anxieux, dépressifs ou de comportement (Arkowitz, 2000). Dans ce cas, ces troubles doivent être diagnostiqués comme tels et pris en charge (Glantz, 1983 ; Arnold et coll., 2005) (comme d'ailleurs pour tous les enfants, dyslexiques ou pas).

En résumé, les troubles anxieux, dépressifs ou de comportement ne sont pas des causes de la dyslexie. Néanmoins, chez les dyslexiques qui en présentent, ils doivent bien sûr faire l'objet d'un diagnostic et d'une prise en charge adaptée. On ne doit attendre de ces prises en charge qu'une amélioration des troubles psychologiques associés à la dyslexie, et non du trouble de lecture lui-même, qui doit toujours faire l'objet d'une prise en charge spécifique et à l'efficacité scientifiquement prouvée.

En conclusion, la plus grande prudence est requise vis-à-vis de tous les traitements préconisés pour la dyslexie et les troubles des apprentissages, la plupart n'ayant pas été évalués scientifiquement, ou ayant été évalués mais donnant des résultats peu différents d'un placebo. Même les méthodes orthophoniques classiques souffrent d'une absence regrettable d'évaluation scientifique. Seules quelques-unes d'entre elles (fondées sur la rééducation des capacités phonologiques et de la lecture) ont été formalisées, structurées et évaluées aux États-Unis et ont ainsi pu être validées scientifiquement.

Outre ces quelques méthodes de type orthophonique qui n'ont pas d'équivalent direct français, quelques autres méthodes se focalisant sur des symptômes associés à la dyslexie (visuels ou moteurs) ont également été validées scientifiquement, par des études souvent isolées qui demanderaient à être répliquées. Il semble qu'il faille en attendre surtout des effets positifs sur les symptômes qui sont la cible du traitement, et seulement de manière indirecte éventuellement sur la lecture. Dans tous les cas, aucune de ces méthodes ne peut être préconisée pour tous les enfants dyslexiques, mais seulement pour ceux qui présentent clairement les symptômes visés.

BIBLIOGRAPHIE

ACKERMAN PT, DYKMAN RA, HOLLOWAY C, PAAL NP, GOCIO MY. A trial of piracetam in two subgroups of students with dyslexia enrolled in summer tutoring. *J Learn Disabil* 1991, **24** : 542-549

AGNEW JA, DORN C, EDEN GF. Effect of intensive training on auditory processing and reading skills. *Brain and Language* 2004, **88** : 21-25

ARKOWITZ SW. The overstimulated state of dyslexia: perception, knowledge, and learning. *J Am Psychoanal Assoc* 2000, **48** : 1491-1520

ARNBAK E, ELBRO C. The effects of morphological awareness training on reading and spelling skills of young dyslexics. *Scandinavian Journal of Educational Research* 2000, **44** : 229-251

ARNOLD EM, GOLDSTON DB, WALSH AK, REBOUSSIN BA, DANIEL SS, et coll. Severity of emotional and behavioral problems among poor and typical readers. *J Abnorm Child Psychol* 2005, **33** : 205-217

BAKKER DJ. Neuropsychological classification and treatment of dyslexia. *Journal of Learning Disabilities* 1992, **25** : 102-109

BAKKER DJ, BOUMA A, GARDIEN CJ. Hemisphere-specific treatment of dyslexia subtypes - a field experiment. *Journal of Learning Disabilities* 1990, **23** : 433-438

BELLER I. La sémiophonie. Maloine, Paris, 1974

BISHOP DVM, ADAMS CV, ROSEN S. Resistance of grammatical impairment to computerized comprehension training in children with specific and non-specific language impairments. *International Journal of Language & Communication Disorders* 2006, **41** : 19-40

BISHOP DVM, ADAMS C, LEHTONEN A, ROSEN S. Effectiveness of computerised spelling training in children with language impairments: a comparison of modified and unmodified speech input. *Journal of Research in Reading* 2005, **28** : 144-157

BOULDOUKIAN J, WILKINS AJ, EVANS BJ. Randomised controlled trial of the effect of coloured overlays on the rate of reading of people with specific learning difficulties. *Ophthalmic Physiol Opt* 2002, **22** : 55-60

CASALIS S, COLE P, SOPO D. Morphological awareness in developmental dyslexia. *Ann Dyslexia* 2004, **54** : 114-138

COHEN W, HODSON A, O'HARE A, BOYLE J, DURRANI T, et coll. Effects of computer-based intervention through acoustically modified speech (Fast ForWord) in severe mixed receptive-expressive language impairment: outcomes from a randomized controlled trial. *J Speech Lang Hear Res* 2005, **48** : 715-729

COLÉ P, CASALIS S, LEUWERS C. Les stratégies compensatoires chez le lecteur dyslexique : L'hypothèse morphologique. *Rééducation Orthophonique* 2005, **222** : 165-186

DANON-BOILEAU L, BARBIER D. Play on: Un logiciel d'entraînement à la lecture. CD-ROM PC: Audivi-Média, 2002

DRYER R, BEALE IL, LAMBERT AJ. The balance model of dyslexia and remedial training: An evaluative study. *Journal of Learning Disabilities* 1999, **32** : 174-186

DUNLOP P. Dyslexia: The orthoptic approach. *Australian J Orthoptics* 1972, **12** : 16-20

FACOETTI A, LORUSSO ML, PAGANONI P, UMILTA C, MASCETTI GG. The role of visuospatial attention in developmental dyslexia: evidence from a rehabilitation study. *Brain Res Cogn Brain Res* 2003, **15** : 154-164

FAGAN JE, KAPLAN BJ, RAYMOND JE, EDGINGTON ES. The failure of antimotion sickness medication to improve reading in developmental dyslexia: results of a randomized trial. *J Dev Behav Pediatr* 1988, **9** : 359-366

FRIEL-PATTI S, FROME LOEB D, GILLAM RB. Looking ahead: An introduction to five exploratory studies of Fast Forword. *American Journal of Speech-Language Pathology* 2001, **10** : 195-202

FRITH U. A developmental framework for developmental dyslexia. *Annals of Dyslexia* 1986, **36** : 69-81

GILLAM RB. Computer-assisted language intervention using Fast ForWord: Theoretical and empirical considerations for clinical decision-making. *Language, Speech, and Hearing Services in Schools* 1999, **30** : 363-370

GILLAM RB, FROME LOEB D, FRIEL-PATTI S. Looking back: A summary of five exploratory studies of Fast Forword. *American Journal of Speech-Language Pathology* 2001, **10** : 269-273

GILMOR T. The efficacy of the Tomatis method for children with learning and communication disorders: A meta-analysis. *International Journal of Listening* 1999, **13** : 12-23

GITTELMAN R, KLEIN DF, FEINGOLD I. Children with reading disorders--II. Effects of methylphenidate in combination with reading remediation. *J Child Psychol Psychiatry* 1983, **24** : 193-212

GLANTZ K. The use of relaxation exercises in the treatment of reading disability. *J Nerv Ment Dis* 1983, **171** : 749-752

HABIB M, REY V, DAFFAURE V, CAMPS R, ESPESSER R, et coll. Phonological training in children with dyslexia using temporally modified speech: a three-step pilot investigation. *International Journal of Language & Communication Disorders* 2002, **37** : 289-308

HELFGOTT E, RUDEL RG, KAIRAM R. The effect of piracetam on short- and long-term verbal retrieval in dyslexic boys. *Int J Psychophysiol* 1986, **4** : 53-61

HOLT KS. Child development: Diagnosis and assessment. Butterworth-Heinemann, London, 1991

HOOK PE, MACARUSO P, JONES S. Efficacy of fast forword training on facilitating acquisition of reading skills by children with reading difficulties - a longitudinal study. *Annals of Dyslexia* 2001, **LI** : 75-96

IRLEN H. Reading by the colors: Overcoming dyslexia and other reading disabilities through the Irlen method. Avery, New York, 1991

KERSHNER JR, CUMMINGS RL, CLARKE KA, HADFIELD AJ, KERSHNER BA. 2-Year evaluation of the tomatis listening training-program with learning-disabled children. *Learning Disability Quarterly* 1990, **13** : 43-53

KUJALA T, KARMA K, CEPONIENE R, BELITZ S, TURKKILA P, et coll. Plastic neural changes and reading improvement caused by audiovisual training in reading-impaired children. *Proc Natl Acad Sci USA* 2001, **98** : 10509-10514

LEVINSON HN. Dramatic favorable responses of children with learning disabilities or dyslexia and attention deficit disorder to antimotion sickness medications: four case reports. *Percept Mot Skills* 1991, **73** : 723-738

LEVINSON HN. The cerebellar-vestibular basis of learning disabilities in children, adolescents and adults: hypothesis and study. *Percept Mot Skills* 1988, **67** : 983-1006

LLOYD P, NICHOLSON J. Lexiphone therapy - an auditory intervention approach to treating dyslexia. *Dyslexia Review* 2003, **14** : 18-22

LORUSSO ML, FACOETTI A, MOLTENI M. Hemispheric, attentional, and processing speed factors in the treatment of developmental dyslexia. *Brain and Cognition* 2004, **55** : 341-348

LORUSSO ML, FACOETTI A, TORALDO A, MOLTENI M. Tachistoscopic treatment of dyslexia changes the distribution of visual-spatial attention. *Brain and Cognition* 2005, **57** : 135-142

MAGNAN A, ECALLE J. Audio-visual training in children with reading disabilities. *Computer and Education* 2006, **46** : 407-425

MAGNAN A, ECALLE J, VEUILLET E, COLLET L. The effects of an audio-visual training program in dyslexic children. *Dyslexia* 2004, **10** :131-140

MARTINS DA CUNHA H. Syndrome de déficience posturale. Masson, Paris, 1979

MCCANDLISS BD, BECK I, SANDAK R, PERFETTI C. Focusing attention on decoding for children with poor reading skills: a study of the Word Building intervention. *Scientific Studies of Reading* 2003, **7** : 75-105

MCPHILLIPS M, SHEEHY N. Prevalence of persistent primary reflexes and motor problems in children with reading difficulties. *Dyslexia* 2004, **10** : 316-338

MCPHILLIPS M, HEPPER PG, MULHERN G. Effects of replicating primary-reflex movements on specific reading difficulties in children: a randomised, double-blind, controlled trial. *Lancet* 2000, **355** : 537-541

MERZENICH MM, JENKINS WM, JOHNSTON P, SCHREINER C, MILLER SL. Temporal processing deficits of language-learning impaired children ameliorated by training. *Science* 1996, **271** : 77-81

MOORE DR, ROSENBERG JF, COLEMAN JS. Discrimination training of phonemic contrasts enhances phonological processing in mainstream school children. *Brain and Language* 2005, **94** : 72-85

MORRISON DC. Neurobehavioural and perceptual dysfunction in learning disabled children. Lewiston, NY, Hogrefe, 1985

NICOLSON RI, FAWCETT AJ, DEAN P. Dyslexia, development and the cerebellum. *Trends Neurosci* 2001, **24** : 515-516

POKORNI JL, WORTHINGTON CK, JAMISON PJ. Phonological awareness intervention: Comparison of Fast ForWord, Earobics, and LiPS. *Journal of Educational Research* 2004, **97** : 147-157

POZZO T, VERNET P, CREUZOT-GARCHER C, ROBICHON F, BRON A, QUERCIA P. Static postural control in children with developmental dyslexia. *Neuroscience Letters* 2006, **403** : 211-215

QUERCIA P, ROBICHON F, DA SILVA OA. Dyslexie de développement et proprioception : approche clinique et thérapeutique. Beaune, Graine de lecteur, 2004

QUERCIA P, SEIGNEURIC A, CHARIOT S, VERNET P, POZZO T, et coll. Proprioception oculaire et dyslexie de développement. À propos de 60 observations cliniques. *J Fr Ophtalmol* 2005, **28** : 713-723

REYNOLDS D, NICOLSON RI, HAMBLY H. Evaluation of an exercise-based treatment for children with reading difficulties. *Dyslexia* 2003, **9** : 48-71

RICHARDSON AJ, PURI BK. A randomized double-blind, placebo-controlled study of the effects of supplementation with highly unsaturated fatty acids on ADHD-related symptoms in children with specific learning difficulties. *Prog Neuropsychopharmacol Biol Psychiatry* 2002, **26** : 233-239

SCIENTIFIC LEARNING CORPORATION. Fast ForWord. Scientific Learning Corporation, Oakland, CA, 1997

SHANKWEILER D, LIBERMAN IY, MARK LS, FOWLER CA. The speech code and learning to read. *Journal of Experimental Psychology: Human Learning and Memory* 1979, **5** : 531-545

SNOWLING MJ. Phonemic deficits in developmental dyslexia. *Psychological Research* 1981, **43** : 219-234

STEIN JF. The magnocellular theory of developmental dyslexia. *Dyslexia* 2001, **7** : 12-36

STEIN J, FOWLER S. Effect of monocular occlusion on visuomotor perception and reading in dyslexic-children. *Lancet* 1985, **2** : 69-73

STEIN JF, RICHARDSON AJ, FOWLER MS. Monocular occlusion can improve binocular control and reading in dyslexics. *Brain* 2000, **123** : 164-170

STEVENS L, ZHANG W, PECK L, KUCZEK T, GREVSTAD N, et coll. EFA supplementation in children with inattention, hyperactivity, and other disruptive behaviors. *Lipids* 2003, **38** : 1007-1021

STEVENS LJ, ZENTALL SS, DECK JL, ABATE ML, WATKINS BA, et coll. Essential fatty-acid metabolism in boys with attention-deficit hyperactivity disorder. *American Journal of Clinical Nutrition* 1995, **62** : 761-768

STREHLOW U, HAFFNER J, BISCHOF J, GRATZKA V, PARZER P, RESCH F. Does successful training of temporal processing of sound and phoneme stimuli improve reading and spelling? *European Child & Adolescent Psychiatry* 2006, **15** : 19-29

TALLAL P. Auditory temporal perception, phonics, and reading disabilities in children. *Brain and Language* 1980, **9** : 182-198

TALLAL P. Improving language and literacy is a matter of time. *Nature Reviews Neuroscience* 2004, **5** : 721-728

TALLAL P, PIERCY M. Defects of non-verbal auditory perception in children with developmental aphasia. *Nature* 1973, **241** : 468-469

TALLAL P, CHASE C, RUSSELL G, SCHMITT RL. Evaluation of the efficacy of piracetam in treating information processing, reading and writing disorders in dyslexic children. *Int J Psychophysiol* 1986, **4** : 41-52

TALLAL P, MERZENICH MM, MILLER S, JENKINS IH. Language learning impairments: integrating basic science, technology, and remediation. *Exp Brain Res* 1998, **123** : 210-219

TALLAL P, MILLER SL, BEDI G, BYMA G, WANG X, et coll. Language comprehension in language-learning impaired children improved with acoustically modified speech. *Science* 1996, **271** : 81-83

TOMATIS AA. L'Oreille et le langage. Éditions du Seuil, Paris, 1963

TROIA GA, WHITNEY SD. A close look at the efficacy of Fast ForWord Language for children with academic weaknesses. *Contemporary Educational Psychology* 2003, **28** : 465-494

VELLUTINO FR, FLETCHER JM, SNOWLING MJ, SCANLON DM. Specific reading disability (dyslexia): what have we learned in the past four decades? *J Child Psychol & Psychiat* 2004, **45** : 2-40

VELLUTINO FR, SCANLON DM, SIPAY ER, SMALL SG, PRATT A, et coll. Cognitive profiles of difficult-to-remediate and readily remediated poor readers: early intervention as a vehicle for distinguishing between cognitive and experential deficits as basic causes of specific reading disability. *Journal of Educational Psychology* 1996, **88** : 601-638

WILKINS AJ, HUANG J, CAO Y. Visual stress theory and its application to reading and reading tests. *J Research in Reading* 2004, **27** : 152-162

WILKINS AJ. Visual stress. Oxford University Press, Oxford, 1995

WILSHER CR, BENNETT D, CHASE CH, CONNERS CK, DIIANNI M, et coll. Piracetam and dyslexia: effects on reading tests. *J Clin Psychopharmacol* 1987, **7** : 230-237

24

Stratégies de soins des troubles spécifiques et associés

Ce chapitre aborde les soins des troubles spécifiques du langage écrit, puis du graphisme et du calcul, avant d'envisager la prise en charge des troubles associés. Pour chaque domaine, nous partirons de l'évaluation initiale des troubles pour aborder les indications qui peuvent être proposées en terme d'intervention, les techniques de soins et les évaluations des effets des soins.

Avant les soins, pour arriver au diagnostic, il faut recueillir les données de l'anamnèse, de l'évaluation de première intention et des évaluations spécialisées complémentaires demandées en fonction des symptômes (niveau intellectuel, langage, fonctions cognitives, fonctions visuo-praxiques, évaluation du calcul, fonctions attentionnelles, troubles psychopathologiques).

Dans un certain nombre de cas, la symptomatologie est simple et le diagnostic de trouble spécifique du langage écrit ou de dysgraphie ou de dyscalculie est clair quant à la spécificité des troubles observés, leurs caractéristiques en terme de sévérité et de profil cognitif. Dans un certain nombre d'autres cas, la spécificité est plus difficile à apprécier sur l'analyse de la symptomatologie. L'exclusion d'un déficit mental, de troubles sensoriels ou envahissants du développement pose peu de problèmes. En revanche, lorsque le déficit cognitif est associé aux troubles émotionnels ou comportementaux, lorsque le déficit touche tous les apprentissages et n'a pas les caractéristiques de déviance d'une dyslexie en particulier lorsque ce déficit évolue lentement, l'évaluation initiale ne peut être que pluridisciplinaire.

La prescription des soins dépend de l'évaluation initiale mettant en évidence les déficits. Dans les cas où le déficit est très spécifique les soins sont réalisés par le rééducateur spécialiste de la fonction déficitaire. Dans les cas plus complexes, il s'agira de prendre en compte la plainte (plainte au niveau du langage, par exemple) et les troubles associés (troubles émotionnels ou attentionnels, par exemple) sans chercher forcément à affirmer de façon définitive un diagnostic unique. Le projet thérapeutique doit également définir la priorité pour être faisable dans la réalité quotidienne de l'enfant et de sa famille. L'évolution du trouble permettra de reconsidérer le diagnostic, la priorité et de réorienter les soins.

La nature de la rééducation, qu'elle soit orthophonique dans les troubles du langage, ou psychomotrice et/ergothérapique dans les dysgraphies… s'appuie sur l'analyse du profil individuel des fonctions altérées et des fonctions préservées de l'enfant, en référence aux modèles cognitifs. En ce sens, elle diffère des entraînements pédagogiques, qui proposent un programme préfini, commun en fonction de l'objectif visé (décodage, ou fluidité…), même s'il est souvent adaptatif. Cette rééducation ne concernera qu'un seul enfant, en individuel, avec comme point de départ, non seulement son niveau (par exemple pour l'un non lecteur, ou pour un autre lecteur mais avec de nombreuses confusions de phonèmes). Elle va également s'inspirer du type précis des difficultés (par exemple pour un enfant non lecteur : la méconnaissance de la conversion graphème-phonème, pour un autre : la méconnaissance de la fusion des phonèmes). Enfin, ses outils vont aussi s'inspirer des pôles d'intérêt de chaque enfant.

Quels que soient les soins prescrits, les adaptations pédagogiques sont toujours nécessaires pour permettre à l'enfant de continuer ses apprentissages malgré son trouble (par exemple, lui lire l'énoncé de mathématiques s'il est dyslexique, ou limiter la charge d'écriture en cas de dysgraphie). Une pédagogie adaptée est également nécessaire pour tenir compte de ses besoins et de ses possibilités dans le domaine déficitaire.

Troubles spécifiques du langage écrit

Cette partie s'appuie, entre autres, sur les travaux de Touzin (2004), Billard et coll. (2004) et Valdois et coll. (2004).

La littérature, abondante sur le profil cognitif des enfants dyslexiques (y compris en France), et sur les actions de remédiation proposées en laboratoire et en milieu scolaire (études réalisées le plus souvent dans les pays anglo-saxons) est, en revanche, très limitée concernant la rééducation individuelle en orthophonie, tant en ce qui concerne les techniques, leurs indications, la fréquence de la rééducation et ses effets.

Les recommandations de l'Anaes (1997) sur l'orthophonie dans les troubles spécifiques du langage écrit comportent essentiellement des recommandations sans preuve scientifique, puisqu'il y est dit que « La revue de la littérature n'a pas identifié d'étude permettant de proposer un nombre et une fréquence de séances fondés sur un niveau de preuve… Elle n'a pas permis de recommander une méthode plus qu'une autre ». Cependant, la rééducation orthophonique est très largement pratiquée, et son intérêt est majeur pour permettre à l'enfant d'améliorer son déficit. Il reste à évaluer l'efficacité des techniques de rééducation et à argumenter les bonnes pratiques :

- quelles sont les indications de l'orthophonie dans les troubles du langage écrit, en terme d'âge de l'enfant, sévérité et spécificité du trouble ?

• quels sont les axes de la rééducation et quelle est la fréquence optimale ? Quels outils sont à proposer ? Quelle place et quels effets ont les logiciels présents sur le marché ?
• comment évaluer les effets de la rééducation et quelle réorientation proposer ?
• quels sont les critères d'arrêt de la prise en charge ?

Il est possible de s'appuyer malgré tout sur quelques données de la littérature. Les travaux sur les entraînements, en particulier sur les entraînements de la conscience phonologique, décrivent les effets positifs sur la fonction entraînée ainsi que la généralisation sur la lecture et l'écriture (Ehri et coll., 2001). Il s'agit également de quelques études non contrôlées des effets de prise en charge, comme celle de Coste-Zeïtoun et coll. (2005). Les auteurs décrivent l'évolution en lecture, transcription et calcul de 31 enfants porteurs d'un trouble sévère et spécifique du langage pris en charge en rééducation orthophonique intensive (3 heures par semaine) et en scolarité spécialisée (tableau 24.I). Bien que ce travail ne comporte pas de groupe témoin et ne permet pas de différencier la part d'évolution liée à la scolarité spécialisée et à la rééducation, il apporte quelques données :
• cette population sévèrement déficitaire, constituée d'enfants lisant en moyenne 9 mots en une minute (score inférieur à une mi-CP) avant 9 ans, et 20 mots après 9 ans (score inférieur à une mi-CE1), évolue de façon significative (niveau de lecture progressant en moyenne de 11 mois sur une durée de 9 mois) au prix d'une prise en charge orthophonique intensive et d'une pédagogie adaptée ;
• tous les enfants sauf un avaient acquis une compréhension de lecture fonctionnelle ;
• les enfants gardent tous un déficit (particulièrement en ce qui concerne les tests chronométrés), qui justifie la nécessité d'envisager les adaptations au handicap persistant. Les enfants pris en charge n'aggravent pas leur déficit ; 61 % d'entre eux progressent en 9 mois de temps, de plus de 9 mois en âge de lecture (de 12 à 27 mois), transcription et calcul.

Dans cette étude, les enfants dysphasiques progressent plus en âge de lecture (13 mois) que les dyslexiques (7 mois). Enfin, les enfants les plus jeunes progressent plus (14 mois) que les enfants dyslexiques plus âgés (5 mois). Ceci est bien entendu à moduler en fonction du déficit de lecture moins sévère chez les dysphasiques (19 mois) que chez les dyslexiques pris en charge dans cette unité (33 mois), et chez les enfants les plus jeunes (17 mois) *versus* les plus âgés (39 mois).

Tableau 24.I : Évaluation de 31 enfants porteurs d'un trouble sévère et spécifique du langage pris en charge en rééducation orthophonique intensive (d'après Coste-Zeïtoun et coll., 2005)

Tests	Retard moyen en début d'année (écart-type)	Retard moyen en fin d'année (écart-type)	Progression moyenne (écart-type)
BREV/K-ABC	-27,4 (16,0)	-24,7 (19,0)	11,3 mois (6,3)*
Alouette	-27,1 (20,5)	-31,2 (20,2)	4,5 mots (5,7)**
LUM			14,4 mots (12,5)*
Transcription	-29,0 (15,7)	-28,8 (15,7)	8,6 (6,4)*
Calcul BREV/K-ABC	19,0 (9,4)	-16,4 (12,0)	10,6 (9,7)*

* Différence significative ($p < 0,05$) ; ** Différence significative ($p < 0,001$)
BREV : Batterie rapide d'évaluation des fonctions cognitives (Billard et coll., 2006)
K-ABC : Batterie pour l'examen psychologique de l'enfant (Kaufman et Kaufman, 1993)
LUM : Lecture en une minute (Khomsi, 1999)

Critères de soins orthophoniques

Une réponse de première intention, à l'école, donc accessible à tous, s'impose très précocement, et a fait l'objet de nombreuses études contrôlées décrites dans un chapitre précédent. Ces études concernent principalement les difficultés en décodage. Cette réponse de première intention peut être utilisée dès la première année d'apprentissage de la lecture, principalement chez les enfants à risque, ayant souffert d'un trouble du langage oral ou ayant des antécédents familiaux de trouble du langage. Mais elle peut être également efficace plus tard, même en fin de primaire (Torgesen, 2002). Son efficacité sera optimale, si elle est précoce. Il est donc urgent de mettre en place, en France, des évaluations de ces différentes méthodes pédagogiques du décodage, « papier-crayon » ou « logiciels », afin de définir les plus performantes en rapport efficacité-coût, selon le trouble présenté par les enfants. Les études de la littérature sont formelles ; chez l'enfant de cycle 2 (Sprenger-Charolles et Colé, 2003 ; Vellutino et coll., 2004), les capacités de décodage sont les plus corrélées aux capacités de compréhension d'un texte. En revanche, au cycle 3 (Sprenger-Charolles, 2003), il existe une population d'enfants excellents décodeurs, mais comprenant mal. Il est donc impératif, devant un enfant qui comprend mal le message écrit, d'évaluer la part des compétences en décodage, d'un déficit intellectuel, ou d'un déficit en compréhension orale sans déficit intellectuel, ou d'une psychopathologie, afin de proposer la stratégie de soins la plus adéquate.

Les indications de soins découlent donc de la sévérité de la symptomatologie et des effets insuffisants de la réponse de première intention. Quelques mois après sa mise en place, la réponse pédagogique de première intention doit

être évaluée précisément afin de signaler, si besoin, l'enfant aux professionnels de santé pour une évaluation précise de leurs difficultés et un projet de soins adapté. Les soins seront d'autant plus efficaces que l'enfant n'aura pas cumulé des années d'échec scolaire et mis en place des stratégies déviantes.

La persistance d'un trouble du langage oral en grande section de maternelle, donc *a fortiori* au CP, est un facteur imposant une évaluation médicale des difficultés de l'enfant. En cas d'association aux troubles spécifiques d'acquisition du langage écrit, d'un trouble spécifique du langage oral, une rééducation orthophonique centrée sur les déficits observés en langage oral et en langage écrit s'impose. En cas de difficultés globales d'apprentissage portant non seulement sur la lecture et l'orthographe, mais aussi sur le calcul, une évaluation psychologique associée à une évaluation spécifique du langage oral et écrit ainsi que du calcul, est nécessaire. L'évaluation psychologique précisera les éléments du fonctionnement psycho-affectif et cognitif et permettra de définir les soins à privilégier.

En cas de trouble du langage écrit (en l'absence de trouble associé du langage oral), et en cas de réponse insuffisante à l'action pédagogique de première intention, l'enfant devra bénéficier d'une évaluation de ses capacités verbales et non verbales, en langage écrit et en calcul (si nécessaire). Un trouble spécifique d'acquisition du langage écrit impose une évaluation et une rééducation orthophoniques. Un trouble plus global en langage écrit et calcul, ou s'associant à des difficultés dans le domaine non verbal impose une évaluation neuropsychologique et psychologique associée à l'évaluation spécifique du langage et/ou du calcul, afin d'éviter de proposer une rééducation orthophonique unique si le déficit paraît plus diffus. Au cours du cycle 3, un déficit en vitesse de lecture et/ou portant sur les stratégies de lecture et/ou orthographe et persistant malgré les réponses pédagogiques, impose le même arbre de décision que précédemment, en fonction du caractère spécifique ou non du déficit en lecture et orthographe.

L'association aux troubles des apprentissages d'un déficit intellectuel pose une question aujourd'hui non résolue, mais nécessitant une réflexion. Les difficultés d'acquisition du langage écrit inscrites dans un déficit intellectuel nécessitent-elles, uniquement une adaptation des exigences scolaires aux capacités de l'enfant et un accompagnement pour suivre leur évolution et aider à pallier la souffrance liée à l'échec ? Cette attitude paraît logique si le déficit en langage oral ou écrit n'excède pas celui observé dans les compétences non verbales. Ou bien, nécessitent-elles une rééducation orthophonique pour permettre à ces enfants déficitaires d'accéder au langage écrit ? Cette seconde attitude paraît licite lorsque le retard en lecture et orthographe et /ou le déficit en langage oral excède le déficit non verbal. Il importe, alors, de fixer les critères d'efficacité, la persistance d'un trouble de compréhension étant a priori inévitable en cas de déficit intellectuel quelle que soit la prise en charge.

Synthèse

La dyslexie, la dysorthographie et la dyscalculie sont des troubles spécifiques des apprentissages scolaires dont l'origine est reconnue comme neuro-développementale. Cependant, ils ne proviennent pas d'une déficience avérée qu'elle soit sensorielle, motrice ou mentale, d'un traumatisme ou d'un trouble envahissant du développement. Même si la définition de ces troubles dans les classifications exclut une origine culturelle, sociale, économique, pédagogique ou psychologique, cela ne signifie pas pour autant que ces facteurs ne jouent pas un rôle.

L'objectif de cette expertise est de réaliser un bilan des travaux scientifiques menés au cours des dernières années pour faire émerger des éléments de connaissance pouvant contribuer à une meilleure façon d'envisager la prévention, le repérage et la prise en charge des troubles spécifiques des apprentissages scolaires.

Le développement des connaissances dans ce domaine a été particulièrement fécond au cours des dernières années et s'étend à plusieurs disciplines : psychologie, neurosciences, sciences cognitives, linguistique, psycholinguistique, neurobiologie et neuropsychologie. Certaines de ces disciplines ont permis de différencier et spécifier des troubles focalisés du langage oral et écrit, du graphisme, de l'écriture, de l'orthographe, du calcul, et de formuler des interprétations fonctionnelles.

Dans certains domaines, l'avancée des connaissances a permis d'aller jusqu'à une mise en relation avec l'organisation cérébrale des systèmes de traitement de l'information. Cependant, leur caractère spécifique, qui les différencie radicalement des retards généraux d'apprentissage, n'implique pas qu'ils soient monofactoriels ou isolés. Si des enfants sont en échec scolaire du fait de conditions sociales défavorables ou d'un niveau éducatif insuffisant, cette réalité n'écarte pas l'existence de troubles spécifiques chez ces mêmes enfants, ni l'implication de tels facteurs dans l'expression du trouble. Mais, le fait de trouver des enfants atteints de dyslexie dans tous les milieux, y compris dans les milieux les plus favorisés, et ce quelles que soient les méthodes d'enseignement utilisées infirme les seules explications sociologiques et pédagogiques de ce type de trouble.

Par ailleurs, certaines difficultés d'apprentissage peuvent s'inscrire dans une psychopathologie avérée ou dans des interactions précoces perturbées. Il faut cependant noter qu'une souffrance psychique relevée chez bon nombre d'enfants en difficulté d'apprentissage est souvent une conséquence de leur échec scolaire.

L'implication de facteurs socioéconomiques, pédagogiques, linguistiques, psychologiques à l'origine des troubles n'apparaît pas en contradiction avec un modèle neuro-cognitif ou génétique si l'on admet un modèle pluricausal. Par ailleurs, on peut concevoir l'influence de ces mêmes facteurs sur la plus ou moins grande facilité à surmonter ces déficits. Néanmoins, la littérature sur ces aspects est encore peu développée et des travaux pluridisciplinaires de qualité seraient nécessaires.

Les recherches des trente dernières années ont surtout porté sur les mécanismes cognitifs sous-jacents à la dyslexie et conduit à l'élaboration de différentes théories. Par ailleurs, le développement récent de l'imagerie cérébrale fonctionnelle et des techniques de génétique moléculaire a apporté des éclairages complémentaires sur les relations entre la dyslexie et ses substrats cérébraux. La littérature scientifique faisant état de ces travaux a été passée en revue dans la présente expertise. En termes de recherche, il reste à explorer l'intégration des différentes théories en une conception globale pouvant expliquer les manifestations de ces déficits. Des facteurs génétiques,, le fonctionnement cognitif, la structuration du psychisme, les systèmes familiaux et sociaux contribuent ensemble au développement des compétences de l'enfant. Cette complémentarité des approches devrait permettre une prise en charge de l'enfant dans sa globalité tant au plan cognitif, qu'au plan de sa relation à son environnement.

L'acquisition du langage oral : repères chronologiques

La capacité d'un nouveau-né à apprendre sa langue maternelle ne cesse d'étonner. En quelques années, il va pouvoir maîtriser la complexité des différentes composantes du langage. Les études linguistiques et cognitives abordent la question de l'acquisition de la parole et du langage en se référant à un système en trois composantes : la forme, le contenu et l'usage. Les aspects formels du langage relèvent de la phonologie (l'ensemble limité des sons d'une langue qui peuvent se combiner pour former un nombre infini de mots) et de la syntaxe (qui organise l'ordre des mots). Le contenu renvoie au domaine de la sémantique (sens des mots et des énoncés). L'usage est du domaine de la pragmatique, qui étudie l'ensemble des codes qui régissent les intentions de communication des locuteurs.

Les études sur l'émergence des acquisitions apportent aujourd'hui une conception assez claire de la spécialisation très précoce du traitement de la parole perçue, et des trajectoires développementales rapides du traitement du lexique et de la morphosyntaxe chez l'enfant. Dès les premiers mois, une capacité perceptive des sons de la parole permet au nourrisson de discriminer, de catégoriser les sons élémentaires puis de reconnaître certains mots de sa langue par la prosodie (l'enveloppe « musicale » de la parole avec ses aspects de rythme, de tempo, de mélodie, d'accent, d'intonation). Vers 7-8 mois, le

nourrisson est capable de reconnaître et de mémoriser des formes syllabiques de type « mot » avec des séquences consonnes-voyelles bien définies appartenant aux particularités de sa langue. Vers 9-10 mois, c'est la période des premiers mots avant l'explosion lexicale vers 18 mois. Les assemblages de mots apparaissent vers 24 mois, et enfin l'expansion grammaticale apparaît à partir de 30 mois. Même si la variabilité interindividuelle est très importante, la période 0-3 ans est décisive dans le déroulement rapide du processus d'acquisition de la parole et du langage chez l'enfant.

Composantes du langage

À partir de 3 ans, l'enfant apprend à construire un récit. Il s'agit tout d'abord d'une sorte d'énumération de différents états dans laquelle entre des adverbes comme « ici », « là », « maintenant ». À 5 ans, l'enfant commence à établir des liens plus clairs et plus variés entre les événements qui se déroulent dans un récit. Il utilise « et puis », « quand », « après ». Ce n'est que progressivement qu'apparaît la mise en relief d'événements particuliers. L'enfant de 10-11 ans ne possède pas encore une compétence narrative similaire à celle de l'adulte.

L'ensemble des données sur la chronologie des acquisitions de la parole du langage et de la construction du récit devrait permettre aux praticiens (pédagogues et cliniciens) de repérer les asynchronies de développement. L'évaluation précoce des capacités de segmentation, de l'émergence du babillage, de l'apparition des premiers mots et de la mise en texte à partir des récits dans sa dimension conceptuelle et linguistique se justifie en raison de la

valeur prédictive que ces capacités présentent par rapport à l'apprentissage de la lecture et de l'écriture.

L'apprentissage de la lecture

La finalité de la lecture est la compréhension. Pour pouvoir atteindre cette finalité, l'enfant doit acquérir un haut niveau d'automaticité dans l'identification des mots écrits. C'est en effet le développement d'une telle compétence qui lui permettra d'atteindre un niveau de compréhension écrite égal à celui de sa compréhension orale.

Dans une écriture alphabétique, comme dans une écriture syllabique, deux procédures permettent l'identification des mots écrits : la procédure sub-lexicale (procédure phonologique ou encore décodage) et la procédure lexicale (ou procédure orthographique). La procédure sub-lexicale s'appuie sur des unités sans signification, les syllabes écrites qui, dans une écriture syllabique, codent les syllabes orales ou les graphèmes (composés d'une seule ou de plusieurs lettres) et qui, dans une écriture alphabétique, codent les phonèmes. La procédure lexicale s'appuie sur des unités qui ont un sens : les mots. Le décodage s'automatise progressivement. Cette procédure ne fait donc pas seulement référence à la lecture lente et laborieuse du débutant : le lecteur expert peut en effet identifier très rapidement des mots qu'il ne connaît pas. Par ailleurs, la procédure lexicale n'est pas une procédure visuelle globale : le lecteur expert a accès en quelques centaines de millisecondes aux codes orthographique, phonologique et sémantique des mots écrits.

Opérations impliquées dans l'identification des mots écrits dans une écriture syllabique et dans une écriture alphabétique

Le lecteur qui apprend à lire dans une écriture alphabétique est confronté à trois types de problèmes. Le premier problème vient de ce que, avant l'apprentissage de la lecture, il ne dispose pas de représentations orthographi-

ques, à part pour quelques mots qu'il a pu apprendre par cœur. De même, il n'a pas forcément accès de façon explicite à certaines unités phonologiques, en particulier, au phonème, qui est le trait distinctif minimal permettant de différencier – dans une langue donnée – deux mots, par exemple « bol » et « vol » en français. Or la prise en compte du phonème, indispensable pour comprendre le principe d'une écriture alphabétique, et donc pour apprendre à lire dans ce type d'écriture, nécessite de se focaliser sur des éléments du langage parlé abstraits et, en plus, difficilement accessibles pour des raisons de co-articulation (le mot « car » est prononcé /kar/ et non /k+a+r/, ce qui rend difficile l'identification des trois phonèmes qui le composent). Le second problème auquel le lecteur débutant est confronté est lié au degré de transparence des relations entre les unités de base de l'écrit (les graphèmes) et de l'oral (les phonèmes), qui varie en fonction des langues. Ainsi, en espagnol, à la différence de l'anglais, ces relations sont très régulières, le français étant plus proche de l'espagnol que de l'anglais pour la régularité entre graphèmes et phonèmes (utilisées pour lire) alors qu'il est plus proche de l'anglais pour celle des relations entre phonèmes et graphèmes (utilisées pour écrire). Les problèmes de transparence des relations entre les unités de base de l'écrit et de l'oral s'expliquent par l'histoire des langues (alors que l'oral évolue, l'écrit est plus conservateur) mais aussi par le fait que les lettres de l'alphabet ne permettent pas de transcrire les phonèmes des différentes langues. Par exemple, on ne dispose que de 5-6 lettres pour les voyelles, ce qui ne permet pas de transcrire les 16 voyelles du français. Il a donc fallu utiliser une combinaison de lettres, ou une lettre à laquelle s'ajoute une marque spécifique, pour transcrire certaines voyelles (par exemple, le « é » qui s'oppose au « è » et au « e » ou encore le « ou » par opposition au « u », et les lettres « a, o, u, i » suivies par « n », qui indique une voyelle nasale : « an », « on », « un », « in »). L'unité de base d'une écriture alphabétique n'est donc pas la lettre, mais le graphème qui renvoie au phonème, unité de base du système phonologique. Enfin, le dernier problème est lié à la taille des unités. Il y a beaucoup plus d'unités orthographiques à apprendre dans les écritures qui utilisent des unités de large taille (par exemple, le mot) que dans celles qui utilisent des unités de petite taille (par exemple, le graphème qui correspond au phonème). Toutefois, les unités de grande taille ont un sens, pas celles de petite taille. Il en découle que les unités de petite taille sont moins facilement accessibles que celles de grande taille[56].

Les travaux de recherches sur l'apprentissage de la lecture ont montré que la facilité de cet apprentissage dépend du degré de transparence des correspon-

56. Dans les logographiques, comme celle du chinois, l'unité de base de l'écrit est le mot. Il est à signaler qu'en Chine continentale, les enfants commencent à apprendre à lire avec l'aide d'un système alphabétique, ce qui est révélateur des difficultés rencontrées par celui qui doit apprendre à lire dans un système logographique. E écritures n effet, il lui faut alors mémoriser des milliers de formes orthographiques différentes avant de pouvoir lire un texte, ce qui demande plusieurs années

dances grapho-phonémiques qui est très élevé en espagnol et plus faible dans d'autres langues comme l'anglais, le français occupant une position intermédiaire. De fait, les scores de lecture les plus mauvais se retrouvent chez les anglophones et les meilleurs chez les hispanophones. Ces résultats s'expliquent bien à la lumière de ceux obtenus en français. En effet, en milieu de CP, les scores en lecture de mots réguliers (par exemple « table ») et de pseudo-mots (des mots réguliers qui n'existent pas, par exemple « tople ») ne diffèrent pas et sont supérieurs aux scores relevés pour les mots irréguliers (par exemple « sept »), alors très faibles. En quelques mois (fin CP), le tableau se modifie fortement. Une progression est relevée chez l'enfant pour tous les items mais elle est plus marquée pour les mots réguliers, qui sont alors mieux lus que les pseudo-mots, eux-mêmes mieux lus que les mots irréguliers. Cela provient probablement de ce que les mots réguliers bénéficient à la fois de la régularité et de la fréquence d'exposition. Ni la fréquence d'exposition seule, ni la régularité seule suffisent, comme en témoigne la progression plus faible pour les mots irréguliers d'une part, et pour les pseudo-mots d'autre part. Ces données permettent de comprendre pourquoi les progrès des enfants espagnols, qui ne rencontrent pratiquement que des mots réguliers, sont rapides alors que l'apprentissage de la lecture est lent et laborieux pour les enfants anglais.

- Les facteurs linguistiques induisent non seulement des différences quantitatives, mais également qualitatives sur les procédures d'identification des mots écrits. Ainsi, la procédure lexicale est davantage utilisée quand l'orthographe est opaque, probablement pour compenser les difficultés de mise en œuvre du décodage. Ce n'est pas le cas quand l'orthographe est plus transparente.

- Les facteurs linguistiques induisent aussi des différences dans les unités de lecture utilisées. Par exemple, l'anglais favorise une plus grande utilisation d'unités telles que les rimes des mots parce que, dans cette langue, la prononciation des voyelles dépend largement des consonnes qui suivent. Ce n'est pas le cas dans des langues qui ont des voyelles clairement articulées, comme en espagnol, en allemand ou en français.

- En revanche, les (rares) études dans le domaine de la morphologie[57] indiquent que, quelle que soit l'opacité de l'orthographe, les enfants utilisent des unités morphologiques quand ils lisent. Toutefois, cette capacité qui ne semble s'acquérir que progressivement est sous la dépendance de facteurs phonologiques jusqu'à une période tardive.

Enfin, quelle que soit l'opacité de l'orthographe, c'est la capacité de décodage grapho-phonémique qui détermine le succès de l'apprentissage de la

57. Par exemple, le mot « orthophoniste » est composé de trois morphèmes « ortho », phono » et « iste »

lecture. En effet, les lecteurs qui, au départ, sont les meilleurs décodeurs, sont également ceux qui progressent le plus, y compris en lecture de mots irréguliers et en compréhension de texte.

Ces constats permettent de comprendre d'autres résultats de la recherche et plus particulièrement :

- pourquoi l'enseignement systématique et précoce (dès le début du CP) des correspondances grapho-phonémiques est celui qui aide le plus efficacement les élèves. Lorsque cette méthode est introduite plus tardivement, son impact est plus faible. De plus, ce type d'enseignement se révèle particulièrement bénéfique pour les enfants pouvant présenter des difficultés dans l'apprentissage de la lecture, que le facteur de risque soit lié aux conditions socio-économiques ou au niveau éducatif ou linguistique, ou encore pour ceux susceptibles de développer une dyslexie ;
- pourquoi ce sont essentiellement les entraînements à l'analyse phonémique qui ont un effet sur l'apprentissage de la lecture. Cet effet est toutefois plus notable chez les enfants à risque pour cet apprentissage (facteurs socio-économiques ou linguistiques) que chez les lecteurs en difficultés, ce qui souligne qu'il est plus facile de prévenir que de guérir. L'effet de ce type d'entraînement est néanmoins plus important si, en plus, les enfants peuvent manipuler les lettres qui correspondent aux phonèmes ;
- pourquoi les prédicteurs les plus fiables de l'apprentissage de la lecture sont les capacités d'analyse phonémique et le niveau de connaissance des lettres, auxquelles s'ajoutent les capacités de mémoire à court terme phonologique et de dénomination rapide. Ces prédicteurs permettent de repérer précocement (dès la grande section de maternelle) les enfants susceptibles d'avoir des difficultés d'apprentissage de la lecture, avec une fiabilité élevée. On peut penser que les capacités d'analyse phonémique sont cruciales au début de l'apprentissage de la lecture dans une écriture alphabétique, parce qu'elles permettent à l'enfant d'accéder au principe de ce type d'écriture. Le niveau d'intervention des compétences impliquées dans les épreuves qui évaluent à la fois la rapidité et la précision de l'accès au lexique oral (dénomination rapide d'images d'objets, de couleurs…) est moins clair. On peut toutefois supposer que, dans un premier temps, quand l'enfant utilise essentiellement le décodage, cette capacité lui permettrait d'accéder de façon rapide et précise au mot oral qui correspond à la chaîne de lettres qu'il a décodée, ce qui faciliterait la création de liens entre code orthographique et code phonologique des mots.

L'apprentissage de la production écrite et de l'orthographe

L'apprentissage de l'écriture est relativement long et pose à tous les enfants des problèmes qui apparaissent dominés en moyenne vers la troisième année primaire chez la majorité des enfants. Pendant la phase de mise en place de cet apprentissage pour tous les enfants et encore au-delà de cette période

pour ceux qui peinent à automatiser la graphie, les difficultés soulevées par l'écriture rejaillissent sur la quantité et, de manière moins assurée, sur la qualité des productions textuelles ainsi que sur les performances orthographiques.

Dans toutes les écritures alphabétiques, dont le français, l'étape cruciale de l'apprentissage réside dans la compréhension du fait que les séquences de lettres entretiennent des correspondances régulières – parfois complexes – avec les séquences sonores, ce qu'on appelle le principe alphabétique. En production, cela nécessite que l'enfant soit parvenu à une certaine maîtrise de sa langue maternelle et puisse la traiter comme un objet d'observation lui permettant, par exemple :

- de segmenter les énoncés ;
- de conserver en mémoire cette segmentation tout en transcrivant, même de manière non conventionnelle ;
- de contrôler ultérieurement par la lecture, l'exactitude (relative) de ce qu'il a fait.

Dans les systèmes orthographiques dits transparents, l'accès au principe alphabétique suffit pratiquement à permettre de transcrire tous les mots nouveaux, quels qu'ils soient. Il n'en va pas ainsi en français car les relations entre phonèmes et graphèmes sont irrégulières.

Comme la transcription du français ne peut s'effectuer en référence aux seules associations phonèmes-graphèmes des informations lexicales spécifiques aux mots (par exemple l'écriture du mot « thym »), des informations orthographiques générales (par exemple l'absence de consonnes doubles en début ou en fin de mots), enfin des informations relatives à la morphologie (par exemple les pluriels nominaux se font en ajoutant « s ») doivent être acquises et mobilisées selon les circonstances. Se pose donc la question de leur acquisition.

Dès les tout-débuts de l'apprentissage de la lecture, les enfants sont en mesure de mémoriser des formes orthographiques, et au moins certaines des spécificités de celles-ci, cela sans attendre de maîtriser l'ensemble des correspondances phonèmes-graphèmes. On sait peu de choses sur les différences interindividuelles, sur le nombre d'expositions nécessaires à ces apprentissages de mots écrits et sur la manière dont l'orthographe se fait plus conventionnelle.

Très tôt également, dès la première année primaire, les enfants exposés à l'écrit en extraient des régularités orthographiques qui ne se réduisent ni à celles qui correspondent à des régularités phonologiques ni à la simple mémorisation d'instances. Ils sont en mesure de les mobiliser dans des tâches de production orthographique, manifestant ainsi très précocement l'acquisition de certaines conventions orthographiques, qui ne vont toutefois pas jusqu'à l'extraction de règles, même lorsque ce serait possible. Trop peu de ces régularités ont été étudiées pour qu'on puisse déterminer les conditions

de leur prise en compte et les éventuelles différences interindividuelles affectant leur apprentissage.

On relève très précocement des traces d'utilisation de marques relevant de la morphologie. Toutefois, les recherches dissociant les effets des contraintes graphotactiques de celles associées à la morphologie font apparaître que l'utilisation de la morphologie est relativement tardive, au moins si on considère qu'elle correspond à des règles dont l'application ne doit pas dépendre de la fréquence. Or, de nombreux exemples attestent que l'emploi des marques morphologiques n'est pas initialement indépendant de la fréquence de rencontre des items. Par ailleurs, comme la morphologie est corrélée à d'autres types d'informations, phonologiques, orthographiques et sémantiques, il se pourrait que des effets qui lui sont attribués soient dus aux autres facteurs. Une certaine prudence est donc nécessaire pour interpréter en particulier les données issues des seules études de corpus.

Les rares recherches relatives à la production de la morphologie dérivationnelle montrent la persistance d'effets des contraintes graphotactiques en dépit de la possibilité de recourir à une règle orthographique. Ainsi, même après plusieurs années de pratique de l'écrit, les élèves ne recourraient pas à une règle spécifiant comment transcrire par exemple /o/ lorsqu'il correspond à un suffixe diminutif (par exemple éléphanteau, lionceau). Ceci conduit à s'interroger sur ce qui se produit lorsque des règles sont explicitement enseignées, et sur la possibilité de le faire de manière systématique, ce qui est le cas avec la morphologie flexionnelle.

La morphologie flexionnelle porte sur un nombre restreint de domaines : le genre et le nombre des noms, adjectifs et verbes (les accords), le système verbal (la conjugaison). Elle est très productive : par exemple, les accords nominaux en « s » s'appliquent à la plupart des noms et adjectifs. Elle utilise un nombre restreint de marques pour le nombre et le genre : « s », « -e », « -nt ». S'y ajoutent les flexions verbales plus nombreuses, dont beaucoup soit n'ont pas de correspondant phonologique (« -s », « -nt ») soit sont associées à une même forme phonologique (par exemple /e/ associé à « é », « -er », « -ait »…). Elle est en principe systématiquement enseignée. Son utilisation semble tardive et très dépendante de l'enseignement dispensé ; elle passe par des étapes pouvant à tort laisser penser que les règles morphologiques sont précocement maîtrisées.

L'enseignement consiste en la formulation de règles suivie d'exercices d'application. Les élèves apprennent ainsi à mettre en œuvre une procédure qui au début mobilise du temps et de l'attention. Elle conduit parfois à des erreurs de surgénéralisation, par exemple mettre un « s » aux verbes au pluriel. Sous l'effet de la pratique fréquente et du feed-back des enseignants, ces erreurs disparaissent et l'application de la procédure s'accélère, ce qui diminue d'autant l'attention requise. Lorsque certaines formes sont fréquentes, elles sont alors mémorisées comme telles. Les élèves les récupèrent donc directe-

ment, ce qui conduit dans certaines conditions à de nouveaux types d'erreurs présentes même chez les adultes et qui consistent par exemple à écrire « il les timbres ». La connaissance des règles d'accord intervient ainsi lors du contrôle des productions beaucoup plus qu'au cours de l'application de la procédure.

Les données relatives à l'apprentissage de l'orthographe montrent que plusieurs processus y sont impliqués. Le premier a trait à l'apprentissage des associations entre phonèmes et graphèmes : il est de ce fait très lié à l'apprentissage de la lecture, même si le sens des relations entre écriture et lecture reste à étudier plus en détail. Le deuxième fait encore appel à la lecture et sans doute à la pratique de l'écriture. La rencontre fréquente des mots écrits conduit à deux acquisitions : d'une part, certains mots sont mémorisés et donc récupérables directement ; d'autre part, des régularités « graphotactiques », c'est-à-dire d'associations entre lettres ou graphèmes sont extraites ainsi que les contextes de leurs occurrences, ceci par apprentissage implicite (sans conscience de disposer de cette connaissance). Troisièmement, certaines de ces régularités peuvent être formalisées et conduire à l'énoncé et à l'application de règles plus ou moins assorties d'exceptions (par exemple, tous les diminutifs en /o/ se transcrivent « eau », sauf « chiot »). Or, ces règles ne paraissent pas spontanément accessibles aux élèves : leur prise de conscience et leur généralisation semblent requérir un enseignement. Quatrièmement, l'enseignement des règles de la morphologie flexionnelle amène la constitution de procédures dont la mise en œuvre mobilise fortement l'attention, ce qui rend fragile leur application, au moins initialement. Seule la pratique régulière et prolongée est susceptible de diminuer l'attention requise. Cette pratique, en lecture comme en écriture, aboutit à ce que les formes fléchies les plus fréquentes sont mémorisées et récupérées directement, ce qui entraîne parfois l'apparition de nouvelles erreurs. La disponibilité des règles formelles d'accord permet alors le contrôle des productions et la correction des erreurs.

Si les principaux processus d'apprentissage de l'orthographe ont été identifiés, l'étude de leurs interactions, notamment au cours de la scolarité et en fonction des enseignements dispensés ou non, reste à conduire.

L'apprentissage du calcul

Les questions relatives à l'acquisition puis à l'apprentissage de l'arithmétique élémentaire se posent à trois niveaux. Premièrement, les nourrissons sont, comme les animaux, en mesure de mobiliser deux systèmes différents pour le traitement des quantités et des transformations qui les affectent (ajouts, retraits). L'un, précis mais ne s'appliquant qu'aux petits ensembles discrets (1, 2 et 3) ; l'autre, extensible aux très grandes quantités, opérant sur les dimensions continues ou traitant comme tels les ensembles d'éléments dis-

crets, fournissant une évaluation approximative selon laquelle les erreurs croissent en même temps que la taille des quantités évaluées (loi de Weber). La question du caractère spécifiquement numérique des traitements correspondants reste posée, tout comme celle des caractéristiques des représentations sur lesquelles ils pourraient s'effectuer. Ces capacités ne sont qu'un point de départ mais elles pourraient constituer les fondements de la sémantique des nombres. Les connaissances mathématiques plus complexes que l'être humain a développées au cours de son histoire vont bien au-delà et font appel à des systèmes numériques symboliques.

Deuxièmement, à partir de 12-18 mois les enfants s'approprient le système propre à leur culture permettant de déterminer précisément la numérosité des collections. Cette acquisition comporte deux dimensions : d'une part, celle du système de dénomination verbale des quantités propre à leur culture (quand elle en a un) ; d'autre part, les pratiques de dénombrement, qui pourraient reposer sur des principes universels. Cette acquisition est lente et difficile pour des raisons partiellement connues.

Les systèmes verbaux sont des systèmes conventionnels reposant sur deux grands principes :
• la lexicalisation qui associe à une cardinalité une dénomination et une seule (cinq, seize) ;
• des règles combinatoires permettant d'élaborer une infinité de formulations complexes correspondant à n'importe quelle cardinalité (six cent soixante-quinze millions trois cent dix mille deux).

Ces règles permettent des combinaisons de type additif (cent trois) ou multiplicatif (trois cents). Le système numérique oral français lexicalise les cardinalités allant jusqu'à seize, les dizaines de vingt à soixante, cent, mille, million et milliard. La combinatoire code des relations exclusivement additives jusqu'à 79 (vingt-cinq=vingt+cinq) puis des relations additives et multiplicatives (quatre cent six=quatre x cent+six).

L'évaluation des quantités peut se faire de manière globale ou précise. Dans le premier cas, comme nous l'avons vu précédemment, les erreurs augmentent avec la taille des collections à évaluer : elles sont rares pour les petites collections (1, 2 ou 3, voire 4), pour lesquelles un mécanisme de traitement spécifique pourrait exister (le *subitizing*) ; elles s'accroissent ensuite. Dans le second cas, il faut recourir au dénombrement, c'est-à-dire repérer chacune des entités de la collection en la traitant une fois et une seule et lui assigner une étiquette verbale et une seule de sorte que la dernière corresponde à la cardinalité de la collection. Le bon déroulement du dénombrement requiert de l'attention, la connaissance du lexique numérique et la capacité de mettre en œuvre des habiletés motrices et de les coordonner avec la récupération en mémoire des formes verbales. Grâce au dénombrement, les enfants parviennent à affecter à chaque collection une cardinalité unique et précise, cela quelles que soient les formes perceptives des collections.

Troisièmement, les enfants repèrent très tôt les modifications de quantités associées aux ajouts, retraits voire au fractionnement. La maîtrise du dénombrement leur permet de quantifier précisément ces transformations. Ils peuvent donc effectuer en action ce qui correspond à des opérations arithmétiques, mais qui n'en sont pas encore : ils le font en rassemblant ou séparant des collections et en dénombrant à la fois les collections de départ et le résultat des transformations. C'est très progressivement qu'ils vont passer d'une résolution en action à un traitement portant sur les seuls symboles. Il se pourrait que l'usage des doigts ait à cette phase un rôle important dans la mesure où les collections de doigts sont à la fois analogiques et abstraites (elles se substituent à tous les objets quels qu'ils soient). L'évolution se traduit par le passage des actions externes à des actions intériorisées puis à des traitements réalisés sur les formes verbales (4+3 → 4, 5, 6, 7). Il n'est pas facile de déterminer comment les enfants réalisent qu'opérer sur les seuls symboles permet d'aboutir à des résultats aussi fiables que ceux qui sont obtenus à partir des manipulations.

Quatrièmement, l'entrée à l'école se traduit par l'enseignement systématique d'un nouveau code – le code indo-arabe – et des algorithmes qui lui sont associés et qui donnent à la résolution des opérations une puissance que le code verbal ne peut assurer. Cet apprentissage est à la fois facile (le code indo-arabe ne comporte que dix items : 0,...9) et difficile, notamment du fait de la notation positionnelle (la valeur d'un chiffre change avec sa position). Le transcodage, passage de l'oral au code indo-arabe ou l'inverse, s'appuie initialement sur les connaissances verbales, ce qui explique que, par exemple en français, la transcription de quantité telle que soixante quinze puisse donner lieu à des erreurs telles que 6015. Quant aux algorithmes, ils concernent la résolution des additions, soustractions, multiplications complexes et, dans une moindre mesure à l'école élémentaire, des divisions. Ils nécessitent que les enfants aient mémorisé certaines associations entre opérandes et résultats (3+2=5), de sorte qu'ils n'aient plus à les calculer et qu'ils puissent consacrer leur attention à la gestion de l'algorithme. Ils exigent aussi un minimum d'attention et de maîtrise de l'espace. Ils requièrent enfin un enseignement systématique et vigilant afin d'éviter l'installation d'erreurs de procédures difficiles à éradiquer. L'introduction des fractions et des décimaux pose de nouveaux problèmes, parce que, d'une part, la représentation des quantités change (encore que le fractionnement des quantités soit précoce) et, d'autre part, les algorithmes de traitement des opérations diffèrent de ceux qui s'appliquent aux entiers naturels (l'addition des fractions ; celle des décimaux…).

Cinquièmement, la résolution de problèmes arithmétiques reste un problème majeur, comme l'attestent les évaluations nationales ou internationales. L'une des difficultés relève de l'activité de compréhension en lecture plus que des traitements arithmétiques eux-mêmes, au moins à l'école élémentaire ; une autre tient à « l'arithmétisation » des situations.

Les enfants doivent en effet élaborer à partir de l'énoncé une représentation de la situation décrite puis passer de cette représentation à une mise en forme arithmétique. Or, selon la formulation, la familiarité avec le domaine, le nombre d'entités impliquées, la fréquence de rencontre des situations, l'élaboration de cette représentation et son « arithmétisation » peuvent être très difficiles et conduire à une interprétation, et donc une résolution erronées. La question essentielle est ainsi de rechercher des situations permettant aux élèves de rencontrer souvent des situations problèmes variées, de sorte qu'ils se familiarisent à la fois avec la diversité des modalités de présentation des énoncés, celle des situations décrites, celle enfin des modes de résolution.

On peut dire en résumé que les enfants disposent sans doute à la naissance de capacités de traitement des quantités biologiquement déterminées, sur lesquelles se greffent des pratiques culturelles qui exploitent et amplifient les capacités initiales. Les systèmes scolaires eux-mêmes installent des apprentissages nouveaux, de savoirs (les décimaux), d'activités (la résolution de problèmes), de codes (le code indo-arabe, les signes opératoires) et de procédures de traitements (les algorithmes de résolution des opérations). Chacune de ces dimensions soulève des problèmes particuliers, certains restant encore mal connus.

Les définitions et classifications des troubles spécifiques des apprentissages

Les troubles qui font l'objet de cette expertise sont ceux qui sont liés aux acquisitions scolaires : les troubles de la lecture, de l'écriture et du calcul. Ces troubles peuvent apparaître dans un contexte de retard global ou plus spécifique en cas de déficits limités à certains processus cognitifs. Il sera question ici essentiellement de définitions et de critères des « Troubles spécifiques des apprentissages scolaires » présents en dehors d'un retard global du développement.

Ces troubles sont définis dans les classifications comme un ensemble de difficultés d'apprentissage qui ne peuvent être attribuées ni à un retard intellectuel, ni à un handicap sensoriel, ni à des conditions défavorables de l'environnement. Ces difficultés sont donc inattendues compte tenu des autres aspects du développement. Elles apparaissent très tôt dans la vie, interfèrent avec l'intégration scolaire et sociale et persistent souvent jusqu'à l'âge adulte.

Les principaux critères des troubles spécifiques des apprentissages (qu'il s'agisse de troubles de la lecture, de l'écriture ou du calcul), qui sont à la base des définitions proposées dans les dernières années sont les suivants :

• critère de « discordance » (*discrepancy*) entre les difficultés à des épreuves liées au trouble en question et les bonnes performances à d'autres épreuves cognitives (il s'agit souvent du QI[58]) ;
• critère d'exclusion : le trouble ne doit pas avoir comme cause primaire : un retard global, un handicap sensoriel, un déficit éducatif (pédagogie inadaptée, niveau socio-éducatif insuffisant), une difficulté linguistique, des troubles mentaux avérés ;
• le trouble est dû à des facteurs intrinsèques à l'enfant (ce point dérive directement des deux précédents et met l'accent sur l'origine neurobiologique des troubles).

Ces critères sont retrouvés dans la classification internationale des maladies, la CIM-10[59] et dans la quatrième édition du *Diagnostic and statistical manual of mental disorders* (DSM-IV)[60], classification également largement utilisée au plan international.

Critères diagnostiques communs aux Troubles spécifiques des acquisitions scolaires de la CIM-10

• La note obtenue aux épreuves, administrées individuellement, se situe à au moins deux écarts-types en dessous du niveau escompté, compte tenu de l'âge chronologique et du QI
• Le trouble interfère de façon significative avec les performances scolaires ou les activités de la vie courante
• Le trouble ne résulte pas directement d'un déficit sensoriel
• La scolarisation s'effectue dans les normes habituelles
• Le QI est supérieur ou égal à 70

Selon une tendance récente, l'appellation « Troubles spécifiques des apprentissages » ne devrait pas être attribuée seulement sur la base des résultats à différentes épreuves, mais elle devrait être réservée aux enfants dont les troubles résistent à un traitement conséquent (prise en charge pédagogique et/ou orthophonique). Par ailleurs, les progrès des connaissances des dernières années ont amené à évoquer dans les définitions l'origine neurobiologique voire héréditaire des troubles spécifiques des apprentissages ainsi que leurs mécanismes cognitifs, même si ces processus cognitifs font encore l'objet de discussions et d'explorations. Il faut également souligner que dans le cadre des travaux de recherche, les critères adoptés peuvent varier en fonction du nombre de sujets observés. En effet, les études qui portent sur des effectifs

58. Quotient intellectuel (QI) mesuré entre 6 et 15 ans à l'aide du WISC-IV (WECHSLER D. Echelle d'Intelligence de Wechsler pour enfants et adolescents. Quatrième édition. ECPA, 2005)
59. OMS. Classification Internationale des Maladies. Chapitre V (F) : Troubles mentaux et troubles du comportement. Critère de diagnostic pour la recherche. Masson, 1994
60. AMERICAN PSYCHIATRIC ASSOCIATION. Troubles des apprentissages. DSM-IV-TR. Manuel diagnostique et statistique des troubles mentaux. Masson, 2004

importants utilisent, pour des raisons de faisabilité, des critères moins stricts et moins nombreux que les études sur des petits groupes d'enfants.

Le trouble de la lecture ou dyslexie est de loin le trouble spécifique des apprentissages le mieux exploré. D'une façon générale, il se manifeste par une difficulté à apprendre à lire, malgré un enseignement adapté, une intelligence adéquate et un bon environnement socio-éducatif.

Critères diagnostiques du Trouble spécifique de la lecture selon la CIM-10

Présence soit de 1 soit de 2 :

1. La note obtenue à une épreuve standardisée d'exactitude ou de compréhension de la lecture se situe à au moins deux écarts-types en dessous du niveau escompté, compte tenu de l'âge chronologique et de l'intelligence générale de l'enfant ; l'évaluation des performances en lecture et du QI doit se faire avec des tests administrés individuellement et standardisés en fonction de la culture et du système scolaire de l'enfant
2. Antécédents de difficultés sévères en lecture, ou de résultats de tests ayant répondu au critère 1 à un âge antérieur ; en outre, le résultat obtenu à un test d'orthographe se situe à au moins deux écarts-types en dessous du niveau escompté, compte tenu de l'âge chronologique et du QI

En cas de comorbidité, le diagnostic de Trouble spécifique de la lecture est prédominant par rapport aux autres troubles spécifiques (troubles du calcul et de l'écriture) dans la CIM-10, tandis que le DSM-IV permet de porter plusieurs diagnostics.

Dans les définitions récentes de la dyslexie, il est question des mécanismes cognitifs perturbés (souvent un déficit dans la composante phonologique du langage) et de l'étiologie des troubles (origine neurobiologique).

Le Trouble spécifique de l'acquisition de l'arithmétique, ou trouble du calcul ou encore dyscalculie, se réfère à un trouble des compétences mathématiques présent chez des enfants avec une intelligence normale. Malgré une avancée certaine des études lors des dernières années, les perturbations des mécanismes cognitifs à la base de la dyscalculie sont encore objets d'études, même si de nombreuses classifications de sous-types de dyscalculie ont été proposées. L'étiologie était déjà au centre des premières définitions proposées de la dyscalculie ainsi que l'origine génétique ou congénitale des troubles.

Critères diagnostiques du Trouble spécifique de l'acquisition de l'arithmétique selon la CIM-10

- La note obtenue à un test standardisé de calcul se situe à au moins deux écarts-types en dessous du niveau escompté, compte tenu de l'âge chronologique et de l'intelligence générale de l'enfant
- Les notes obtenues à des épreuves d'exactitude et de compréhension de la lecture, ainsi que d'orthographe se situent dans les limites de la normale (± deux écarts-types par rapport à la moyenne)
- L'absence d'antécédents de difficultés significatives en lecture ou en orthographe

Dans la définition de la dyscalculie, comme dans celles des autres troubles spécifiques des apprentissages, une pédagogie inadaptée vaut critère d'exclusion.

L'écriture étant un processus multidimensionnel, différentes composantes peuvent être à l'origine d'un trouble de l'écriture : difficulté d'écriture liée à l'aspect moteur ; difficulté à terminer la tâche écrite ; orthographe insuffisante ; problèmes avec la composition écrite tels que la planification, le choix des mots, la construction de phrases et l'organisation du texte. Le terme de dysgraphie, qui renvoie plutôt à un trouble de la calligraphie touchant également la réalisation de formes géométriques, a été parfois utilisé pour représenter un trouble général de l'écriture ; cependant dans la littérature, il est plus souvent question de dysorthographie.

La dysorthographie est un trouble spécifique de l'orthographe, qui accompagne la dyslexie, le dysfonctionnement cognitif à la base des deux troubles étant probablement commun. Dans la dysorthographie, l'orthographe des mots est très déficitaire, conséquence directe du trouble phonologique des enfants dyslexiques.

Il n'y a donc pas une seule définition du trouble de l'écriture et les classifications internationales l'illustrent bien : la définition de la CIM-10 correspond à la dysorthographie, tandis que celle du DSM-IV correspond plutôt à un trouble plus général de l'expression écrite.

Critères diagnostiques du Trouble spécifique de l'orthographe selon la CIM-10

- La note obtenue à un test standardisé d'orthographe se situe à au moins deux écarts-types en dessous du niveau escompté, compte tenu de l'âge chronologique et de l'intelligence générale de l'enfant
- Les notes obtenues à des épreuves d'exactitude et de compréhension de la lecture, ainsi que de calcul se situent dans les limites de la normale
- L'absence d'antécédents de difficultés significatives en lecture

Bien qu'insuffisantes et critiquées, les définitions et les classifications internationales (CIM-10 et DSM-IV) présentent l'avantage de permettre, lorsqu'elles sont appliquées, des comparaisons entre différentes études menées au plan international et d'utiliser un langage commun. Cependant, elles sont souvent ignorées sur le terrain, aussi bien par les cliniciens que par les chercheurs qui utilisent leurs propres classifications.

Ainsi, du choix du seuil à partir duquel on définit le trouble (de 1 à 2 écarts-types au-dessous de la moyenne) dépend la prévalence du trouble. Si le choix se porte sur 1 écart-type, dans une distribution normale on trouve 16 % d'individus sous le seuil. Si on choisit 2 écarts-types (comme proposé par la classification internationale CIM-10), on n'en trouve plus que 2,5 %. On peut donc penser que le trouble est une entité en partie arbitraire, puisque dépendante du seuil choisi a priori. Néanmoins, en pratique clinique, le

suivi de chaque enfant avec l'utilisation de nombreux tests permet de poser réellement un diagnostic.

Les questions suscitées par le concept de « discordance » ainsi que la comorbidité assez fréquente de plusieurs troubles des apprentissages entraînent pour certains auteurs la mise en question du concept de spécificité. La classification du DSM-IV, postérieure à celle de la CIM-10 n'utilise pas toujours le terme « spécifique » sans changer pour autant la définition de ces troubles. Il serait important d'établir une classification des troubles des apprentissages fondée sur des critères communs, partagés à la fois par les chercheurs, les cliniciens et les professionnels de l'éducation.

Les données de prévalence des troubles spécifiques des apprentissages scolaires

Le diagnostic opérationnel « d'un cas » exige plusieurs examens avec de nombreux tests répétés au cours de plusieurs mois voire plusieurs années. Une telle approche ne peut pas être reproduite dans le cadre d'études épidémiologiques en population générale. Par ailleurs, dans les études épidémiologiques, les critères peuvent varier d'un auteur à l'autre et les seuils choisis également. Il n'est donc pas surprenant que les chiffres publiés de prévalence soient très variables. Néanmoins, d'après l'ensemble des études internationales méthodologiquement les plus rigoureuses, provenant en grande partie des pays anglophones, nous pouvons estimer que la dyslexie concerne au minimum entre 3 et 5 % d'enfants vers l'âge de 10 ans.

Les études qui utilisent la même méthodologie pour comparer des populations ayant des langues différentes permettent de mettre en évidence les caractéristiques propres à chaque langue. En effet, les langues ont des systèmes d'écriture différents et à l'heure actuelle, les variations dans la forme de la dyslexie ainsi que dans sa prévalence sont considérées comme étant dépendantes de facteurs tels que la transparence (régularité) ou l'opacité de l'orthographe de chaque langue. Ainsi, une étude utilisant trois définitions différentes de la dyslexie a montré que la prévalence variait, comme attendu, en fonction de la définition et des critères de discordance plus ou moins stricts, mais aussi en fonction de la langue. Elle montre que, selon les définitions, les taux varient de 3,6 % à 8,5 % en Italie et de 4,5 % à 12 % aux États-Unis. Ainsi, les taux plus élevés aux États-Unis par rapport à ceux de l'Italie sont liés à l'orthographe : l'orthographe de la langue italienne est transparente à l'opposé de celle de la langue anglaise.

En France, en l'absence de données épidémiologiques, les données disponibles respectant les critères de caractérisation de la dyslexie suggèrent que la proportion d'enfants présentant une dyslexie avérée ne diffère pas de celle des grandes études anglophones.

Bien qu'on ne puisse pas assimiler tous les troubles de la lecture même graves à la dyslexie, les données issues de deux études épidémiologiques récentes réalisées chez l'adulte en France aboutissent à des données compatibles avec les estimations ci-dessus : l'une concerne des jeunes appelés du contingent et l'autre a été conduite auprès de 10 000 adultes de 18 à 65 ans (Insee). Ces deux études constatent que 7 % des 18-29 ans éprouvent des difficultés graves ou importantes en lecture.

On peut s'interroger sur les éventuelles interactions entre le milieu social ou le niveau éducatif et les facteurs biologiques de la dyslexie et à propos de leurs effets sur les manifestations des troubles spécifiques des apprentissages. À titre d'exemple, les études portant sur les populations anglaises de l'Ile de Wight et de Londres sont représentatives des différences géographiques et sociales. En effet, avec la même définition de la dyslexie, la prévalence trouvée était de 3,6 % sur l'Ile de Wight et de 9,3 % à Londres, où les sujets étaient en moyenne de milieux moins favorisés.

La prévalence de la dyscalculie est fréquemment considérée comme équivalente à celle de la dyslexie. Cependant, les études les plus rigoureuses suggèrent que la dyscalculie, en tant que trouble isolé, est plus rare que la dyslexie. Il n'existe à notre connaissance pas d'étude épidémiologique de la dyscalculie en France. Il y a cependant peu de raisons de penser que sa prévalence y diffère beaucoup des autres pays, la langue semblant avoir peu d'impact sur le trouble comme en atteste la convergence des résultats obtenus dans différents pays.

Le sexe est l'un des facteurs de variation souvent évoqué comme associé aux troubles spécifiques des apprentissages. En général, le rapport garçon/fille est estimé à 2 pour la dyslexie, tandis qu'il est probable que la dyscalculie affecte autant les filles que les garçons. On constate également que plus de garçons que de filles consultent des spécialistes pour des problèmes de lecture ou d'écriture. Cependant, l'existence d'un effet du sexe sur les troubles spécifiques des apprentissages scolaires est toujours débattue et les causes de cette différence éventuelle entre garçons et filles restent à explorer.

Les études longitudinales indiquent que la dyslexie persiste avec l'âge et représente donc un déficit non transitoire du développement même si le suivi longitudinal des enfants dyslexiques pose un problème de stabilité des classifications dans le temps. Ces classifications étant établies à partir d'un seuil, de petites variations dans les scores sur un continuum peuvent faire passer certains enfants d'un côté ou l'autre des limites pré-définies.

Les études longitudinales décrivent également la dyscalculie comme un trouble persistant. Toutefois, les formes isolées de dyscalculie (non accompagnées de dyslexie) apparaissent moins persistantes et sont considérées par certains comme relevant davantage d'un retard de développement que d'une réelle différence individuelle.

Le trouble spécifique des apprentissages est abordé dans de nombreuses études comme une entité d'origine génétique et cognitive. On peut regretter les études trop peu nombreuses sur les interactions entre facteurs génétiques, cognitifs et environnementaux, ainsi que sur l'influence des méthodes de lecture.

La dyslexie à travers les études de groupes et de cas multiples

La caractérisation des déficits en lecture des dyslexiques s'appuie sur le fait que, pour pouvoir comprendre des textes, l'enfant doit acquérir un haut niveau d'automaticité dans l'identification des mots écrits. C'est le développement d'une telle compétence qui lui permettra d'atteindre un niveau de compréhension écrite égal à celui de sa compréhension orale, en le dégageant du poids d'un décodage lent et laborieux ou du recours à des anticipations contextuelles hasardeuses, la manifestation de la dyslexie étant justement l'incapacité à développer ce type de compétence.

Le bilan des données relatives à la dyslexie qui a été effectué a pris en compte des études réalisées dans diverses langues (anglais, français, allemand, entre autres), soit avec des groupes indifférenciés d'enfants dyslexiques, soit avec des groupes d'enfants dyslexiques présentant des profils contrastés de dyslexie.

Les résultats des études de groupes indifférenciés d'enfants dyslexiques indiquent tout d'abord que les déficits phonologiques se retrouvent dans pratiquement toutes les études et chez pratiquement tous les individus, à la fois en lecture et hors lecture.

Ainsi, les performances en lecture d'enfants dyslexiques sont particulièrement déficitaires quand ils ne peuvent pas s'appuyer sur leurs connaissances lexicales, en l'occurrence quand ils doivent lire des mots rares ou des mots qui n'existent pas (pseudo-mots). Ce déficit de la procédure sub-lexicale (phonologique) de lecture a été relevé de façon convergente dans pratiquement toutes les études, y compris dans les comparaisons avec des enfants plus jeunes mais de même niveau de lecture. En outre, ce déficit est plus sévère quand les enfants sont confrontés à une écriture opaque (par exemple, en anglais comparativement au français). Enfin, quand l'orthographe est transparente, ce déficit se note principalement par la lenteur en lecture de pseudo-mots, non par la précision de la réponse.

Outre les déficits de la procédure sub-lexicale (phonologique) de lecture, des déficits de la procédure lexicale de lecture ont également été relevés chez les enfants atteints de dyslexie, ce qui se comprend bien à la lumière des travaux qui ont montré que la mise en place de la procédure lexicale dépend de l'efficience de la procédure sub-lexicale (phonologique). En conséquence,

les enfants présentent le plus souvent un double déficit en lecture, le déficit de la procédure sub-lexicale (phonologique) étant toutefois plus sévère que celui de la procédure lexicale. Il est en effet le seul à être relevé par rapport à des normolecteurs plus jeunes mais de même niveau de lecture, ce qui signale qu'il ne s'agit pas seulement d'un retard d'apprentissage.

Les enfants dyslexiques ont également des compétences particulièrement déficitaires dans des tâches qui impliquent des traitements phonologiques en dehors de la lecture : en analyse phonémique, en mémoire à court terme phonologique ainsi que dans des épreuves de dénomination qui permettent d'évaluer la précision et la rapidité de l'accès au lexique. Comme pour les déficits relevés en lecture, les déficiences dans ces trois domaines ont été rapportées dans la plupart des études et chez la plupart des enfants dyslexiques, y compris par rapport à des sujets plus jeunes mais de même niveau de lecture. Enfin, les compétences dans ces trois domaines sont les prédicteurs les plus fiables du futur niveau de lecture des enfants. En comparaison, le poids des habiletés non verbales, tout comme celui des facteurs socioculturels, est moindre. Les déficits relevés dans ces trois domaines peuvent entraver la mise en place de la procédure phonologique de lecture. En effet, pour utiliser cette procédure, il faut d'abord passer du code écrit au code oral, ce qui, dans une écriture alphabétique, nécessite d'associer les graphèmes aux phonèmes correspondants. Il faut ensuite assembler les unités résultant de cette opération de décodage afin de pouvoir accéder aux mots stockés dans le lexique oral. La première opération nécessite des habiletés d'analyse phonémique, la seconde implique la mémoire phonologique à court terme, et la troisième un accès précis et rapide au lexique oral.

D'autres travaux, également effectués avec des groupes indifférenciés d'enfants dyslexiques, ont examiné les déficits dans les traitements séquentiels visuels. Les résultats qui ont pour le moment été publiés ne sont pas concluants et ce pour trois principales raisons. D'une part, ce type de déficit se révèle plus fortement marqué sur les pseudo-mots que sur des mots ou sur des suites de lettres non prononçables. D'autre part, ces déficits peuvent être la conséquence des difficultés de lecture des dyslexiques. En effet, dans pratiquement toutes les études qui ont mis en relief ce type de déficit (à la différence de celles ayant mis en relief des déficits phonologiques), les dyslexiques ont été comparés à des normolecteurs de même âge.

Enfin, dans la plupart de ces études, les habiletés visuelles des enfants ont été évaluées en tenant compte de la vitesse de traitement et/ou avec des tâches comportant des contraintes temporelles (durée très brève d'exposition des stimuli). En revanche, seule la précision de la réponse a été examinée pour les évaluations des habiletés phonologiques et non pas la vitesse de traitement. Les résultats peuvent donc s'expliquer par les différences de mesures. Une des rares études dans laquelle les déficits des traitements séquentiels visuels et des traitements phonologiques ont été évalués intensivement et avec une méthodologie comparable a permis de noter que les

enfants dyslexiques souffrant sélectivement de déficits visuels de ce type sont très peu nombreux.

Enfin, il est à signaler qu'un certain nombre de travaux récents ont évalué une nouvelle hypothèse selon laquelle les problèmes typiques de lenteur relevés chez les enfants dyslexiques non anglophones s'expliqueraient par leurs difficultés à mémoriser la forme visuelle des mots, alors que le déficit de précision de la réponse relevé chez les anglophones proviendrait d'une déficience phonologique. Il est toutefois difficile d'imaginer que le phénotype de la dyslexie puisse diamétralement différer en fonction de la transparence de l'orthographe et de la mesure utilisée. De plus, les résultats de ces études, obtenus à partir de l'analyse des mouvements oculaires, ne permettent pas de valider cette nouvelle hypothèse étant donné que les enfants dyslexiques ont été comparés à des enfants de même âge : la spécificité de leurs mouvements oculaires peut donc n'être que la conséquence de leurs difficultés de lecture. Enfin, certains résultats de ces études sont compatibles avec l'hypothèse phonologique : par exemple, l'impact négatif de l'opacité de l'orthographe sur la durée des fixations oculaires, le fait que les différences les plus notables entre dyslexiques et normolecteurs aient été relevées en lecture de pseudomots et la présence dans certaines de ces études, de déficits phonologiques chez de futurs dyslexiques comparativement à de futurs normolecteurs, avant l'apprentissage de la lecture.

En plus des études de groupes indifférenciés de dyslexiques, d'autres études ont examiné des sujets supposés présenter des profils différenciés de dyslexie de type dyslexie phonologique (caractérisée par un déficit sélectif de la procédure phonologique de lecture, entre autres), dyslexie de surface (caractérisée par un déficit sélectif de la procédure lexicale de lecture, entre autres) et les profils mixtes, qui ont un double déficit. Les études publiées indiquent que pratiquement tous les dyslexiques ont (ou ont eu) un déficit phonologique, y compris les dyslexiques de surface. C'est ce qui ressort des études longitudinales, en particulier. De plus, dans les comparaisons avec des normolecteurs plus jeunes mais de même niveau de lecture, seule la proportion des dyslexiques phonologiques reste élevée, ce qui suggère que la plupart des dyslexiques dits de surface souffrent d'un simple retard d'apprentissage, puisqu'ils se comportent comme des normolecteurs plus jeunes qu'eux, les dyslexiques phonologiques ayant, pour la majorité d'entre eux, une trajectoire développementale atypique.

Les stratégies compensatoires développées par les dyslexiques ont pu toutefois masquer certaines réalités. En particulier, il a été montré que, chez le lecteur expert, l'identification des mots écrits est un acte quasi réflexe, qui n'est que peu influencé par les informations contextuelles. Ce sont les lecteurs les moins habiles, particulièrement les dyslexiques, qui utilisent le plus le contexte pour identifier les mots écrits. C'est vraisemblablement grâce à de telles stratégies que les dyslexiques arrivent à surmonter leur déficit phonologique. Le fait que les dyslexiques lisent mieux les mots qu'ils ont déjà

rencontrés que des mots nouveaux est probablement le résultat de stratégies compensatoires ; ils utilisent plus que les normolecteurs l'information lexicale contenue dans les mots. Des évidences indirectes de la mise en place progressive de ces stratégies compensatoires proviennent de données longitudinales. En effet, la plupart des dyslexiques âgés chez lesquels il n'a pas été possible de mettre en relief la présence de troubles phonologiques ont en fait souffert de tels troubles dans les périodes précoces de leur développement.

En conclusion, les études passées en revue indiquent qu'un déficit des compétences phonologiques est la caractéristique majeure de la dyslexie. Le fait que ce type de déficit est le plus souvent rapporté y compris par rapport à des normolecteurs plus jeunes mais de même niveau de lecture est le signe d'une atypie développementale et non d'un simple retard d'apprentissage. En outre, l'opacité de l'orthographe est un facteur environnemental aggravant. En l'état de la recherche, les preuves à l'appui d'un déficit visuel à l'origine de la dyslexie (ou de certaines formes de dyslexie) sont encore fragiles.

Les sous-types de dyslexies à travers les études de cas unique

La plupart des recherches effectuées tant en neuropsychologie qu'en neurosciences ou en génétique sur les troubles spécifiques d'acquisition de la lecture ont conclu à une forte hétérogénéité de la population dyslexique. Or, cette hétérogénéité ne peut pas être mise en évidence dans le contexte des études de groupe qui cherchent à montrer les tendances générales caractéristiques de la population dyslexique sans prise en compte de la variabilité observée au sein de cette population. De nombreuses études de cas ont cependant été publiées qui témoignent de la diversité des formes de dyslexies. Ces études permettent non seulement de dresser le profil cognitif d'un individu spécifique mais également d'identifier la (ou les) composante(s) cognitive(s) dont le dysfonctionnement rend compte de la performance déficitaire observée. Elles sont donc particulièrement pertinentes pour le praticien qui se trouve confronté à des cas particuliers et doit être en mesure à partir des éléments de l'évaluation neuropsychologique de faire des hypothèses sur la nature du déficit cognitif sous-jacent afin d'orienter au mieux la prise en charge. Sur le plan théorique, les études de cas sont indispensables à la validation des modèles théoriques ; elles peuvent conduire également à identifier de nouvelles composantes cognitives potentiellement impliquées dans les troubles dyslexiques et dont la pertinence pourra ensuite être testée sur de plus larges populations.

Plusieurs formes nettement différenciées de dyslexies ont été observées chez l'enfant. Bien que très rarement décrites, les formes de dyslexies développementales périphériques – dyslexie visuelle (essentiellement caractérisée par

la production préférentielle d'erreurs visuelles) et dyslexie par négligence (erreurs portant sur la partie initiale ou finale du mot indépendamment de ses caractéristiques linguistiques) – suggèrent que des troubles intéressant les traitements visuels dans leur composante attentionnelle peuvent interférer avec l'apprentissage de la lecture.

Les dyslexies phonologiques se caractérisent par un trouble sélectif en lecture de pseudo-mots et la production d'erreurs phonémiques. Elles s'accompagnent d'une dysorthographie du même type caractérisée par de faibles performances en dictée de pseudo-mots. Tous les cas répertoriés dans les travaux présentaient un trouble associé des capacités métaphonologiques et plusieurs démontraient un déficit de mémoire verbale à court terme. Ces formes de dyslexies semblent donc associées à un dysfonctionnement phonologique probablement à l'origine des troubles d'apprentissage de ces enfants. Les études de cas de dyslexie phonologique corroborent donc l'hypothèse classiquement admise selon laquelle un déficit phonologique est à l'origine des troubles dyslexiques. Cependant, certains cas prototypiques conduisent à nuancer l'idée selon laquelle les compétences phonologiques permettraient, via la procédure analytique, l'établissement des représentations orthographiques en mémoire. En effet, la mise en évidence de cas démontrant d'excellentes performances en lecture de mots réguliers et irréguliers malgré un trouble phonologique massif et une procédure analytique très déficitaire suggère que des mécanismes d'une autre nature contribuent également à la mémorisation des connaissances lexicales.

Dans certains cas rares, un enfant peut présenter un profil extrême de dyslexie de surface, sans aucun déficit phonologique. La dysorthographie est massive : les mots sont écrits tels qu'ils se prononcent sans prise en compte de leurs caractéristiques orthographiques. En fait, ces enfants ne semblent disposer d'aucune information mémorisée sur la séquence orthographique des mots. Dans ce type de cas, on peut suspecter d'autres types de dysfonctionnements, par exemple visuo-attentionnels.

Les dyslexies mixtes caractérisées par des difficultés sur tous les types d'items ont été très peu étudiées, malgré leur fréquence dans la population dyslexique. Deux cas décrits suggèrent qu'un dysfonctionnement soit phonologique soit visuo-attentionnel pourrait conduire à ce type de trouble, ceci n'excluant pas la possibilité de rencontrer ces deux déficits associés chez certains sujets.

Les troubles de l'apprentissage de l'orthographe

Alors que l'orthographe du français est particulièrement difficile en production (mais pas en perception) et qu'elle est socialement valorisée et défendue, peu d'études approfondies existent sur les difficultés qu'elle soulève et sur les troubles qui l'affectent. Le bilan des rares travaux, réalisés sans pers-

pective normative, met pourtant clairement en évidence l'existence de « zones de fragilité » « induisant » en quelque sorte les erreurs. Toutefois, les mécanismes impliqués dans la survenue des erreurs et les interventions susceptibles d'en réduire la fréquence restent largement méconnus et remarquablement non étudiés.

La littérature disponible sur les difficultés et les troubles de la production orthographique est rare en ce qui concerne le français écrit. Elle ne permet pas actuellement de répartir de manière rigoureuse les erreurs rencontrées dans les différentes dimensions impliquées dans la maîtrise de la production orthographique. En conséquence, il est actuellement impossible de déterminer s'il existe des patrons différenciés d'erreurs et de savoir si certains d'entre eux caractérisent tel ou tel handicap. Les seules données suffisamment nombreuses, mais elles restent là encore globales (à notre connaissance aucune étude ne répertorie les types d'erreurs), concernent les individus dyslexiques.

Les données disponibles s'appuient donc prioritairement sur les recherches effectuées sur d'autres systèmes orthographiques. L'acquisition du principe alphabétique pose problème, mais elle est surmontable, comme l'attestent les données portant sur les systèmes orthographiques transparents (espagnol, italien...) : les enfants dyslexiques parviennent à orthographier les mots. Les difficultés sont plus importantes avec les systèmes opaques, en raison des confusions induites dans les associations phonèmes-graphèmes (à un phonème correspondent plusieurs graphèmes). Les systèmes opaques ne codent pas que la phonologie, mais aussi les dimensions lexicale et morphologique. Certains individus éprouvent des difficultés à se constituer un lexique orthographique. Parfois, celui-ci paraît très réduit. Parfois, les difficultés tiennent non à sa taille mais au caractère approximatif ou erroné des formes orthographiques mémorisées. À notre connaissance, aucune donnée n'est disponible relativement à la distribution de ces différentes possibilités, de même concernant leur prévalence ou leur(s) comorbidité(s). L'extraction des régularités orthographiques (doubles consonnes, associations fréquentes de lettres...) n'a pas (encore) donné lieu à des recherches publiées : on ignore donc si certains troubles les affectent particulièrement. Enfin, les difficultés relatives à l'utilisation de la morphologie touchent à des degrés divers toute la population : même les grands journaux comportent des erreurs d'accord que des auteurs éminents commettent. La fréquence de ces erreurs dans la population tout-venant est inconnue, et donc la distribution qui permettrait de soupçonner l'existence de troubles et de mettre en relation ceux-ci avec d'autres caractéristiques des individus concernés. Comme, par ailleurs, ces erreurs se révèlent très sensibles à la mobilisation de l'attention, on ignore si leur survenue tient à des méconnaissances, à des fausses connaissances ou à des difficultés de mise en œuvre (en raison par exemple de la charge attentionnelle associée à la graphie, comme chez les jeunes enfants). Tout ou presque est donc à faire.

Au total, en l'absence de données précises portant sur les erreurs commises par le tout-venant des enfants ou des adultes, il est difficile de déterminer

dans quelle mesure le nombre et la nature des erreurs relèvent de performances normales nécessitant par exemple une pratique plus fréquente et régulière de certains exercices ou, au contraire, conduisent à soupçonner un trouble nécessitant alors une prise en charge spécifique. C'est sans doute là que réside la cause de deux faits qui ressortent du bilan de la littérature relative aux difficultés et troubles de la production orthographique. Premièrement, aucune étude de prévalence des troubles d'apprentissage de l'orthographe n'est disponible : leur étude est presque systématiquement associée à celle des troubles de la lecture (dyslexie), ce qui constitue, au moins a priori, une négligence d'autres hypothèses. Deuxièmement, les études portant sur les éventuelles associations (comorbidités) avec des troubles autres que ceux de la lecture sont extrêmement rares : une avec les troubles du calcul, quelques unes avec les troubles de l'attention. Il faut ajouter que, contrairement à ce qui vaut pour d'autres domaines de l'apprentissage, certaines des spécificités de l'orthographe du français (la rareté des marques morphologiques à l'oral et leur caractère systématique à l'écrit) interdisent qu'on attende que les indispensables recherches soient conduites sur d'autres systèmes orthographiques et que les solutions aux problèmes qui se posent soient en quelque sorte importées. En d'autres termes, il apparaît urgent, si l'on souhaite conserver en l'état l'orthographe du français, un changement radical relevant de choix politiques, de s'interroger sur la nature et la fréquence des difficultés, cela dans une perspective non normative, ainsi que sur les mécanismes impliqués dans l'apprentissage et la mise en œuvre des différentes composantes de l'orthographe. Il est tout aussi urgent de s'attacher aux caractéristiques de l'instruction dispensée et à l'évaluation de ses effets, à court et à moyen termes. Enfin, les études de prévalence et de comorbidité devraient être conduites sans considérer a priori que les difficultés et troubles de la production orthographique se posent de manière sinon unique tout au moins privilégiée chez les enfants dyslexiques. Même si cela est vrai, personne ne peut exclure l'existence de troubles dans d'autres populations.

En résumé, les difficultés de la production orthographique du français sont telles qu'on aurait pu s'attendre à ce que les recherches sur les difficultés, leurs distributions, les mécanismes sous-jacents et sur les effets de l'instruction dispensée, y compris à des populations présentant des troubles spécifiques, fussent nombreuses et précises. Les données montrent que tel n'est pas le cas, et que les rares données sont récentes. Elles portent par ailleurs surtout sur des aspects descriptifs : l'étude des mécanismes cognitifs et de leurs déterminants, mais aussi et surtout celle des apprentissages font encore largement défaut.

La dyscalculie

Les études sur la dyscalculie n'en sont qu'à leurs débuts et notre degré de connaissance dans ce domaine ne peut être comparé à celui que nous

avons acquis concernant la dyslexie. Il n'existe même pas de définition ni de critère diagnostique universellement admis de la dyscalculie. Le plus souvent, sont considérés dyscalculiques les enfants obtenant une performance s'éloignant fortement de la moyenne des enfants de leur âge à une batterie d'évaluation standardisée, alors que le niveau intellectuel ne s'écarte pas trop de la normale. Ces critères ne permettent pas de distinguer la dyscalculie de ce que d'autres auteurs appellent les *learning disabilities in mathematics*. L'analyse des études de prévalence conduit à penser que, si les enfants présentant des difficultés en arithmétique semblent approximativement aussi nombreux que ceux ayant des difficultés en lecture, les troubles spécifiques du calcul se rencontrent plus rarement que les troubles isolés de la lecture. Dans plus d'un cas sur deux, et même chez les enfants d'efficience intellectuelle normale, les difficultés en calcul s'accompagnent de difficultés en lecture. À la différence de ce qui semble s'observer pour la dyslexie, la dyscalculie affecte de façon équivalente les garçons et les filles.

Le consensus le plus large s'établit autour de la description du trouble et des secteurs des activités numériques les plus déficitaires. Bien avant le début des apprentissages systématiques, les enfants dyscalculiques développent une mauvaise compréhension des principes qui régissent les activités de dénombrement (compter en pointant avec le doigt un ensemble d'objets), lesquelles constituent le socle sur lequel se construiront toutes les habiletés arithmétiques ultérieures. Ces enfants se distinguent des autres par une utilisation plus fréquente et plus prolongée au cours du développement de procédures immatures de comptage pour effectuer les calculs simples. Par dessus tout, les enfants dyscalculiques se distinguent par des difficultés atypiques de mémorisation des faits arithmétiques et d'apprentissage des tables d'addition et de multiplication. Ainsi, ils recourent moins souvent que les autres et de façon moins sûre à la récupération directe du résultat en mémoire lorsqu'ils résolvent des opérations. Cette difficulté s'avère étonnamment persistante au cours de leur développement. Ces troubles dans les activités élémentaires se répercutent sur les activités de résolution de problèmes et d'opérations complexes. Dans ces dernières, l'utilisation des retenues demeure difficile. Ces difficultés sont par ailleurs d'autant plus importantes que les enfants présentent en outre des difficultés en lecture.

Un autre point d'accord concerne l'évolution du trouble. Bien que peu d'études se soient penchées sur cette question, toutes rapportent que la dyscalculie est un trouble persistant. Toutefois, les formes « pures » où les difficultés en arithmétique sont les plus isolées sont aussi les plus instables, principalement chez les jeunes enfants à l'entrée de l'école primaire. Ainsi, certains considèrent ces formes isolées comme un retard de développement plus qu'une véritable différence entre individus. Au cours du développement, et à l'exception des difficultés mémorielles concernant les faits

numériques, les enfants dyscalculiques parviennent à rejoindre leurs pairs sur les activités les plus simples (les additions).

En revanche, il n'existe pas de consensus en ce qui concerne le profil cognitif accompagnant la dyscalculie. À quelques exceptions près, la plupart des auteurs rapportent de faibles capacités en mémoire de travail chez les enfants dyscalculiques. Il est fréquemment considéré que la dyscalculie s'accompagne aussi de déficits sur le plan visuo-spatial sans pour autant que ce point fasse l'unanimité. Certes, ces aspects sont fréquemment déficitaires chez les dyscalculiques mais il n'est pas clairement établi ni universellement reconnu qu'ils le sont de façon spécifique ou plus prononcée. Les enfants dyscalculiques présentent fréquemment des troubles du langage écrit affectant la lecture comme l'écriture. Plus souvent que les autres, ils présentent aussi des troubles de l'attention.

Les incertitudes concernant le profil cognitif pourraient s'expliquer par l'existence de plusieurs sous-types différents de dyscalculie. Bien que plusieurs classifications aient été proposées, elles diffèrent parfois largement les unes des autres. Rarement fondées sur l'analyse approfondie de larges échantillons, leur pertinence est douteuse et leur nombre plaide d'ailleurs contre leur validité. Même les classifications ou distinctions les plus intuitivement attractives ont été démenties par les analyses rigoureuses : par exemple, il semble ne pas exister de différences qualitatives dans les difficultés rencontrées par les enfants présentant des troubles spécifiques du calcul et ceux ayant des troubles de la lecture associés.

De même, les causes de la dyscalculie demeurent inconnues pour l'instant. Il n'est pas même établi s'il s'agit d'un trouble primaire pouvant exister de manière isolée ou s'il s'agit d'une manifestation d'un trouble plus général affectant un ensemble plus large de fonctions et d'activités. Parmi les troubles généraux qui entraîneraient la dyscalculie, on a évoqué de faibles capacités en mémoire de travail ou bien un dysfonctionnement de l'hémisphère droit entraînant une déficience des habiletés visuo-spatiales. Une hypothèse plus récente suggère que la dyscalculie résulterait du dysfonctionnement de structures cérébrales spécialisées dans les traitements numériques. Issues de l'évolution, ces structures confèreraient aux êtres humains un « sens » des nombres et des relations géométriques qui ferait défaut aux dyscalculiques. Cette hypothèse séduisante demande cependant à être étayée empiriquement. Bien que l'on ne sache pas quelles sont les causes de la dyscalculie, toutes les hypothèses avancées s'accordent sur le fait que la dyscalculie se manifeste bien avant que l'enfant ne s'engage dans les apprentissages systématiques de l'école primaire.

Les études sur les interventions et les programmes de remédiation n'en sont qu'à leurs débuts. Portant souvent sur de faibles effectifs, elles sont en général moins bien contrôlées que les études explorant les manifestations

ou les causes du trouble. Bien que la littérature rapporte quelques succès dans les interventions (les enfants dyscalculiques en ayant bénéficié voient leur performances en arithmétique s'améliorer), il est encore trop tôt pour se déterminer sur leurs mérites et intérêts respectifs.

En résumé, nos connaissances concernant la dyscalculie sont lacunaires et incertaines. Ceci est dû à la fois au faible nombre d'études, relativement à la dyslexie par exemple, qui lui sont consacrées, mais aussi à l'ampleur et à la difficulté même de l'objet d'étude, le nombre et l'arithmétique, sans parler des mathématiques, recouvrant des activités très diverses qui impliquent un grand nombre de fonctions cognitives différentes. Toutefois, les difficultés d'étude que pose la dyscalculie pourraient être compensées par le fait qu'elle n'est pas seulement un trouble des apprentissages. En effet, comme l'a montré la psychologie cognitive, il existe chez les êtres humains un développement spontané des activités numériques et de leur compréhension qui fait que, bien avant les premiers apprentissages systématiques, l'enfant a constitué un répertoire de savoirs et savoir-faire concernant le nombre et ses utilisations. Cette particularité rend possible la détection précoce d'enfants qui non seulement présentent des risques de troubles des apprentissages ultérieurs, comme c'est le cas pour la lecture, mais qui manifestent avant tout apprentissage scolaire un développement atypique des compétences numériques auquel il est peut-être possible de remédier avant même que la dyscalculie comme trouble spécifique de l'apprentissage n'apparaisse.

Les troubles des acquisitions associés

Une caractéristique commune à la dyslexie, dysorthographie, dyscalculie est que ces entités se rencontrent souvent associées entre elles chez une même personne, ce qui pour le clinicien, le rééducateur ou le pédagogue est riche d'enseignements quant à la sévérité du trouble, et donc à ses répercussions en termes de rééducation tout autant que de pédagogie. Mais l'existence de troubles associés à la dyslexie constitue également un puissant outil théorique pour le chercheur, lui fournissant autant de pistes vers où orienter ses recherches.

Dans le contexte d'un centre de référence pour les troubles des apprentissages, il n'est pas étonnant de constater une nette prédominance de dyslexies, ou de troubles sévères de l'acquisition du langage écrit (puisqu'on ne peut en théorie commencer à parler de dyslexie qu'après un certain temps d'apprentissage).

Inventaire des diagnostics portés lors de 209 cas successifs reçus dans un centre de référence pour les troubles d'apprentissage (CHU de Marseille, d'après Habib, 2003*)

Diagnostic	Nombre d'enfants atteints (N=209)
Dyslexie, dysorthographie	177
Troubles du langage oral	84
Dyscalculie	48
Dysgraphie	37
Trouble déficit de l'attention/hyperactivité	32
Dysphasie	26
Précocité intellectuelle	21
Dyspraxie	19
Trouble des conduites	11
Autisme**	2
Dyschronie	45

* HABIB M. La dyslexie à livre ouvert. Résodys, Marseille, 2003 : 171 p

** Les enfants atteints d'un trouble envahissant du développement (autisme) ne sont pas abordés dans cette partie car leur prise en charge ne relève pas d'un centre de référence pour troubles des apprentissages. Ce sujet est traité dans l'expertise « Troubles mentaux, dépistage et prévention chez l'enfant et l'adolescent » Inserm, 2002

La dyscalculie isolée donne rarement lieu à consultation dans un centre de référence, ce qui voudrait dire que la fréquence réelle de dyscalculie dans la population est plus élevée que celle indiquée. La dyschronie (trouble du repérage temporel) est moins connue que les autres syndromes, sans doute, ici encore, parce que le trouble ne constitue pas, en tout cas à première vue, un réel handicap pour la poursuite de la scolarité. En tout état de cause, la dyslexie apparaît plus souvent associée qu'isolée (seulement 10 % dans la population présentée). Cependant, il n'existe pas de données permettant d'évaluer la prévalence des comorbidités au sein de l'ensemble de la population dyslexique.

La dyslexie fait suite dans plus de la moitié des cas à des troubles du langage oral, eux-mêmes de présentation diverse. Le terme « dysphasie » utilisé en France pour les troubles sévères du langage oral est assez rarement utilisé dans la littérature anglo-saxonne qui préfère regrouper sous celui d'altération spécifique du langage (*Specific language impairment*, ou SLI), tous les troubles du langage oral, sans présumer de leur sévérité.

Nombre d'enfants d'intelligence normale ayant des difficultés d'apprentissage de l'arithmétique présentent aussi des difficultés d'apprentissage du langage écrit. Selon certains auteurs, dans une population d'enfants dyscalculiques, 17 à 64 % sont atteints de dyslexie. Toutefois, la dyscalculie existe également comme trouble isolé. Il semble que les enfants présentant des difficultés spécifiques en arithmétique se distinguent de ceux présentant des difficultés dans les deux domaines. La plupart des études distinguant les deux populations

font état de différences dans la sévérité des troubles, des différences concernant la nature ou l'étendue des difficultés étant moins certaines. La plupart des auteurs s'accordent sur le constat que les enfants qui présentent une comorbidité avec des troubles de la lecture ont un handicap plus important en arithmétique et dans les tests neurologiques que les enfants atteints de dyscalculie seule. Cependant, les raisons de la fréquente comorbidité entre troubles de l'arithmétique et de la lecture demeurent obscures. De fait, dans de nombreuses études, les groupes avec une comorbidité manifestent un niveau intellectuel inférieur (au moins de manière descriptive et parfois statistiquement significative) à celui des groupes avec un déficit simple.

Les troubles de la coordination, qui représentent environ 6 % de la population générale, avec ici encore une nette prédominance de garçons, comportent divers symptômes aisément reconnaissables, mais qui se regroupent entre eux de manière très variable. Schématiquement, on reconnaît des troubles des « praxies », c'est-à-dire de la capacité à choisir, planifier, séquencer, et exécuter le mouvement, avec des conséquences d'importance variable sur les actes de la vie quotidienne. L'incidence de ces troubles sur les apprentissages peut être majeure. Mais les troubles chez le dyspraxique ne se résument pas à des troubles moteurs, ou même de coordination sensori-motrice : des troubles de nature purement sensorielle peuvent sans doute être intégrés dans le concept de dyspraxie, de manière plus ou moins franche, intéressant de manière variable les principaux systèmes sensoriels impliqués dans la motricité : système proprioceptif, visuel et vestibulaire. En fait, toute action impliquant la gestualité et/ou la posture nécessite également des capacités perceptives et visuo-spatiales intactes, de sorte qu'il est difficile de dissocier ce qui est purement praxique, de ce qui relève de capacités perceptives.

Il pourrait exister un « fond de comorbidité » entre les troubles développementaux de coordination (DCD), les troubles déficit de l'attention/hyperactivité (TDAH), les troubles de la lecture et les troubles du langage oral (SLI). La question des liens entre troubles de la coordination et difficultés de lecture a fait l'objet d'un intérêt particulier. Une des questions majeures encore non résolues est de savoir s'il existe une forme particulière de dyslexie qui accompagnerait de façon spécifique les troubles de la coordination sensori-motrice chez le dyspraxique. Dans la plupart des travaux sur le sujet, il est rapporté que plus de la moitié des dyspraxiques ont également des troubles d'apprentissage de la lecture. Cette coïncidence entre troubles moteurs et troubles de l'apprentissage en général, et de la lecture en particulier, a été un des supports de la théorie cérébelleuse qui représente l'une des pistes dans la quête actuelle des chercheurs pour une meilleure compréhension des déficits neurocognitifs sous-jacents aux troubles des apprentissages.

L'expérience clinique montre qu'il est rare qu'un enfant dyspraxique ait une écriture intacte. À l'inverse, il existe beaucoup de dysgraphiques chez qui on ne met pas en évidence de signes francs de dyspraxie. Les liens entre DCD et troubles des apprentissages peuvent répondre à deux cas de figure : soit il s'agit

d'une dyspraxie avec ses conséquences multiples et variables sur la réalisation des gestes, incluant l'écriture, soit le trouble est plus circonscrit au domaine de l'écriture elle-même et apparaît alors comme en lien étroit avec les performances dans le domaine linguistique.

Les travaux statistiques sur l'association entre précocité et troubles d'apprentissage sont rares. Il n'y a pratiquement aucun article scientifique consacré à l'étude de l'association précocité/trouble d'apprentissage alors que paradoxalement, les commentaires de nature pédagogique abondent sous forme non scientifique, par exemple dans des dizaines d'articles ou de témoignages recueillis sur Internet. Les estimations les plus basses indiquent que 2 à 10 % des enfants enrôlés dans les études américaines sur les surdoués souffrent également de troubles spécifiques d'apprentissage, ce qui n'est pas significativement plus fréquent que dans la population générale, mais environ 40 % des écoliers surdoués ne sont pas diagnostiqués avant le lycée. Incontestablement, la littérature est encore insuffisamment précise dans le domaine pour permettre de mesurer la fréquence exacte de l'association entre précocité et trouble d'apprentissage, et de nouvelles études sont nécessaires. Mais si le fait se confirme, considérer la précocité intellectuelle comme une comorbidité de la dyslexie et des autres troubles d'apprentissage serait d'une importance théorique indéniable, fournissant un puissant instrument de réflexion pour aborder la question des mécanismes sous-jacents. Dans ce cas, il est nécessaire d'imaginer qu'un processus commun ait été capable de provoquer à la fois la dysfonction d'un module et le meilleur fonctionnement d'un autre, ce qui contraint considérablement les modèles explicatifs potentiels.

Les troubles comportementaux ou émotionnels associés

Plusieurs travaux de la littérature apportent des preuves significatives de l'association fréquente entre les difficultés d'apprentissages et les troubles du comportement ou émotionnels. Les troubles émotionnels ou comportementaux peuvent alors être secondaires à la situation d'échec scolaire et/ou aux conditions environnementales sociales, familiales ou psychoaffectives aggravant le trouble cognitif ou bien s'inscrire, au contraire, dans une réelle comorbidité, avec un lien, peut-être d'ordre génétique, entre les deux affections. La prise en charge des deux types de troubles peut être réalisée même si la question du mécanisme sous-jacent à leur association est loin d'être résolue.

Les grandes études de cohortes d'enfants utilisant comme méthodologie les questionnaires étalonnés de type CBQ *(Child Behavior Questionnaire)* montrent que les enfants présentant un trouble psychopathologique (externalisé ou internalisé) ont un niveau en lecture et/ou en mathématiques inférieur aux enfants sans trouble psychopathologique. Ces études ne décrivent pas le profil cognitif des enfants ou les indices de sévérité des troubles des apprentissages et ne permettent pas de reconnaître une population d'enfants qui du

fait d'une dyslexie-dysorthographie mal prise en compte, et en situation d'échec scolaire, présentent des troubles psychologiques secondaires.

L'anxiété, l'humeur dépressive, le trouble déficit de l'attention/hyperactivité, le trouble des conduites sont fréquemment rencontrés chez les enfants mauvais lecteurs. Cette association peut être mise en évidence dès la première évaluation dans les suivis longitudinaux de 7 à 10 ans, et la possibilité d'un traitement précoce peut être envisagée. L'association existe indépendamment des autres facteurs environnementaux familiaux et sociaux en cause dans les troubles émotionnels et comportementaux.

Les troubles comportementaux sont plus fréquents chez les enfants dyslexiques ou dyscalculiques que chez les enfants sans trouble des apprentissages, mais moins fréquents que dans une population d'enfants référés en psychiatrie. L'anxiété de performance, les difficultés de relations avec les pairs, les relations familiales conflictuelles et la faible estime de soi sont également fréquemment rencontrées dans cette population. À titre d'exemple, un centre de référence sur les troubles du langage français trouvait, lors de l'examen médical, psychologique et orthophonique, des difficultés psychoaffectives chez 28 % des 173 enfants porteurs d'un trouble des apprentissages. Ceci souligne que le clinicien doit être attentif, aux aspects cognitifs et également émotionnels ou comportementaux dans l'évaluation diagnostique et la prise en charge des troubles des apprentissages.

Une littérature abondante concerne l'association entre les troubles des apprentissages (la dyslexie en particulier) et le trouble déficit de l'attention avec ou sans hyperactivité (TDAH). Toutes les études convergent sur le fait qu'un enfant ayant une dyslexie ou un TDAH, présente un risque élevé d'avoir l'autre trouble. Cependant, le choix des instruments de mesure et, des critères de définition pour le TDAH et les troubles des apprentissages, l'âge de l'enfant et le lieu de recrutement peuvent expliquer la disparité dans la fréquence de cette comorbidité. Plusieurs hypothèses de causalité sont évoquées et la question du mécanisme sous-jacent à cette association est loin d'être résolue. Pour certains, les troubles comportementaux peuvent être une conséquence de l'échec scolaire, ou à l'inverse pour d'autres les difficultés de lecture des enfants hyperactifs peuvent s'expliquer par les troubles attentionnels. Pour d'autres enfin, il existerait un lien, sans doute d'ordre génétique, entre les deux affections, comme l'évoque l'étude de jumeaux du *Colorado Learning Disabilities Research Center*. La fréquence plus importante de troubles comportementaux chez les sujets dyslexiques semble directement liée à la comorbidité entre dyslexie et hyperactivité et spécifique des garçons alors que l'association entre troubles anxieux ou de l'humeur d'une part, et dyslexie d'autre part est indépendante de l'hyperactivité et plus fréquente chez les filles.

Il apparaît indispensable d'évaluer chez les enfants porteurs d'un trouble des apprentissages, les compétences attentionnelles et le degré d'hyperactivité, ainsi que les autres symptômes psychopathologiques associés afin d'assurer une prise en charge complète.

Enfin, plusieurs équipes ont largement décrit leur expérience de pédopsychiatre ou psychologue de formation ou d'orientation psychanalytique avec les enfants porteurs de troubles des apprentissages. Sollicités par les rééducateurs et les pédagogues, les psychiatres et psychanalystes se sont intéressés au fonctionnement psychique dans lequel s'inscrivaient les difficultés d'apprentissage de l'enfant afin de mieux cerner les approches thérapeutiques à proposer. Les études utilisant les tests projectifs dans des populations d'enfants dyslexiques ne montrent pas une organisation univoque de la personnalité de ces enfants comparés à des témoins sans dyslexie, excluant une relation unique de causalité entre personnalité et dyslexie. Néanmoins, lorsque l'enfant et sa famille sont en souffrance, et/ou lorsque la rééducation ne donne pas les résultats escomptés, l'analyse du développement psychique de l'enfant et de ses interactions avec son environnement, en utilisant les approches psychanalytiques, peut venir compléter l'approche cognitive. Ces deux approches peuvent, à condition que l'une n'exclue pas l'autre, permettre une prise en charge de l'enfant dans sa globalité et sa diversité.

Théories explicatives de la dyslexie : la théorie phonologique

Parmi les hypothèses explicatives de la dyslexie, la théorie phonologique est largement étayée par des travaux expérimentaux.

Le fondement de la théorie phonologique repose sur le fait que la lecture est une activité langagière. Cette théorie s'appuie sur le constat que la langue écrite, qui s'est mise en place après la langue orale dans la phylogenèse (le développement de l'espèce humaine) se met également en place après la langue orale dans l'ontogenèse (le développement de l'individu). De plus, quel que soit le système d'écriture, la langue écrite est, de façon intrinsèque, un système second par rapport à l'oral : même si la perception de l'écrit dépend de la vision alors que celle de l'oral dépend de l'audition, le lecteur peut donc toujours avoir accès à la forme sonore des mots qu'il lit. Enfin, la théorie phonologique s'appuie sur la définition de la dyslexie, qui est un trouble spécifique d'apprentissage de la lecture ne résultant pas, entre autres, de déficiences sensorielles avérées.

Quel que soit le système d'écriture, le mot est une unité de base de l'écrit. Cela peut expliquer pourquoi les compétences spécifiques à la lecture se situent au niveau des procédures d'identification des mots écrits. Le développement d'automatismes dans cette identification permet à l'enfant d'atteindre un niveau de compréhension écrite égal à celui de sa compréhension orale, en le dégageant du poids d'un décodage lent et laborieux. Dans une écriture alphabétique, cette identification peut être obtenue soit par le décodage, qui s'appuie sur les correspondances grapho-phonémiques, soit par la

procédure lexicale, qui s'appuie sur les mots. Toutefois, le décodage ne renvoie pas seulement à la lecture laborieuse du débutant : le lecteur expert peut en effet identifier en quelques centaines millisecondes des mots qu'il ne connaît pas. D'autre part, la procédure lexicale n'est ni une procédure globale ni une procédure purement visuelle. En effet cette procédure, qui ne s'appuie pas sur la silhouette des mots écrits (leur forme globale) permet à l'expert d'avoir accès également en quelques centaines de millisecondes, à leur code visuel, mais aussi à leur code phonologique et sémantique.

L'hypothèse phonologique part du constat que les performances en lecture des dyslexiques sont notoirement faibles quand ils ne peuvent pas s'appuyer sur leurs connaissances lexicales, en l'occurrence quand ils doivent décoder des mots rares ou des mots qui n'existent pas (des pseudo-mots). Un tel déficit a été relevé de façon convergente dans les études de groupes indifférenciés de dyslexiques, y compris par rapport à des enfants plus jeunes de même niveau de lecture. En outre, ce déficit, qui est plus marqué quand les dyslexiques sont confrontés à une écriture opaque, se note principalement par la lenteur de la réponse lorsque l'orthographe est transparente. Enfin, les études qui ont examiné des sujets ayant des profils différenciés de dyslexie indiquent que les habiletés phonologiques de lecture des dyslexiques phonologiques, sont inférieures à celles d'enfants plus jeunes mais de même niveau de lecture. Ces résultats suggèrent que le déficit de la procédure phonologique de lecture est robuste et prévalent.

L'hypothèse phonologique classique explique les difficultés de lecture des dyslexiques par la faiblesse de leurs habilités phonologiques en dehors de la lecture, entre autres, en analyse phonémique et en mémoire à court terme phonologique. Ces déficits peuvent entraver le décodage vu que, pour utiliser cette procédure, il faut mettre en correspondance les graphèmes avec les phonèmes, ce qui implique des capacités d'analyse phonémique. Il faut ensuite assembler les unités résultant du décodage pour accéder aux mots, ce qui nécessite un recours à la mémoire phonologique à court terme. Plus récemment, des déficits d'accès au lexique oral ont été relevés chez les dyslexiques. Partant de ce constat, certains chercheurs assument que l'origine des déficits en lecture des dyslexiques serait double : l'une reliée aux compétences d'analyse et de mémoire phonologique, l'autre reliée à l'accès lexical, généralement évaluée par le temps de réponse dans des tâches de dénomination rapide d'images d'objets ou de couleurs. Cette hypothèse est étayée par le fait que la réussite à ce type de tâches explique une part unique de la variance en lecture, en plus de celle expliquée par les capacités phonologiques. De plus, les capacités phonologiques et celles de dénomination rapide ne sont pas corrélées aux mêmes compétences de lecture, les premières expliquant la précision de la réponse, les secondes le temps de traitement. Ces résultats peuvent toutefois être dus au type de mesure utilisé (précision pour les tâches phonologiques, temps de traitement pour les autres), et non au type de tâche. Il est actuellement admis que les tâches de dénomination

rapide évaluent des compétences phonologiques qui, lorsque l'enfant utilise surtout le décodage, lui permettraient d'accéder rapidement et précisément au mot oral qui correspond à la chaîne de lettres qu'il a décodée.

L'hypothèse phonologique classique est robuste : dans la plupart des études de groupes, des déficits phonologiques ont été relevés chez les dyslexiques et dans les études qui ont examiné les données individuelles, un déficit phonologique a été identifié dans la majorité des cas de dyslexie. Enfin, ces capacités phonologiques sont les seules qui expliquent les performances en lecture des dyslexiques, qu'il s'agisse de leurs performances concomitantes (mises en évidence par des analyses de régression) ou futures (mises en évidence dans des études longitudinales). En outre, des dysfonctionnements neuronaux ont principalement été relevés dans les aires cérébrales impliquées dans le traitement du langage (aires périsylviennes gauche), ces dysfonctionnements se manifestant surtout par des hypo-activations des aires dédiées aux traitements phonologiques, ce qui est un argument fort à l'appui de cette hypothèsDans ces études toutefois, le facteur « phonologie » intègre des capacités diverses. Les déficits dans ces différents domaines pourraient, en fait, s'expliquer par un facteur sous-jacent, soit un déficit des traitements auditifs rapides, soit un déficit de discrimination des phonèmes.

L'hypothèse auditive stipule que le déficit phonologique des dyslexiques provient d'une déficience de perception auditive affectant le traitement des sons brefs et des transitions temporelles rapides, qu'il s'agisse ou non de sons du langage. En l'état actuel de la recherche, les troubles auditifs, lorsqu'ils sont présents, ne semblent pas liés à la rapidité de la succession des stimuli, pas plus qu'à leur ordre d'apparition. De plus, par rapport aux déficits phonologiques classiques, ces déficits ne sont pas fréquents. Enfin, ils ne permettent pas d'expliquer le déficit des compétences de lecture des dyslexiques d'après les analyses de corrélation et de régression.

Une autre hypothèse est que les dyslexiques auraient des difficultés de discrimination des phonèmes. Cette explication s'appuie sur le fait que, pour relier les graphèmes aux phonèmes, il faut non seulement pouvoir isoler les phonèmes, mais il faut également bien les discriminer. Si de nombreux travaux ont porté sur les liens entre apprentissage de la lecture et la première capacité (évaluée par des tâches de comptage ou de suppression de phonème), peu ont évalué l'incidence de la qualité des représentations phonémiques sur cet apprentissage. Or, le phonème est le résultat d'un découpage arbitraire et spécifique à une langue. En effet, d'une part, dans un continuum acoustique, on catégorise, ce qui veut dire que l'on perçoit toute une gamme de sons acoustiquement différents comme /p/ et d'autres comme /t/ ou /k/. D'autre part, le répertoire des phonèmes diffère d'une langue à l'autre, le phonème étant l'unité minimale qui permet de différencier deux mots. Ainsi, /b/ et /v/ sont deux phonèmes différents en français, qui permettent de distinguer « bol » de « vol », mais pas en espagnol. En revanche, /r/ simple et /r/ roulé sont deux phonèmes différents en espagnol permettant de

distinguer « pero » (« mais ») de « perro » (« chien ») alors qu'en français, ces deux /r/ ne sont que des variantes dialectales, des allophones, d'un même phonème. Il a été montré que le nouveau-né perçoit différentes oppositions phonétiques susceptibles d'intervenir dans les langues du monde. En fonction de son environnement linguistique, ce répertoire va très rapidement se restreindre aux catégories phonémiques utiles pour traiter sa langue, ce qui implique un processus de sélection, et de restructuration, des catégories phonétiques initiales. C'est ce processus qui n'aurait pas été bien mené à terme chez les futurs dyslexiques, tout au moins chez certains d'entre eux.

De fait, les études disponibles indiquent que les catégories phonémiques des dyslexiques ne sont pas aussi bien spécifiées que celles des normolecteurs. En effet, ils discriminent moins bien des phonèmes appartenant, dans leur langue, à différentes catégories phonémiques. En revanche, ils perçoivent mieux certaines différences phonétiques qui ne sont pas utiles pour traiter leur langue (on parle de perception allophonique). Ce double déficit, qui ne proviendrait pas de déficiences des mécanismes auditifs, peut n'avoir que des conséquences mineures sur l'acquisition de la langue orale. L'accès au lexique mental peut en effet s'opérer à partir de représentations allophoniques, quoique de manière moins économique que s'il s'effectue à partir de représentations phonémiques, au moins en termes de volume d'information à traiter. En revanche, ce type de déficit peut gravement entraver l'acquisition du langage écrit : pour relier les graphèmes aux phonèmes correspondants, il faut des catégories phonémiques bien spécifiées. Ces résultats peuvent expliquer les difficultés d'analyse phonémique mais aussi celles de mémoire à court terme phonologique, dues à l'accroissement de la charge mnésique provenant d'un répertoire phonologique élargi, allophonique plutôt que phonémique. Ils peuvent aussi expliquer les difficultés d'accès au lexique, en particulier celles mises en relief par les tâches de dénomination sérielle rapide, d'où la possibilité d'un syndrome sous-jacent aux différents déficits intégrés dans le cadre de l'explication phonologique classique de la dyslexie.

Les résultats obtenus dans des tâches de discrimination phonémique apportent des arguments nouveaux à l'appui de l'hypothèse explicative de la dyslexie par un déficit phonologique. Des études complémentaires sont toutefois nécessaires, pour évaluer, d'une part, la fréquence de ces déficits, d'autre part, leur pouvoir explicatif ainsi que les relations qu'ils entretiennent avec les déficits phonologiques classiques (entre autres, déficits de segmentation phonémique et de mémoire à court terme phonologique).

Les dimensions visuelles de la dyslexie

Une autre hypothèse explicative de la dyslexie porte sur les dimensions visuelles. Apprendre à lire nécessite de mettre en relation une information

orthographique issue de l'analyse visuelle de la séquence du mot écrit et une information phonologique dérivée du traitement auditif de la séquence orale correspondante. De nombreuses études se sont intéressées à la nature des traitements visuels impliqués dans cet apprentissage et ont fait l'hypothèse que certains dysfonctionnements des traitements visuels pourraient induire des troubles dyslexiques.

Les travaux menés dans ce cadre suggèrent que certains dyslexiques présentent effectivement un déficit des traitements visuels (indépendamment de toute atteinte perceptive). Il est important de noter cependant que ces troubles visuels ne sont jamais mis en évidence sur la base d'épreuves cliniques mais nécessitent le recours à des épreuves psychophysiques informatisées.

Les résultats d'un certain nombre d'études expérimentales et neurophysiologiques plaident en faveur d'une atteinte du système visuel magnocellulaire chez les personnes (adultes ou enfants) présentant une dyslexie développementale. Cette conclusion est basée sur la mise en évidence dans certaines études d'un trouble de la sensibilité aux faibles fréquences spatiales et aux hautes fréquences temporelles ainsi qu'une sensibilité réduite aux points en mouvement : les dyslexiques sont moins performants que les normolecteurs pour détecter le mouvement d'un ensemble de points ; ils ont une moindre discrimination de la différence de vitesse entre deux cibles en mouvement. Certaines recherches ont par ailleurs montré l'existence de corrélations entre les performances obtenues sur les épreuves visuelles psychophysiques et diverses mesures de lecture. Par ailleurs, l'hypothèse magnocellulaire, initialement limitée au système visuel, a peu à peu évolué pour tendre vers l'hypothèse d'un trouble amodal des systèmes magnocellulaires : les enfants dyslexiques auraient du mal à traiter les informations temporelles rapides dans l'une ou l'autre modalité (visuelle ou auditive) suite à l'atteinte conjointe des systèmes magnocellulaires visuels et auditifs. Des résultats d'études expérimentales et neurophysiologiques semblent conforter cette hypothèse et ainsi rendre compte de la co-occurrence chez certaines personnes dyslexiques de troubles à la fois phonologiques et visuels.

Cependant, l'hypothèse magnocellulaire est aujourd'hui controversée. Les limites méthodologiques de certaines études ayant conclu à un déficit visuel magnocellulaire ont été soulignées et l'hypothèse souffre d'un manque de duplication des résultats. L'hypothèse amodale doit également être reconsidérée à la lumière des résultats suggérant que seule une faible proportion de dyslexiques porteurs de trouble phonologique présente à la fois des difficultés de traitement des sons de parole et des difficultés de traitement visuel magnocellulaire. Cependant, les recherches menées dans ce cadre ont conduit à entrevoir l'extrême complexité de ce type de trouble dont on peut penser aujourd'hui qu'il se manifeste dans certaines conditions expérimentales particulières qui restent encore largement à définir et qu'il ne s'observe que dans une sous-population d'enfants dyslexiques, elle-même non clairement identifiée.

Les études les plus récentes suggèrent notamment que le trouble magnocellulaire pourrait ne se manifester que lorsque la tâche implique un traitement attentionnel spécifique. Ceci rejoint les résultats d'un certain nombre d'autres travaux montrant l'existence de troubles de l'attention visuelle en contexte dyslexique. Des difficultés de focalisation attentionnelle, de désengagement attentionnel et des problèmes d'orientation automatique de l'attention se traduisant par un phénomène de mini-négligence gauche ont notamment été décrits chez les dyslexiques. Cependant, l'hypothèse d'un trouble de l'attention visuelle tout comme l'hypothèse d'une atteinte magnocellulaire se heurte au fait que ces déficits ont été le plus souvent rencontrés en association avec les troubles phonologiques. Ainsi, les troubles de l'attention visuelle seraient à replacer dans le contexte d'un trouble amodal des traitements attentionnels, s'étendant aux modalités auditives et peut être également haptiques en plus de la modalité visuelle. Il est important de noter cependant que les déficits mis en évidence chez les dyslexiques ne se situent pas pour autant dans le contexte d'un trouble attentionnel général (TDAH par exemple). Peu d'études ont par ailleurs apporté des éléments explicitant le lien entre déficit de l'attention visuelle et profils de lecture des enfants dyslexiques.

Le plus souvent, les dysfonctionnements visuels ou de l'attention visuelle ont été décrits dans le contexte de troubles phonologiques. Des travaux récents suggèrent cependant qu'une forme particulière de dysfonctionnement, un trouble de l'empan visuo-attentionnel, pourrait être associée à certaines dyslexies et s'observer indépendamment de toute atteinte phonologique. La notion d'empan visuo-attentionnel renvoie au nombre de lettres qui peuvent être traitées simultanément au sein de la séquence du mot lors de chaque fixation. Une réduction de l'empan visuo-attentionnel a été mise en évidence dans certains cas de dyslexie de surface sans trouble phonologique associé. Des études de groupes suggèrent que le nombre d'enfants présentant ce type de déficit serait, tant dans la population anglophone que francophone, au moins égal au nombre d'enfants présentant un trouble phonologique isolé. Les études devront être poursuivies afin de tester l'hypothèse d'une relation causale entre déficit de l'empan visuo-attentionnel et trouble d'apprentissage de la lecture.

Tous les professionnels s'accordent pour dire que le diagnostic de dyslexie ne peut être posé qu'après avoir vérifié l'absence de trouble de la perception visuelle : un examen ophtalmologique s'impose donc de façon à estimer l'acuité de l'enfant et éliminer tout problème de type hypermétropie, myopie ou astigmatisme. Il convient également d'interroger l'enfant quant aux sensations éprouvées lors de la lecture. Certains enfants dyslexiques ont l'impression que les lettres bougent et se chevauchent pendant la lecture. Ceci traduirait une instabilité du contrôle binoculaire. Tout témoignage de ce type ainsi qu'un certain nombre de signes d'alerte (erreurs visuelles, difficultés à suivre les lignes, problème de sauts de lignes) doivent conduire à

demander des examens complémentaires (examen orthoptique et évaluation des capacités de convergence de l'enfant). L'examen clinique doit également s'assurer de l'absence de troubles oculo-moteurs (type nystagmus ou exophorie par exemple). Des propositions de prise en charge telles que le port de verres de couleur, le port de prismes ou l'occlusion temporaire d'un œil ne font pas l'unanimité, ni parmi les chercheurs ni parmi les cliniciens spécialistes de la vision. Force est de constater que ces « traitements » manquent encore de validations solides et de cadre théorique explicatif convaincant. Nous manquons également d'outils pour le diagnostic clinique des troubles magnocellulaires ou visuo-attentionnels. Les recherches devront également être poursuivies afin de développer les entraînements nécessaires à la prise en charge de ces troubles.

L'hypothèse cérébelleuse

Toujours, pour tenter de rendre compte de la complexité des symptômes cliniques observés, et en particulier de l'association fréquente, au sein des troubles des apprentissages, de déficits touchant des domaines aussi divers que la lecture, le langage, le calcul, et même les systèmes sensori-moteurs, les scientifiques ont recherché des explications et proposé des modèles tendant à extraire les caractéristiques communes aux divers domaines perturbés.

C'est ainsi que certaines associations rencontrées chez le dyslexique ont attiré l'attention des chercheurs : un retard dans les étapes du développement moteur, des troubles de nature séquentielle et temporelle (dire l'heure, se rappeler les mois de l'année), et surtout la présence de troubles de la coordination motrice et de troubles de l'équilibre, tous ces éléments évoquant une dysfonction du cervelet. Cet organe, longtemps considéré comme jouant un rôle purement moteur, a fait l'objet de travaux récents montrant en fait son implication dans de nombreux processus cognitifs et dans les apprentissages en général.

Plusieurs éléments expérimentaux sont venus à l'appui d'une théorie essentiellement basée sur l'intuition clinique : en premier lieu, des travaux anatomiques, sur le cerveau humain *post-mortem* et à l'aide de diverses méthodes d'imagerie ont pointé une anomalie au niveau du cervelet chez le dyslexique.

Assez paradoxalement, c'est une étude démontrant une hypoactivation cérébelleuse lors de tâches purement motrices (apprentissage d'une série de mouvements des doigts) chez l'adulte dyslexique, qui a véritablement fait connaître la théorie cérébelleuse. En revanche, bien que le cervelet soit classiquement activé lors de la lecture chez le sujet normolecteur, il n'a pratiquement jamais été publié de déficit d'activation du cervelet lors de la lecture chez le dyslexique.

De fait, le cervelet peut affecter la lecture de différentes manières. Il est impliqué dans le contrôle des mouvements oculaires, dans l'attention visuo-spatiale, dans la vision périphérique, tous ces aspects étant des composantes essentielles de la lecture. En tant que structure cruciale dans la gestion du temps par le cerveau, le cervelet peut contribuer aux problèmes de coordination sensori-motrice et d'intégration intersensorielle observés chez les dyslexiques.

Selon ses défenseurs, la théorie cérébelleuse suppose que le déficit est présent très précocement, dès la naissance, et va interférer avec la mise en place normale des aptitudes tant auditives qu'articulatoires nécessaires à la constitution du système phonologique, comme aux aptitudes visuelles telles que les mouvements oculaires et la reconnaissance des lettres, donnant lieu à la fois aux difficultés phonologiques et orthographiques caractéristiques de l'enfant ou de l'adulte dyslexique.

Mais, aussi séduisante soit-elle, cette théorie a été vivement critiquée ces dernières années. Ses détracteurs remarquent tout d'abord que les troubles moteurs sont loin d'être la règle chez tous les dyslexiques, et que beaucoup d'entre eux, même avec des difficultés majeures dans l'apprentissage de la lecture, n'ont manifesté aucune difficulté motrice, voire même se sont montrés très tôt particulièrement doués pour les activités motrices, qu'il s'agisse de motricité proximale et d'équilibre ou de motricité distale. Certains ont même proposé que les troubles moteurs parfois observés chez les dyslexiques ne soient qu'un artéfact lié à la comorbidité avec des troubles d'hyperactivité. Alors que plusieurs études ont ainsi minimisé l'incidence de tels troubles moteurs, au moins deux études récentes, utilisant des dispositifs sophistiqués de mesure de l'équilibre et de la posture, ont apporté des arguments positifs pour soutenir l'hypothèse cérébelleuse. Les dyslexiques étaient ainsi significativement moins aptes que les témoins à tenir en équilibre sur un pied, en particulier les yeux ouverts, et leur performance dans l'épreuve posturale était corrélée à leur performance en lecture et en orthographe. Enfin, si, comme cela a été signalé, les troubles de type cérébelleux sont moins fréquents chez des adultes que chez des enfants dyslexiques, cela signifie peut-être que les déficits initialement observés chez l'enfant se stabilisent durant l'adolescence pour ne plus apparaître une fois le dyslexique devenu adulte. En définitive, il est très peu probable que l'on puisse expliquer la dyslexie par un dysfonctionnement du cervelet. En revanche, les arguments sont suffisamment nombreux pour inciter à inclure le cervelet parmi les systèmes cérébraux qui sont perturbés chez le dyslexique, ou du moins pour une partie d'entre eux. En tout état de cause, l'hypothèse cérébelleuse aura eu le mérite de proposer une alternative plausible aux thèses faisant du trouble de la lecture le seul objet d'intérêt des chercheurs et d'avoir ouvert la voie à une véritable prise en compte des comorbidités dans l'explication de la dyslexie.

L'hypothèse du traitement temporel

Non sans rapport avec la théorie cérébelleuse, une hypothèse avait été proposée il y a plus de 30 ans par une scientifique américaine Paula Tallal, sous l'appellation de « théorie du déficit du traitement temporel ». L'enfant dyslexique, et plus généralement l'enfant souffrant de trouble spécifique d'apprentissage, a très souvent des problèmes avec le temps en général, qu'il s'agisse de la gestion des aspects temporels liés à la réalisation des actes quotidiens, de la conscience et/ou la perception de la durée d'événements, ou encore de la discrimination d'événements brefs, tels que ceux constitutifs de la parole humaine. De très nombreuses études, utilisant des approches diverses, se sont penchées sur cette étrange caractéristique, dans le but de trouver un point commun entre cette dernière et les difficultés d'apprentissage.

Selon la théorie initialement proposée par Tallal, le cerveau des enfants souffrant de troubles du langage oral et écrit serait constitutionnellement incapable de traiter spécifiquement les stimuli de son environnement qui possèdent des caractéristiques de brièveté et de succession rapide, qui sont précisément les deux caractéristiques de la parole humaine. Cette constatation prend tout son sens lorsqu'on observe les confusions auditives que font beaucoup d'enfants dyslexiques, entre des phonèmes acoustiquement proches, en particulier les paires telles que /t/-/d/; /ch/-/j/… qui semblent particulièrement difficiles à discriminer par le système auditif du dyslexique. Parmi les épreuves permettant de mettre en évidence le déficit du traitement auditif temporel, le *« repetition test »* de Tallal est sans doute le plus largement utilisé. Il consiste à présenter au sujet des paires de sons différents donnés dans un ordre aléatoire que l'enfant doit reproduire par l'appui successif sur deux touches de l'ordinateur. En faisant varier l'intervalle entre les deux sons, depuis quelques millisecondes, jusqu'à quelques secondes, on s'aperçoit que le sujet dyslexique éprouve d'importantes difficultés à en reproduire l'ordre, mais seulement pour les intervalles brefs, en dessous de 150 millisecondes. Au-delà, sa performance rejoint celle des témoins non dyslexiques. Ce trouble du jugement d'ordre temporel est présent chez les enfants souffrant de troubles du langage en général, mais également chez une partie au moins de ceux souffrant de dyslexie. En outre, le même effet peut être démontré chez le dyslexique en utilisant des paires de syllabes telles que /ba/-/pa/ ou /da/-/ga/. Un vaste débat s'est instauré autour de ce simple test, entre les tenants de l'hypothèse temporelle, qui en font la preuve que le dyslexique souffre d'une difficulté d'ordre à la fois perceptive et temporelle, et ses détracteurs, qui soulignent que cet effet n'est pas présent chez tous les dyslexiques, et surtout qu'il varie selon le caractère linguistique ou non des stimuli : si l'on propose aux enfants une tâche de jugement d'ordre temporel (JOT) utilisant des paires de phonèmes plus faciles à discriminer, le déficit disparaît ; de même si l'on utilise des stimuli faits de parole artificielle.

Une autre considération importante a trait à l'éventuelle hétérogénéité des concepts sous-tendus par le terme « déficit temporel ». En effet, si le JOT a été le plus étudié, et en général retrouvé déficitaire chez le dyslexique, il a été rarement mis en relation avec d'autres aspects du traitement temporel, comme par exemple le jugement de durée relative d'un stimulus. Par ailleurs, il est important de s'interroger sur les liens entre l'éventuel trouble temporel et l'intensité du trouble phonologique, considéré comme le mécanisme crucial dans l'apprentissage de la lecture. Une étude récente a démontré que le déficit du JOT est corrélé de manière significative avec le trouble phonologique, de même qu'une mesure de jugement de durée d'un stimulus auditif. Toutefois, les deux déficits ne sont pas inter-corrélés, suggérant qu'il s'agit de deux dimensions séparables du déficit temporel.

Un autre postulat de la théorie temporelle prédit que le déficit doit se retrouver dans différentes modalités. Plusieurs travaux, dont une étude de l'équipe même de Tallal, ont démontré que des dyslexiques éprouvent des difficultés à discriminer deux stimuli dans la modalité tactile (identifier lequel de deux doigts d'une même main étaient touchés simultanément). Plus récemment, divers travaux ont mis en évidence chez le dyslexique des déficits de jugement d'ordre de stimuli visuel et tactiles, y compris chez le même individu, ce qui conforte l'idée d'un trouble supra-modal, c'est-à-dire indépendant de la modalité sensorielle. Enfin, plusieurs auteurs ont récemment insisté sur une difficulté particulière chez le dyslexique à discriminer des stimuli non plus seulement dans plusieurs systèmes perceptifs chez un même sujet, mais dans des tâches impliquant la confrontation de plusieurs modalités dans une même tâche, réalisant une condition de transfert intermodalitaire.

Tant chez des enfants que des adultes dyslexiques, ces protocoles ont mis en évidence des différences très nettes dans la majorité des combinaisons étudiées. Pour les auteurs, ces résultats permettent d'affirmer qu'au-delà de l'altération multimodalitaire suspectée par Tallal dès les premières formulations de sa théorie, il existe chez le dyslexique un déficit du traitement temporel nécessitant la mise en commun d'informations provenant au cerveau par divers canaux sensoriels. Une étude récente utilisant un paradigme de jugement d'ordre temporel visuel associé à un facilitateur sonore, suggère chez les dyslexiques un problème d'élargissement de la « fenêtre temporelle ». L'extension anormale de cette fenêtre temporelle chez le dyslexique aurait alors pour effet d'altérer les processus dépendant du couplage rapide et précis de deux informations provenant de modalités différentes, comme par exemple ceux mis en jeu lors de la conversion grapho-phonémique.

On voit donc qu'après une période de vive contestation, remettant sérieusement en doute les théories faisant appel à un trouble temporel supra-modal, les recherches les plus récentes, grâce à l'affinement des protocoles expérimentaux, semblent aller à nouveau dans le sens d'un déficit de certains aspects très spécifiques du traitement de l'information sensorielle, en particu-

lier lorsque deux informations différentes doivent être mises en relation. Les caractéristiques temporelles de cette mise en relation pourraient être déterminantes. Ces constatations rappellent en effet une théorie déjà ancienne de l'apprentissage, dite « synapse de Hebb » : lorsque deux neurones A et B sont en situation de proximité et que le neurone A décharge alors que B est activé, alors les liens réciproques entre A et B seront renforcés. À l'inverse, si A décharge alors que B est inactif, même à quelques millisecondes près, les liens entre les deux neurones sont inhibés. Ce principe général, qui a reçu depuis sa première formulation dans les années 1940, diverses confirmations expérimentales, pourrait fort bien s'avérer, d'après les données les plus récentes, un cadre très fructueux pour expliquer diverses constatations encore mal élucidées en matière de troubles des apprentissages.

Dans la modalité auditive, un grand nombre d'études ont utilisé la méthode des potentiels évoqués, particulièrement intéressante dans ce contexte pour ses propriétés de sensibilité temporelle : divers travaux ont montré que le cortex auditif du dyslexique traite de manière imparfaite les stimuli auditifs, avec spécifiquement, au moins dans certains cas, des preuves d'une anomalie de traitement de la succession temporelle des éléments acoustiques composant les unités linguistiques. Ainsi, la différence acoustique entre les phonèmes /ba/ et /pa/, correspondant à la notion de voisement, se traduit au niveau de l'activité électrique enregistrée en regard du cortex auditif, par une différence subtile de la succession temporelle d'événements strictement alignés temporellement avec les événements acoustiques. Chez des adultes dyslexiques, le même stimulus est traité de manière temporellement anarchique, de sorte qu'on ne reconnaît plus au niveau électrique la succession habituelle des différents événements acoustiques. On peut alors présumer qu'une perturbation minime de la simultanéité d'activation des différents éléments cellulaires du système, en réduisant la force de leurs connexions réciproques, serait suffisante pour l'empêcher d'acquérir sa fonction de perception spécifique du voisement, simplement parce que cette dernière est, parmi les caractéristiques de la parole humaine, la plus dépendante de l'organisation temporelle du stimulus.

L'apport de l'imagerie cérébrale

L'approche neurologique des dyslexies dans la recherche contemporaine a été initiée par l'étude fondatrice en anatomo-pathologie de Galaburda et ses collaborateurs, montrant l'existence d'anomalies micro-structurales du cortex péri-sylvien (ectopies et dysplasies) et une réduction de la taille des neurones dans le ganglion géniculé. Ces résultats suggèrent l'existence d'anomalies de la migration et de la maturation neuronale dans certaines zones du cortex essentielles pour l'automatisation des mécanismes de la lecture.

Sur ces bases, des études morphométriques en imagerie par résonance magnétique (IRM) ont eu pour but d'identifier l'existence d'anomalies macroscopiques de la structure du cortex chez les dyslexiques. Menées au sein de régions d'intérêt définies a priori (cortex pariétal, temporal, frontal inférieur, cérébelleux, corps calleux), des anomalies structurales ont été décrites mais sans grande reproductibilité d'une étude à l'autre. Des avancées techniques ont permis des analyses dans tout le volume cérébral : *voxel-based morphometry*, imagerie en tenseur de diffusion. Des résultats obtenus avec cette dernière technique ont identifié des particularités du signal dans une zone de substance blanche sous-jacente à la jonction temporo-pariétale gauche suggérant une connectivité anormale entre ces zones du cortex ; en outre, des corrélations existaient entre l'intensité de l'anomalie et les scores en lecture.

L'imagerie fonctionnelle cérébrale (tomographie par émission de positons ou PET, imagerie par résonance magnétique fonctionnelle ou IRMf) et les techniques électromagnétiques (potentiels évoqués en électro-encéphalographie ou PE, magnéto-encéphalographie ou MEG) ont permis de révéler des anomalies d'activité de régions impliquées dans la lecture et les autres processus cognitifs associés, chez les sujets dyslexiques par rapport à des normo-lecteurs. Il faut noter cependant que ces expérimentations sont sensibles à de nombreux biais expérimentaux susceptibles de rendre compte de discordances entre études.

Dans le domaine électrophysiologique, des anomalies ont été rapportées aussi bien dans les composantes précoces que tardives, en fonction des paradigmes expérimentaux et des modalités explorées, visuelle ou auditive.

Dans le domaine de l'imagerie TEP ou IRMf, l'anatomie fonctionnelle normale de la lecture de mots isolés comprend 3 zones majeures : la jonction temporo-occipitale gauche, la jonction temporo-pariétale gauche, l'aire de Broca. L'activation de ces 3 régions est anormale chez le sujet dyslexique, de même que la connectivité fonctionnelle de ces régions entre elles. Les deux régions temporales et/ou pariétales sont très généralement hypofonctionnelles, ce qui a été confirmé par des études en MEG. Une hyper-activation de l'aire de Broca chez les patients a souvent été considérée comme le témoignage d'une compensation prémotrice de déficits du cortex postérieur. Des effets compensateurs ont été invoqués également pour rendre compte des activations plus importantes chez les dyslexiques dans le cortex périsylvien droit.

Ces résultats chez l'adulte ont été largement confirmés par les études en IRMf et en MEG chez l'enfant. Au total, ils suggèrent une anomalie de la connectivité au sein des circuits temporo-pariéto-frontaux qui sous-tendent le langage et particulièrement le circuit sous-jacent à la boucle phonologique en mémoire de travail ainsi que l'interaction entre les « circuits dorsal et ventral de la lecture ».

Les nombreuses hypothèses physiopathologiques concernant l'origine des dyslexies ont toutes reçues un support empirique d'études de neuro-imagerie confirmant l'existence d'effets différentiels prédits. Ces hypothèses peuvent être classifiées en deux types. Le premier type suppose l'existence d'un déficit affectant des représentations phonologiques ou lexicales stockées en mémoire à long terme (hypothèse phonologique). Le second type recouvre de nombreuses hypothèses supposant des anomalies diverses dans les processus sensori-moteurs de traitement en temps réel de l'information perceptive.

L'hypothèse phonologique, prédominante, est massivement confortée par l'existence de déficits d'activation de régions péri-sylviennes gauches normalement impliquées dans l'analyse phonologique et la mémoire de travail phonologique.

Certaines études ont suggéré un dysfonctionnement des voies visuelles magnocellulaires mais d'autres ont montré que ces effets n'étaient mis en évidence que sous certaines contraintes expérimentales. Dans le domaine auditif, plusieurs travaux ont montré un déficit dans le traitement, de type magnocellulaire, des variations acoustiques ou linguistiques rapides. Cependant, des données récentes suggèrent que ces effets n'existent que dans des sous-groupes de sujets et ils ne concernent que certains secteurs (prémoteurs gauches) du cortex, d'autres secteurs (supra-marginal gauche) montrant une hypoactivation constante quel que soit le rythme de variation du signal de parole.

Enfin, des anomalies d'activation du cortex cérébelleux droit ont été observées au cours de tâches d'apprentissage d'une séquence de mouvements des doigts.

Les techniques de neuro-imagerie ont été appliquées plus récemment à l'étude des corrélats cérébraux des améliorations des performances induites par diverses méthodes d'intervention ou d'entraînement intensif dans des groupes d'enfants dyslexiques. La plus grande influence sur les performances et les signaux neurofonctionnels d'une intervention phonologique intensive par rapport à une prise en charge conventionnelle a été montrée dans certaines de ces études. Dans d'autres travaux, des corrélations positives étaient retrouvées entre l'accroissement du signal d'activation en IRMf dans les régions temporo-pariétale gauche et frontale droite et les améliorations des scores en langage et phonologie, sans généralisation au score de lecture. Les différentes techniques d'imagerie fonctionnelle sont certes suffisamment sensibles pour mettre en évidence des modifications de l'activité cérébrale après des remédiations, mais la spécificité des mécanismes à l'origine des effets obtenus tant au niveau cognitif que cérébral doit être discutée.

Les études d'imagerie cérébrale fonctionnelle ou anatomique ont montré jusqu'à maintenant des corrélats neurologiques aux troubles cognitifs. Toutefois, le sens de cette causalité pourra être précisé par des études longitudinales débutées chez l'enfant jeune. Elles permettront de distinguer les effets

d'anomalies cérébrales présentes d'emblée de celles résultant de l'adaptation au handicap.

Enfin, l'imagerie cérébrale fonctionnelle pourrait avoir un rôle dans l'identification très précoce de profil d'activité cérébrale faisant prédire la survenue d'un handicap d'apprentissage de la lecture, particulièrement au sein de famille « à risque » génétique du développement de ce trouble. Une interrogation éthique autour de cet axe de recherche est à mener en raison des risques de stigmatisation alors même que les moyens nécessaires à la prise en charge du handicap ne seraient pas assurés.

Les facteurs génétiques

L'hypothèse de la nature familiale de la dyslexie est évoquée depuis longtemps et un faisceau de présomptions rassemblées depuis une vingtaine d'années fait en effet penser que la dyslexie possède une origine génétique.

Le meilleur indice d'une composante familiale est l'augmentation du risque chez les apparentés d'un sujet atteint. Il s'agit d'un risque relatif comparant le risque des apparentés d'individus sains au risque du trouble chez les apparentés d'individus malades. On utilise en général les antécédents familiaux du premier degré (parents, frères et sœurs). Pour la dyslexie, le risque de retrouver le trouble chez un apparenté de l'individu atteint est de 8 à 10 fois plus élevé que ce même risque dans la parenté d'un individu non atteint. Cela n'exclut pas l'observation par ailleurs de cas sporadiques, dans la mesure où les mêmes dysfonctionnements cérébraux et cognitifs peuvent survenir *de novo*. L'agrégation familiale suggère, mais ne prouve pas l'origine génétique. En effet, les familles partagent non seulement une partie de leurs gènes, mais également un certain environnement. On peut imaginer que des parents qui ne lisent pas constituent, pour leurs enfants, un environnement peu favorable à l'apprentissage de la lecture.

Ce sont les études de jumeaux qui permettent le mieux d'apprécier le poids des facteurs génétiques par rapport aux facteurs environnementaux. Ces études ont précisément comme objectif de calculer l'héritabilité, c'est-à-dire le pourcentage de la variance expliquée par les facteurs génétiques. On mesure pour cela la concordance des atteintes chez les jumeaux monozygotes et dizygotes. On observe que lorsqu'un jumeau monozygote est dyslexique, la probabilité que l'autre le soit également est d'environ 70 %. En revanche, la probabilité n'est plus que de 45 % pour les jumeaux dizygotes. Comme on peut penser que les jumeaux monozygotes partagent entre eux les mêmes facteurs environnementaux que les jumeaux dizygotes, la différence de concordance s'explique donc par le fait que les jumeaux monozygotes sont similaires génétiquement à 100 % alors que les jumeaux dizygotes ne le sont qu'à 50 % (pour les gènes qui varient) ; les données de concor-

dance permettent ainsi de calculer l'héritabilité. Ceci ne signifie pas pour autant une relation causale directe. On peut supposer qu'une modification de l'environnement de deux vrais jumeaux, pendant leur développement intra-utérin ou lors de la période périnatale puisse entraîner un effet identique après la naissance, par une réponse similaire à une modification de l'environnement. Ces hypothèses mériteraient des travaux dans le domaine de la dyslexie.

L'héritabilité de la dyslexie est comprise entre 50 et 65 % d'après les plus grandes études sur les jumeaux. Des données similaires ont été collectées concernant les difficultés en mathématiques, aboutissant à une héritabilité d'environ 50 %. En ce qui concerne la dysorthographie, les études génétiques ne l'ont en fait pas vraiment distinguée de la dyslexie, beaucoup d'études utilisant des mesures d'orthographe aussi bien que de lecture pour définir le phénotype. Pour l'instant, aucune étude n'a recherché des facteurs génétiques qui pourraient distinguer dyslexie et dysorthographie.

Toutes ces données permettent d'établir qu'il y a bien une contribution génétique aux troubles spécifiques des apprentissages, mais n'identifient pas les facteurs génétiques et n'expliquent pas leur mode d'action. C'est le rôle des études de génétique moléculaire et de neurogénétique. Pour l'instant, de telles études n'ont commencé à produire des résultats que dans le cas de la dyslexie. En ce qui concerne les autres troubles spécifiques des apprentissages, la recherche en génétique moléculaire en est encore à ses balbutiements.

Dans le cas de la dyslexie, de nombreuses analyses de liaison génétique ont montré des régions chromosomiques transmises par les parents significativement plus souvent aux enfants avec troubles qu'aux enfants sans trouble. Le lien entre la dyslexie et des régions sur les chromosomes 1, 2, 3, 6, 15 et 18 a été rapporté par des équipes indépendantes dans plusieurs études. La multiplicité des sites chromosomiques identifiés suggère que les troubles spécifiques des apprentissages sont, dans la plupart des cas, des déficits ayant une composante génétique complexe dans laquelle plusieurs gènes sont impliqués.

Les régions chromosomiques liées indiquent les régions du génome au sein desquelles se trouvent très probablement des gènes associés à la dyslexie. Néanmoins, ces régions peuvent abriter des centaines de gènes, qui sont catalogués mais qui pour la plupart n'ont jamais été étudiés. Il y a donc un fossé énorme entre l'identification d'une région liée, et l'identification au sein de cette région, d'un gène associé. Les progrès de la génétique moléculaire permettent de réduire de jour en jour ce fossé.

Au sein de ces six régions, quatre gènes candidats ont été proposés. Deux d'entre eux (*DYX1C1*, *ROBO1*) présentent des mutations chez des cas ou familles rares, mais on ne sait pas si des allèles de ces gènes augmentent le risque de formes plus courantes de dyslexie. Pour les deux autres (*KIAA0319* et *DCDC2*), des haplotypes de susceptibilité au sein de grandes populations

ont été proposés. Ces haplotypes restent néanmoins à confirmer. Hormis les cas rares de mutation radicale invalidant la fonction de la protéine (DYX1C1 dans une famille finlandaise), il semble que les allèles de susceptibilité produisent leurs effets par une altération de l'expression de la protéine (certains haplotypes sont d'ailleurs situés dans des régions régulatrices). Néanmoins, les données d'expression restent fragmentaires et demandent à être confirmées.

Le résultat le plus remarquable sur les propriétés fonctionnelles de ces gènes provient des études sur l'animal en cours de développement. Ces études montrent que les quatre gènes candidats pour la dyslexie sont impliqués dans la migration des neurones au cours du développement cérébral, trois dans la migration radiaire des corps cellulaires vers le cortex, et un (*ROBO1*) dans la migration des axones et des dendrites. Il paraît peu probable qu'une telle convergence de fonctions soit due au hasard. De plus, ces résultats permettent d'établir un lien entre les gènes associés à la dyslexie et les anomalies cérébrales qui ont été observées dans les cerveaux de certaines personnes dyslexiques.

Il est important de souligner que, si l'usage en génétique veut qu'on désigne ces gènes comme des « gènes de la dyslexie », il s'agit là d'un abus de langage, en fait d'un raccourci pour désigner des « gènes dont certains allèles augmentent le risque de dyslexie ». Il va de soi qu'aucun de ces gènes n'est spécifique à la dyslexie, et qu'il ne s'agit pas non plus de gènes de la lecture, ni même du langage oral. Comme presque tous nos gènes, ceux-ci existent dans des formes voisines chez les autres mammifères, voire même chez la drosophile (*ROBO1*). Ces gènes exercent, chez tous ces animaux, des fonctions multiples, et sont d'ailleurs exprimés dans de nombreux organes différents au cours du développement et de la vie. Ce qui les relie plus spécifiquement à la dyslexie, c'est le fait d'être aussi impliqués dans un stade particulier du développement cérébral, et notamment dans la mise en place de certaines aires cérébrales qui seront bien plus tard recrutées par l'apprentissage de la lecture.

Dans certains cas rares, il semble qu'une mutation d'un gène unique soit suffisante pour provoquer la dyslexie. L'identité du gène responsable peut varier d'un cas à l'autre. Le plus souvent, les personnes dyslexiques ne semblent pas porteuses d'une mutation rare, mais plutôt d'allèles de susceptibilité. Ces allèles sont fréquents au sein la population normale, et ne constituent pas en soit une cause suffisante de la dyslexie. Chaque allèle de susceptibilité augmente un peu le risque de dyslexie, le trouble ne se révélant que lors de combinaisons particulièrement défavorables d'allèles de susceptibilité, et/ou d'interactions de ces allèles avec des facteurs non génétiques augmentant également le risque. Un grand nombre de facteurs environnementaux (biochimiques, traumatiques, linguistiques, socio-éducatifs, pédagogiques) peuvent moduler l'expression des facteurs génétiques, positivement ou négativement.

Enfin, il est fort probable que dans un certain nombre de cas, la cause primaire puisse résider dans des facteurs non génétiques, par exemple des facteurs entraînant des anomalies cérébrales à la naissance.

Chaque individu dyslexique possède donc son propre profil cognitif et ses propres particularités cérébrales, qui sont le résultat de la combinaison spécifique de facteurs génétiques dont il est porteur, et des facteurs non génétiques auxquels il a été exposé.

Une analyse critique des différentes théories pour la dyslexie

Il existe une grande diversité de théories explicatives de la dyslexie : théorie du déficit phonologique, théorie du traitement auditif temporel, théories visuelles, théorie cérébelleuse, théorie magnocellulaire… Cette diversité est due à plusieurs facteurs :

- il existe sans doute plusieurs causes distinctes de la dyslexie, et donc plus d'une théorie pourrait être correcte, chacune pour un sous-ensemble de la population dyslexique ;
- la présentation clinique de la dyslexie est complexe, incluant de nombreux symptômes autres que la lecture, notamment phonologiques, auditifs, visuels, spatiaux, moteurs et autres. Chacun de ces symptômes a donné lieu à des spéculations théoriques ;
- la dyslexie est fréquemment comorbide avec d'autres troubles développementaux (trouble du langage oral ou dysphasie, dyspraxie, troubles de l'attention…). Dans les études de groupes, des symptômes d'autres troubles développementaux peuvent ainsi sembler liés à la dyslexie, engendrant de nouvelles hypothèses théoriques.

Cette grande diversité de symptômes associés à la dyslexie ne facilite pas l'identification des causes réelles par rapport aux simples comorbidités. Néanmoins, à l'issue d'un très grand nombre d'études, plusieurs points ressortent clairement.

Une grande majorité d'enfants dyslexiques souffrent d'un déficit cognitif spécifique à la représentation et au traitement des sons de la parole : c'est ce que l'on appelle le déficit phonologique. Ce déficit entrave l'apprentissage, la maîtrise, et l'automatisation de l'usage des relations graphèmes-phonèmes, et par la suite l'ensemble de l'apprentissage de la lecture y compris la voie orthographique ; il n'y a donc en général pas lieu de distinguer dyslexie phonologique et dyslexie de surface.

Une minorité d'enfants dyslexiques semblent présenter des troubles de nature visuelle, à l'exclusion de tout déficit phonologique. Il semble même qu'il existe plusieurs sous-types de dyslexies visuelles. Cependant, les recher-

ches empiriques dans ce domaine sont pour l'instant insuffisantes et n'ont pas conduit à des théories suffisamment abouties.

Au niveau des causes neurobiologiques de ces déficits cognitifs, deux grands types d'explications restent envisageables : celles centrées sur les causes biologiques du déficit phonologique, directement responsable du trouble de lecture, et celles cherchant plutôt à rendre compte de l'association à des troubles sensori-moteurs. Les premières postulent une atteinte spécifique du développement précoce des aires périsylviennes gauches impliquées dans l'acquisition du langage. Cette hypothèse a été confortée récemment par des données issues de la génétique. L'origine ultime de la dyslexie pourrait ainsi résider dans un certain nombre d'allèles de susceptibilité sur de multiples gènes. Ces allèles, agissant seuls ou en combinaison, augmentent le risque de perturbation de la migration neuronale dans les aires périsylviennes gauches.

À l'inverse, les hypothèses telles que la théorie cérébelleuse ou la théorie du traitement temporel fournissent une explication plus directe de ces associations comorbides ; en revanche, elles restent encore insuffisamment étayées par les données empiriques et nécessitent de nouvelles études, en particulier concernant leur capacité à rendre compte des liens entre les déficits sensoriels et le trouble de la lecture.

Au-delà de leurs divergences sur les causes neurobiologiques ultimes, ces deux types de théorie convergent sur la présence d'un dysfonctionnement du développement d'aires cérébrales normalement impliquées dans la représentation et le traitement des sons de la parole (la « phonologie »). Ce dysfonctionnement entraîne un déficit cognitif dont les principales manifestations sont une faible conscience phonologique, une faible mémoire verbale à court terme, et une lenteur dans la récupération des représentations phonologiques. Ce déficit cognitif a en général peu d'influence sur l'acquisition du langage oral (sauf très grande sévérité ou troubles de langage additionnels). En revanche, il se révèle pleinement lors de l'acquisition du langage écrit, qui recrute de manière particulièrement intense ces capacités phonologiques. Enfin, les symptômes observés en lecture sont le produit à la fois de ces facteurs cérébraux et cognitifs, et de nombreux facteurs environnementaux parmi lesquels la richesse de l'environnement linguistique (qui influence notamment le vocabulaire), la régularité du système orthographique, la méthode d'enseignement de la lecture, et sans doute d'autres facteurs environnementaux. Le modèle proposé ci-dessous rend compte des interactions qui sont susceptibles de s'établir avec des facteurs environnementaux (traumatismes, carences psycho-affectives, facteurs sociologiques, pédagogiques…) à différents niveaux avec les facteurs biologiques, cognitifs ou encore au niveau de l'expression du symptôme. Ce modèle montre bien qu'un déterminisme exclusivement biologique ou exclusivement environnemental (quelle qu'en soit la nature) n'a aucun sens. Cependant, les travaux de recherche restent à développer dans ce sens. Ils permettraient d'étudier

l'ensemble des facteurs dans un modèle dynamique multi-échelle et multidomaines (bases moléculaires, réseaux neuronaux, psychologie cognitive, psychologie du développement, éducation) pour appréhender les mécanismes de l'apprentissage, du développement, et de leurs dysfonctionnements. Ils permettraient ainsi de mieux comprendre les liens entre les déficits observés au niveau neuronal, en imagerie anatomique ou fonctionnelle et les modèles dynamiques sous-jacents à l'interaction entre les individus (parents-enfants, enseignant-élève). L'objectif de tels travaux tendant à unifier ces différents modèles partiels dans une synthèse commune crédible permettrait enfin au chercheur et au praticien une compréhension des mêmes « symptômes » avec une approche différente et complémentaire.

Représentation schématique des différents facteurs impliqués dans la dyslexie

Le repérage, le dépistage et le diagnostic

Repérage, dépistage et diagnostic se distinguent par des dispositifs, des acteurs et des outils différents. À la différence du dépistage et du diagnostic, le repérage peut ne pas être effectué par des professionnels de santé. L'enseignant, en lien avec les parents, est le plus à même de repérer un enfant qui présente des difficultés d'apprentissage. Au niveau de la maternelle, l'enseignant peut repérer les troubles du langage oral, facteurs de risque de difficultés ultérieures éventuelles dans l'acquisition du langage écrit, ou les difficultés de graphisme ou d'entrée dans le code numérique. À partir du CP, les difficultés d'apprentissage de la lecture, de l'orthographe, du calcul et du graphisme peuvent être repérées. L'enseignant est capable de décrire précisément le tableau des acquis et des manques sans toutefois être en mesure de

qualifier ce qu'il observe. Les parents et le médecin de famille peuvent également alerter sur des difficultés constatées.

Le dépistage concerne en principe une procédure qui s'adresse à une population donnée. Puisqu'elle accueille tous les enfants de la tranche d'âge, l'école est un lieu d'intervention privilégié pour les professionnels qui ont vocation, avec des outils particuliers, à détecter les problèmes d'acquisition et d'apprentissage. L'article 85 de la loi n° 2002-73 du 17 janvier 2002 de modernisation sociale prévoit l'organisation d'un dépistage des troubles du langage au cours du bilan obligatoire de la 6e année. Ce dépistage est en principe réalisé par les médecins de l'Éducation nationale. Cependant, un dépistage des troubles des apprentissages scolaires ne peut se situer qu'après le début des apprentissages c'est-à-dire après l'entrée au CP. Le dépistage lors de l'examen obligatoire de 6 ans est donc, le plus souvent, un dépistage de facteurs de risque de troubles spécifiques des apprentissages. Un dépistage de facteurs de risque (comme les troubles du langage oral) peut être également effectué par les médecins de PMI lors de l'examen en petite ou moyenne section. Des médecins ayant reçu une formation dans le domaine peuvent être sollicités. Au cours de la scolarité, le RASED (réseau d'aide spécialisé aux élèves en difficulté), structure interne à l'Éducation nationale (qui rassemble psychologue et enseignants spécialisés) participe au repérage et au dépistage individuel.

Le diagnostic nécessite souvent les compétences de différents professionnels réunis au sein d'une équipe pluridisciplinaire compte tenu de la nature complexe des troubles et de l'existence fréquente de troubles associés. Les réseaux de professionnels libéraux permettent souvent cette pluridisciplinarité coordonnée par un médecin référent. Des centres de références ont été créés au sein des Centres hospitaliers universitaires (CHU). Il en existe environ une quarantaine, répartis sur tout le territoire. Ces centres offrent un plateau de consultations multidisciplinaires, au minimum médicale, orthophonique et psychologique et si nécessaire psychomotrice et neuropsychologique pour une évaluation globale.

Les outils sont différents selon qu'ils sont destinés à repérer, dépister ou diagnostiquer les troubles spécifiques des apprentissages.

Avant le début des apprentissages scolaires (avant 6 ans), les outils sont destinés à repérer, dépister ou diagnostiquer des troubles du langage oral et à repérer des signes prédictifs de troubles des apprentissages scolaires. Après 6 ans, ils ont pour objectif de repérer, dépister ou diagnostiquer des troubles des apprentissages (le plus souvent les troubles du langage écrit).

La première catégorie d'outils permet d'identifier une population à risque de difficultés ultérieures de troubles de la lecture. Avant 5 ans, ces outils (par exemple l'ERTL4 : épreuve de repérage des troubles du langage et des apprentissages) peuvent repérer les troubles du langage oral. À 5-6 ans, les outils (par exemple BSEDS : bilan de santé évaluation du développement

pour la scolarité 5-6 ans) explorent les troubles du langage oral et identifient des facteurs de risque de dyslexie. Les populations à risque repérées ne deviendront pas forcément dyslexiques. La prise en charge des troubles du langage oral (selon leur sévérité) constitue en soi une prévention de dyslexie puisqu'il s'agit d'un facteur de risque.

Il existe des outils destinés au dépistage des troubles d'acquisition du langage écrit, soit en passation collective comme le Timé 2 de janvier CP à fin CE1, soit en passation individuelle, comme l'Odedys étalonné à partir du CE1, ou la Batelem-R dès le CP, ou les items d'apprentissages de la Brev du CP au CE2.

Un deuxième type d'outils permet d'effectuer un examen clinique neuropsychologique de première intention (par exemple : la BREV, batterie rapide d'évaluation des fonctions cognitives). Ces outils sont utiles pour préciser la réalité d'un trouble, son profil et sa gravité, comme par exemple un trouble spécifique du langage oral à 5 ans ou du langage écrit à 7 ans et demi ou du graphisme après 5 ans. Ils servent donc à définir les évaluations complémentaires nécessaires pour affirmer le diagnostic et les actions pédagogiques et de soins qui en découlent. Ils permettent par ailleurs au prescripteur d'apprécier l'évolution du trouble. Cet examen clinique doit également éliminer un trouble sensoriel, ou une atteinte neurologique ou psychiatrique avérée.

Enfin, le troisième type d'outils a pour objectif de confirmer un diagnostic évoqué à la suite de l'outil précédent. On peut citer par exemple : la N-EEL (Nouvelles épreuves pour l'évaluation du langage) ou l'Elola 5 (Batterie d'évaluation du langage oral de l'enfant aphasique) pour le langage oral, la Belec (Batterie d'évaluation du langage écrit) l'Odedys ou l'Evalec (Batterie d'évaluation diagnostique de la dyslexie), différentes batteries neuropsychologiques pour les fonctions attentionnelles. La batterie composite d'intelligence de Weschler permet de définir le profil des fonctions intellectuelles.

Ce troisième type d'outils très spécialisé est utilisé par le professionnel concerné : évaluation psychologique du fonctionnement comportemental, émotionnel et cognitif par un psychologue, évaluation du langage oral et écrit par un orthophoniste, évaluation des fonctions graphiques et praxiques par un psychomotricien ou ergothérapeute ou neuropsychologue, évaluation des fonctions attentionnelles et mnésiques par un neuropsychologue… Pour chacun des troubles spécifiques des apprentissages, les outils de diagnostic permettent de comprendre précisément le trouble de l'enfant en référence aux modèles neuropsychologiques reconnus. Par exemple, pour les troubles du langage écrit, les outils doivent permettre non seulement de déterminer l'âge de lecture, mais aussi les stratégies utilisées par l'enfant en fonction de la précision et vitesse d'identification des mots réguliers, irréguliers et pseudo-mots, ainsi que les compétences cognitives sous-jacentes et la compréhension.

L'utilisation de ces différents outils se réfère à des âges clés :
• dès 3 ans, pour le repérage d'un trouble du langage oral pouvant amener à diagnostiquer un trouble secondaire (surdité, trouble du comportement ou communication, voire déficit intellectuel) qui nécessitera une prise en charge spécifique et non uniquement celle du langage oral. Cette démarche préalable est indispensable au diagnostic de trouble spécifique. Jusqu'à environ 4 ans et demi, seuls les troubles spécifiques et sévères (un ou plusieurs critères de gravité : inintelligibilité, agrammatisme ou déficit de la compréhension) nécessitent une évaluation orthophonique détaillée et une rééducation dès que l'enfant coopère. Les troubles spécifiques sans critères de gravité sont suivis, avec une adaptation pédagogique et un accompagnement parental ;
• à 5 ans, pour le dépistage d'un trouble du graphisme et/ou une dyspraxie devant amener à une évaluation complémentaire psychologique pour affirmer son caractère spécifique et, si le trouble est spécifique, une évaluation en psychomotricité ou ergothérapie pour en préciser le profil et la gravité ainsi que les indications de soins ;
• dès 5-6 ans, pour le dépistage des difficultés d'acquisition du code numérique (nom et construction des nombres, comptine numérique), ainsi qu'au CP-CE1 pour dépister les difficultés d'accès aux faits numériques (tables d'addition puis de multiplication), de transcodage des nombres. Ce dépistage peut conduire à une évaluation psychologique pour affirmer le caractère spécifique du trouble et une évaluation précise des difficultés en calcul ;
• dès le CP, pour dépister les troubles d'acquisition du langage écrit. S'ils s'associent à un trouble persistant du langage oral, ils nécessitent une évaluation orthophonique associée ou non à une évaluation psychologique.
• dès la seconde partie du CP, pour dépister les troubles sévères (non acquisition du processus de déchiffrement, non amélioration après un entraînement pédagogique…), nécessitant également une évaluation complémentaire des capacités cognitives dont celles du langage.

Cette diversité des situations selon les âges clés et la symptomatologie présentée donne toute son importance à l'examen de dépistage de première intention.

Les évaluations sont indispensables pour apprécier l'évolution d'un trouble six mois à un an après la mise en œuvre du projet éducatif et/ou de soins. Ces évaluations de suivi comportent, au moins, les tests dont les scores étaient déficitaires lors de l'évaluation initiale, afin d'effectuer une comparaison objective quantitative et qualitative et de réorienter le programme éducatif et de soins.

Par ailleurs, une commission d'experts a été mise en place (arrêté du 8 février 2002) pour élaborer au niveau national des recommandations sur les outils à usage des professionnels de l'enfance dans le cadre du plan d'action pour les enfants atteints d'un trouble spécifique du langage. Le rapport de cette commission aborde les outils cités ci-dessus. Il vient d'être mis à disposition des professionnels du secteur médical et de l'enfance et est accessible sur le site

du Ministère de la santé et des solidarités[61]. Rendu public au moment de la finalisation des travaux de cette expertise collective, ce rapport n'a donc pu être intégré à l'analyse.

La prévention en milieu scolaire

La prévention en milieu scolaire pourrait concerner trois populations d'enfants : les enfants repérés comme à risque de présenter des difficultés d'apprentissage de la lecture en grande section de maternelle ; les enfants en situation de grande difficulté en lecture au CP ; les enfants dyslexiques devant bénéficier d'adaptations pédagogiques pour favoriser les apprentissages dans les domaines préservés.

De nombreuses études étrangères ont évalué les effets d'entraînements ayant pour objectif une réponse de première intention pédagogique effectuée à l'école, soit sur des enfants à risque de difficultés d'acquisition du langage écrit (issus de familles à risque génétique) soit le plus souvent sur des enfants en situation d'échec en lecture. Cette prévention n'est pas ciblée sur des enfants dyslexiques puisqu'elle intervient en amont de tout diagnostic.

Les bases scientifiques sous-tendant la nature de ces entraînements sont les connaissances acquises en recherche fondamentale sur l'apprentissage de la lecture. Toutes ces études concernent des populations anglophones, donc dans une langue encore moins transparente que le français.

Les enjeux de ces travaux sont essentiels : une réponse pédagogique effectuée en classe est réalisable pour tout enfant sans discrimination, elle constitue une action de prévention et n'entraîne pas de coût sanitaire, à l'inverse d'une réponse de soins. Il est donc indispensable de tenir compte des résultats de ces études : quels sont les entraînements les plus pertinents ? Sur quels enfants agissent-ils ? Quelles sont les qualités et intensités de leurs effets ? Néanmoins, la particularité de notre langue et de notre système éducatif rendra nécessaires des études françaises.

L'intérêt des entraînements tient à la nécessité d'éviter chez les enfants mauvais lecteurs le « décalage » avec leurs pairs bons lecteurs. Ainsi, il s'agit de ne pas laisser un enfant s'enliser dans le cercle vicieux et agir le plus vite possible chez le mauvais décodeur, ou à risque de le devenir. Les questions à poser sont :

- quels sont les enfants concernés par un entraînement phonologique ?
- les entraînements doivent-ils concerner les déficits spécifiques du décodage ?
- les effets se généralisent-ils sur la compréhension ?

61. http://www.sante.gouv.fr/htm/dossiers/troubles_langage/recommandations_tsl.pdf

En ce qui concerne les modalités d'entraînement (la taille des groupes, le type d'entraînement, sa durée, son mode – individuel ou en petit groupe –), les tests ou études déterminant l'efficacité de ces différentes modalités donnent des résultats très variables.

Les résultats des principales études montrent que les effets des entraînements à la « conscience phonologique » associant des modalités auditives et visuelles a un large impact statistique sur son développement, un effet plus modéré mais statistiquement significatif sur la lecture et l'écriture. Non seulement l'identification des mots, mais aussi la compréhension est améliorée. Un bénéfice plus ou moins grand sur la lecture est constaté dans toutes les conditions de l'entraînement. Les effets sont positifs aussi bien chez les enfants qui apprennent à lire normalement, que sur ceux à risque de difficultés et pour ceux qui ont des difficultés, en maternelle ou en CP. Cet enseignement développe aussi l'écriture chez les enfants en difficultés.

Ainsi, l'enseignement de la conscience phonologique associé à la voie d'assemblage, intensif, spécifique, explicite, en petit groupe à besoin similaire, favorise la lecture et l'écriture chez les enfants en difficultés de décodage.

En France, les actions de prévention en milieu scolaire n'ont pas été recensées dans le cadre de cette expertise et très peu ont donné lieu à des études publiées dans la littérature scientifique.

Une étude française d'entraînement utilisant un logiciel de discrimination auditive et visuelle a été menée chez des enfants « mauvais décodeurs » en grande section de maternelle. Cet entraînement dure 10 heures réparties sur 5 semaines, deux fois 15 minutes par jour, 4 jours par semaine. Il a permis aux enfants entraînés de devenir meilleurs en moyenne que les enfants témoins décodant mieux au départ. Une autre étude française contrôlée étudie les effets d'un entraînement à l'école de 80 enfants mauvais décodeurs de CE1, en petit groupe à l'aide d'un logiciel spécifique. Elle a également montré que les enfants entraînés progressent plus vite en décodage que le groupe témoin non entraîné des mauvais décodeurs.

L'outil informatisé mérite de nouvelles évaluations rigoureuses pour préciser ses effets spécifiques et leurs limites ainsi que les modalités d'une généralisation de son utilisation en cas d'effets bénéfiques confirmés. Ce type d'outil ne peut pas se substituer à un véritable enseignant, mais peut seulement venir en complément.

Cependant, les études montrent que les entraînements au décodage n'améliorent pas ou peu la vitesse de lecture, qui nécessite d'autres types d'entraînements. D'après la littérature, l'entraînement le plus reconnu comme efficace sur la fluidité (donc la rapidité de la lecture) est la technique de répétition de lecture : les lettres, mots et phrases lus sont répétés jusqu'à obtenir une certaine vitesse. Plusieurs auteurs décrivent les effets d'un tel

entraînement sur la vitesse de lecture d'un texte (entraînement de 6 minutes par jour pendant 6 à 9 mois).

En termes de prévention, il faut souligner que les adaptations pédagogiques sont absolument indispensables. Elles ont pour objectif de permettre aux enfants de contourner leur handicap. Elles consistent à tenir compte des difficultés présentées par l'enfant du fait de son trouble et à lui permettre de faire les apprentissages dans les domaines préservés, sans être handicapé par son trouble (par exemple lui lire les énoncés ou lui donner un temps supplémentaire pour les mathématiques en cas de dyslexie, diminuer la charge d'écriture en cas de dysgraphie…). Ces adaptations sont répertoriées dans plusieurs travaux (Cd-Rom de sensibilisation, guides édités par les académies de Grenoble et de Rennes à l'usage des enseignants, livret de suivi de l'élève dyslexique). Une réflexion en France sur la nature de ces adaptations et sur les critères demandés pour que les enfants puissent en bénéficier est indispensable pour harmoniser ces mesures.

Bilan des méthodes de rééducation

Il existe une grande diversité de méthodes de rééducation et d'entraînement et une partie d'entre elles découle directement des différentes théories explicatives de la dyslexie. Cependant, un grand nombre de traitements préconisés pour la dyslexie n'ont fait l'objet d'aucune étude scientifique, ni d'un point de vue théorique, ni du point de vue de l'évaluation de l'efficacité du traitement. En effet, les critères scientifiques qui permettent d'évaluer l'efficacité d'un traitement ne sont pas toujours respectés totalement : études de groupes, fondées sur des observations objectives et quantifiées et appuyées par des statistiques rigoureuses (les comptes-rendus de cas individuels ne constituent pas une évaluation objective) ; constitution d'un groupe témoin qui reçoit un traitement placebo de durée et d'intensité comparable à celui reçu par le groupe expérimental ; procédure classique de l'essai clinique contrôlé randomisé en double aveugle ; plusieurs études indépendantes réalisées sur un grand nombre de personnes.

La plupart des rééducations actuellement pratiquées sont de type orthophonique. Elles portent sur : l'entraînement des capacités phonologiques de l'enfant ; la rééducation de la lecture avec des méthodes souvent différentes de celles possibles en classe ; la mise en place de stratégies de compensation pour permettre à l'enfant de contourner les déficits identifiés.

Bien que la rééducation orthophonique telle que pratiquée en France repose sur des principes généraux issus des connaissances scientifiques acquises et validées au cours des dernières années, elle n'a pas encore fait l'objet d'évaluation scientifique dans le traitement de la dyslexie. Cependant, le fait que la rééducation orthophonique se déroule individuellement, avec une ortho-

phoniste ayant bénéficié d'une formation spécifique permet de développer un programme de rééducation sur mesure, fondé sur un bilan précis des compétences et des faiblesses de l'enfant, et d'exécuter ce programme dans des conditions optimales d'interactivité permettant une adaptation en temps réel aux besoins de l'enfant. Cette particularité essentielle de la prise en charge orthophonique ne peut a priori qu'augmenter son efficacité, par rapport aux programmes d'entraînement administrés en classes ou en groupes, qui sont évalués dans la littérature scientifique. Les travaux issus de la littérature internationale portant sur des programmes d'entraînement pédagogique (informatisés ou non) appliqués à des enfants « mauvais lecteurs » montrent qu'une certaine intensité est requise pour atteindre une efficacité raisonnable (typiquement, 4 à 5 séances par semaine) et que, moyennant cette intensité, de bons résultats peuvent être obtenus sur des durées de rééducation relativement courtes (de l'ordre de 6 semaines). Néanmoins, il existe une grande diversité de pratiques orthophoniques qui devraient donc être évaluées et comparées entre elles, en prenant en compte les modalités de leur mise en œuvre (dont l'intensité, la durée, l'utilisation ou non d'outils informatiques) afin de mieux cerner les bonnes pratiques, et être en mesure de mieux guider la pratique orthophonique. Un programme informatisé en français comportant un entraînement audiovisuel à l'identification des syllabes orales et écrites a montré une certaine efficacité. Cependant, des études répondant aux critères requis pour une évaluation rigoureuse seront nécessaires pour considérer qu'il s'agit d'une technique utile en complément de la rééducation orthophonique.

Parmi les différentes théories explicatives de la dyslexie, la théorie selon laquelle les sujets dyslexiques (et les dysphasiques) souffrent d'un déficit du traitement auditif temporel a naturellement engendré des entraînements visant à rééduquer leur perception auditive. C'est le cas du programme informatique américain *Fast ForWord* qui comporte un entraînement à la discrimination de séquences auditives temporelles, ainsi qu'un entraînement des capacités phonologiques. La particularité du programme est d'utiliser la parole modifiée pour la rendre plus intelligible aux enfants qui auraient un déficit de traitement auditif temporel (sons brefs et transitions rapides amplifiés et allongés de manière adaptative). Néanmoins, les évaluations indépendantes de ce programme ont produit des résultats contradictoires, qui ne permettent pas pour l'instant de prouver son efficacité, tant sur le langage oral qu'écrit.

La méthode Tomatis de stimulation auditive repose sur une conception de l'audition qui n'a aucun fondement scientifique. Une méta-analyse de toutes les études ne permet pas de conclure à un effet positif de cette méthode.

La sémiophonie (ou méthode Lexiphone) est une méthode de rééducation intensive dont le principe fondamental est une stimulation auditive (le « son paramétrique ») qui ne repose sur aucun principe scientifique connu. Cette rééducation incorpore une exposition structurée à de la parole (syllabes, mots

et pseudo-mots), de la musique, ainsi qu'à des textes lus, de la lecture guidée et de l'écriture. Un essai clinique est en cours en France.

Plusieurs méthodes de rééducation de la dyslexie portent sur les capacités visuelles et visuo-attentionnelles. L'occlusion d'un œil sur des enfants à la fois dyslexiques et présentant une instabilité binoculaire a été testée lors d'essais cliniques contrôlés randomisés en double aveugle qui ont montré une amélioration significative.

Il a été suggéré que le port de lunettes ou lentilles teintées peut améliorer la lecture de personnes dyslexiques qui auraient des symptômes visuels. Un essai clinique a montré des effets modestes bénéfiques sur la lecture de l'utilisation d'un transparent dont la couleur a été optimisée individuellement pour les personnes qui souffrent d'un stress visuel.

Un traitement appelé « stimulation hémisphérique spécifique », consiste à stimuler spécifiquement celui des deux hémisphères cérébraux qui est présumé déficient chez un enfant donné, en présentant de manière brève (tachistoscopique) et répétée des mots dans le champ visuel opposé. Les données expérimentales suggèrent en fait que les effets observés seraient non spécifiques (par exemple attentionnels).

Les systèmes moteurs et propriocepteurs ont aussi fait l'objet de méthodes de rééducation (motricité, équilibre, réflexes archaïques, proprioception). Les données disponibles actuellement sont insuffisantes pour répondre de l'efficacité de ces méthodes dans le traitement des troubles de la lecture.

Plusieurs médicaments et compléments nutritifs n'ont pas montré d'efficacité lors d'essais cliniques (méthylphénidate, antihistaminiques, piracétam, acides gras polyinsaturés).

Il n'existe pas de traitement psychothérapique de la dyslexie abordé dans la littérature scientifique. Lorsqu'un enfant présente des troubles anxieux, dépressifs ou divers troubles de comportement, cela peut engendrer dans certains cas, une difficulté à apprendre à lire, mais il s'agit de troubles de nature très différente de ceux qui rentrent dans le cadre de la définition de la dyslexie. Néanmoins, beaucoup d'enfants dyslexiques souffrent de leurs échecs scolaires, ce qui peut entraîner, de manière secondaire, des troubles anxieux, dépressifs ou de comportement. Lorsque c'est le cas, ces troubles doivent être diagnostiqués et pris en charge de façon appropriée, en plus d'une prise en charge spécifique au trouble d'apprentissage.

La prise en charge individuelle en pratique clinique

Les soins consistent en une prise en charge individuelle de l'enfant, déterminée par l'évaluation précise des déficits en langage écrit, calcul et graphisme ainsi que des troubles associés (par exemple troubles du langage oral, émo-

tionnels ou attentionnels). En France, cette prise en charge s'effectue par les professionnels spécialisés selon le diagnostic qui est porté (orthophonistes, neuropsychologues, psychologues, psychomotriciens, ergothérapeutes…) et dans le cadre de dispositifs et réseaux pluridisciplinaires de prise en charge des troubles spécifiques des apprentissages (centres de références, Rased,…). L'objectif de cette expertise n'est pas d'analyser la réalité des pratiques en France qu'il revient à d'autres instances d'effectuer dans le cadre de leurs missions, mais de présenter quelques principes d'action fondés sur l'analyse de la littérature dans le domaine du soin.

Quels que soient les soins prescrits, ils doivent toujours s'associer à la prise en charge pédagogique pour permettre à l'enfant de continuer ses apprentissages dans ses domaines de compétence, malgré son trouble et pour lui offrir une pédagogie adaptée à ses besoins et possibilités dans le domaine déficitaire.

Peu d'études scientifiques apportent des données objectives sur les indications de la rééducation orthophonique devant un trouble du langage écrit (à quel âge, devant quelle sévérité du trouble), ni sur ses axes, ou les outils à privilégier, la fréquence et la durée.

Les recommandations de l'Anaes (1997) sur l'orthophonie dans les troubles spécifiques du langage écrit comportent essentiellement des recommandations reposant sur des accords professionnels (sans preuve scientifique). Cependant, la rééducation orthophonique est très largement pratiquée, et son intérêt est majeur pour permettre à l'enfant d'améliorer son déficit. Les données de la littérature sur le développement du langage écrit et ses facteurs prédictifs, les études d'évaluation d'entraînements spécifiques qui se multiplient, les études ouvertes sur les bénéfices de prises en charge intensives d'enfants sévèrement atteints, permettent de définir au moins certaines indications, axes et conditions pratiques.

Devant un trouble spécifique d'acquisition du langage écrit, une rééducation orthophonique individuelle est préconisée dès le CP s'il persiste un trouble du langage oral, ou dès la fin du CP si la réponse pédagogique adaptée initiale s'est avérée insuffisante, ou en cas de signes de gravité comme l'absence de correspondance graphème-phonème ou syllabique (/b/a/→ /ba/), tout particulièrement s'il existe un antécédent familial de trouble du langage ou personnel de retard de langage oral. La rééducation de la lecture et de l'orthographe menée simultanément semble préférable. Ses axes sont déterminés par les résultats précis de l'évaluation individuelle des stratégies déficitaires et préservées, des fonctions cognitives sous-jacentes en langage oral, compétences phonologiques et traitement visuel, évaluation quantitative et qualitative à l'aide de tests étalonnés. Le décodage et l'encodage par assemblage et les compétences phonologiques sont le premier temps de la rééducation, s'ils ne sont pas suffisamment efficients et automatisés, ce qui est habituel dans la plupart des dyslexies.

Les supports visuels, kinesthésiques, sémantiques peuvent servir à pallier le déficit perceptif auditif. Le stock orthographique est en règle générale développé en différenciant les situations sans trouble visuel et celles avec un déficit du traitement visuel. Dans les dyslexies phonologiques, sans déficit du traitement visuel, les difficultés de décodage ralentissent la constitution du lexique orthographique qu'il s'agit de développer. Dans les cas où le traitement visuel est perturbé, il est rééduqué également pour permettre à l'enfant d'enrichir ce lexique orthographique. L'utilisation de ce lexique, une fois développé doit être favorisée en orthographe puis en lecture, en travaillant sur les mots isolément ou en contexte. L'utilisation de la morphologie est prometteuse chez le sujet dyslexique pour aider au développement des connaissances orthographiques, indépendamment des compétences phonologiques. Enfin, la fluidité de lecture par la lecture répétée et surtout les habiletés de compréhension sont travaillées pour amener à un niveau de compréhension écrite au moins égal à la compréhension orale. Le projet définit généralement un nombre limité d'axes, pour un temps donné, en privilégiant les plus urgents en fonction de l'âge et du type de troubles des enfants, par exemple la correspondance graphème-phonème et la discrimination des sons. Ces axes sont revus par des évaluations régulières parcellaires quantitatives et qualitatives de la fonction déficitaire travaillée.

Les études sur les entraînements mettent en évidence que des programmes de travail intensif (une demi-heure par jour, quatre jours par semaine) sur des durées relativement courtes (5 à 10 semaines), à condition qu'ils soient précisément et spécifiquement dirigés vers une fonction cognitive déficitaire, apportent des bénéfices spécifiques à la fonction entraînée. Ces résultats pourraient justifier de revoir les pratiques actuelles en matière de soins, en proposant d'évaluer des programmes intensifs, spécifiques, sur des durées courtes, destinés aux enfants résistants à la prise en charge pédagogique adaptée et harmonisés à la pédagogie toujours indispensable. Néanmoins, ces entraînements sur une fonction précise ne représentent pas l'intégralité de la rééducation orthophonique dont l'objectif est d'aboutir à une lecture fonctionnelle et une orthographe lisible. Les effets de l'ensemble de la rééducation nécessitent d'être évalués tous les six mois-un an, par un nouveau bilan utilisant des tests comparables à l'évaluation initiale, permettant d'apprécier quantitativement et qualitativement les progrès réalisés et donc la poursuite du projet de rééducation. En fonction de l'évolution des compétences de l'enfant, les décisions peuvent être soit un arrêt de la rééducation (en cas de normalisation des scores, ou bien une stabilisation de ces scores avec lecture fonctionnelle et orthographe lisible), soit une continuation de la rééducation à un rythme à déterminer en fonction des objectifs visés (en cas d'amélioration sans normalisation, ni lecture parfaitement fonctionnelle ou orthographe lisible), soit une évaluation pluridisciplinaire, par exemple en centre de référence et la recherche des troubles associés, en cas d'évolution insuffisante.

Après l'arrêt de la rééducation, les adaptations en milieu scolaire demeurent indispensables en fonction du handicap en terme de vitesse de lecture et dysorthographie. Pour cela, l'outil informatique peut s'avérer utile : traitement de texte (en cas de troubles du graphisme associés), correcteur orthographique, dictée vocale (en cas de séquelles importantes) pour offrir à l'enfant la lecture de textes par l'ordinateur et améliorer la lisibilité des productions écrites.

Les troubles du graphisme nécessitent d'être précisément analysés afin de leur apporter la réponse adéquate, par le professionnel le plus pertinent (psychomotricien ou ergothérapeute). Il s'agit de déterminer grâce aux résultats quantitatifs et qualitatifs des tests spécifiques si le trouble touche la coordination gestuelle, la perception et/ou la production visuelle et visuo-spatiale. Ces prises en charge peuvent commencer en fin de maternelle, début de primaire si les troubles sont sévères, avant 8 ans en cas de troubles persistant, avant que des stratégies déviantes d'enchaînement des lettres ne soient fixées. Tout comme la rééducation orthophonique, les prises en charge du graphisme sont associées aux réponses pédagogiques adaptées et doivent être évaluées par un bilan d'évolution utilisant des tests étalonnés dont les résultats sont comparés au bilan initial. Une prise en charge orthoptique devant un trouble prédominant de la perception visuelle peut être indiquée et ses effets doivent être évalués. L'apprentissage du traitement de texte, voire de la dictée vocale dépend de cette évaluation comparative précisant le degré d'handicap persistant compte tenu du projet scolaire.

Les prises en charge des troubles du calcul sont encore extrêmement mal étudiées, les outils et professionnels formés en nombre tout à fait insuffisant. Néanmoins, les troubles d'acquisition du code numérique peuvent être pris en charge dès le début du primaire, ce d'autant que la comorbidité avec les troubles d'acquisition du langage écrit, est élevée, aggravant la situation d'échec de l'enfant.

Les troubles associés aux troubles d'acquisition du langage écrit, touchant le langage oral nécessitent d'être rééduqués, tant les liens langage oral-langage écrit sont étroits. C'est dans cet esprit de prévention de la dyslexie que tout trouble spécifique du langage oral doit être pris en charge, la rééducation ayant deux objectifs, l'amélioration de la parole et du langage, mais aussi la préparation du langage écrit (travail sur l'assemblage et la conscience phonologique).

Les troubles associés comportementaux et émotionnels nécessitent un projet de soins adapté. L'évaluation des apprentissages chez tout enfant consultant pour un trouble déficit de l'attention/hyperactivité ainsi que l'évaluation du comportement et de l'attention pour tout enfant consultant pour un trouble d'acquisition du langage écrit, permettra la prise en charge des deux troubles s'ils sont associés. Les troubles anxieux et de l'humeur doivent conduire à des soins psychothérapiques. Ces psychothérapies, abordant le développe-

ment psychique de l'enfant, sont parfaitement compatibles avec les programmes de rééducation cognitive. Cette complémentarité des prises en charge, à condition que l'une n'exclue pas l'autre, prenant en compte l'enfant dans sa globalité et sa diversité tant au plan cognitif, qu'au plan de sa relation à son environnement, est en pratique réalisable sur le terrain avec un bénéfice pour l'enfant tant dans son adaptation à ses difficultés, que son adhésion à la rééducation.

Une coordination des soins et un accompagnement familial sont indispensables relevant d'un médecin de l'enfant, référent formé et des différents professionnels concernés. Cette coordination est essentielle pour définir les objectifs des programmes de prises en charge, en tenant compte de leur faisabilité et de la priorité pour l'enfant et également pour apprécier l'évolution de l'enfant et en conséquence réajuster les objectifs.

L'harmonisation entre le projet thérapeutique et le projet pédagogique constitue un autre aspect fondamental de la prise en charge qui peut s'appuyer sur les enseignants spécialisés des réseaux d'aide et de soutien, les médecins et psychologues de l'Éducation nationale. Le choix des adaptations scolaires, en fonction de l'évolution de l'enfant, doit lui permettre de continuer ses apprentissages en minimisant les conséquences émotionnelles de la situation d'échec.

Au total, la diversité des pratiques professionnelles mises en jeu dans le cadre du soin et la nécessité d'une coordination santé-éducation justifieraient une analyse relevant des compétences de la Haute autorité de santé pour l'élaboration de recommandations de bonnes pratiques.

Principaux constats

• Les troubles abordés dans cette expertise sont la dyslexie, la dysorthographie et la dyscalculie. Le trouble spécifique du langage oral encore appelé « dysphasie » et le trouble de la coordination motrice appelé « dyspraxie » ne sont pas traités dans cette expertise mais ils peuvent néanmoins interférer avec les apprentissages scolaires.

• Les experts ont analysé selon la procédure d'expertise collective Inserm (annexe 1) environ 2 600 publications et référencé 1 500 articles dans l'ouvrage de l'expertise publiés pour 40 % d'entre eux depuis les années 2000. Les analyses effectuées par le groupe d'experts répondent au cahier des charges défini avec le commanditaire de l'expertise mais ne prétendent pas apporter de réponses à toutes les questions du domaine considéré. Les sujets que les experts n'ont pas pu développer dans le cadre de cette expertise ne doivent pas être considérés comme ayant moins d'importance et certains mériteraient même un travail d'expertise à part entière car la littérature est abondante. Pour d'autres, ce sont les publications qui manquent et la recherche doit être développée.

• La dénomination « spécifique » est appliquée à des troubles dont l'origine est reconnue comme neuro-développementale. Ils sont répertoriés dans la classification internationale des maladies (CIM-10) sous la rubrique F81.0 pour le trouble spécifique de la lecture (dyslexie) ; F81.2 pour le trouble spécifique du calcul (dyscalculie) ; F81.8 pour le trouble spécifique de l'expression écrite (dysorthographie). Même si les critères qui définissent les troubles spécifiques dans cette classification sont insatisfaisants pour les chercheurs et les cliniciens, il s'agit de la seule norme internationale disponible. Ils présentent au moins l'intérêt, lorsqu'ils sont appliqués, de fournir une base de comparaison entre différentes études. Rappelons qu'une classification des troubles n'est pas une classification des personnes. Il convient donc de dire « un enfant présentant une dyslexie » plutôt qu'un « dyslexique ».

• Pour appréhender les troubles spécifiques des apprentissages scolaires, le groupe d'experts a jugé nécessaire de faire tout d'abord un état des lieux sur la chronologie d'acquisition du langage oral et les mécanismes qui président aux apprentissages de la lecture, de l'écriture et du calcul chez l'enfant. Il souligne l'importance que le progrès des connaissances sur les fonctions sollicitées pour l'apprentissage de la lecture, de l'orthographe et du calcul soit mis à la disposition des enseignants sous forme d'outils facilement accessibles et que des collaborations se poursuivent entre les enseignants et les chercheurs.

• L'acquisition de la parole et du langage entre 0 et 3 ans a une forte influence sur le développement des apprentissages scolaires. Un trouble spécifique du langage oral est donc important à prendre en considération avant 5 ans et si possible dès 3 ans.

• La compréhension est la motivation de l'apprentissage de la lecture. Pour savoir lire, dans une écriture alphabétique, un enfant doit être capable de maîtriser les correspondances entre graphèmes (lettres ou groupes de lettres) et les phonèmes (sons de la parole). Pour cet apprentissage, les entraînements répétés aux correspondances graphèmes-phonèmes sont indispensables. Par ailleurs, d'autres activités peuvent être proposées pour susciter la motivation à la lecture.

• On ne dispose pas en France d'une étude représentative de la population générale sur la prévalence de la dyslexie : il faudrait donc mettre en place ce type d'étude. Différents travaux estiment cette prévalence de la dyslexie (modérée à sévère) à un peu moins de 5 % des enfants à partir du CP (les prévalences sont généralement établies pour les enfants de 10 ans dans les études internationales). Les enfants atteints de dyslexie représenteraient selon certains auteurs environ un quart des enfants présentant des difficultés en lecture. Les données issues des études sur la dyslexie ne peuvent donc être généralisées à l'ensemble des enfants rencontrant des difficultés de lecture.

• La dyslexie se manifeste chez un enfant, après le début de l'apprentissage de la lecture au CP, par l'absence de maîtrise des correspondances entre les graphèmes et les phonèmes. La distinction entre un simple retard d'apprentissage et une dyslexie ne peut pas être clairement établie à ce stade. Cependant, des facteurs (probables mais non certains) peuvent être en faveur d'une dyslexie : persistance d'un trouble du langage oral ; membres de la famille atteints de dyslexie.

• La dysorthographie est aujourd'hui essentiellement étudiée chez les enfants atteints de dyslexie. Existe-t-il des dysorthographies qui ne seraient pas liées à un trouble spécifique de la lecture ? La littérature ne permet pas de répondre à cette question. Des études portant sur les mécanismes cognitifs et les déterminants de la dysorthographie isolée sont donc à promouvoir. Dans ce type d'étude, il faudrait évaluer en même temps les performances en orthographe et en lecture.

• Il semble que la dyscalculie se rencontre plus rarement que la dyslexie mais les données manquent sur la prévalence. Les enfants atteints de dyscalculie ont une mauvaise compréhension des principes qui régissent les activités de dénombrement qui constituent le socle sur lequel se construisent toutes les habiletés arithmétiques ultérieures. Ils ont également des difficultés atypiques de mémorisation et d'apprentissage des tables d'addition et de multiplication.

• La dyslexie, la dysorthographie et la dyscalculie sont des troubles persistants qui peuvent se rencontrer chez des élèves au collège et au lycée malgré

les rééducations prodiguées antérieurement. Ils constituent un handicap. Il est important que les professeurs soient informés et formés pour favoriser la mise en place des adaptations indispensables au maintien des élèves dans l'enseignement scolaire ordinaire.

• L'association des trois troubles n'est pas rare. Ce constat a des conséquences en termes d'actions pédagogiques pour l'enseignant, de prise en charge pour le clinicien et de pistes d'études pour le chercheur.

• Dyslexie, dysorthographie, dyscalculie, ensemble ou isolément, peuvent également être associées à des troubles de la coordination (dyspraxie), ou des troubles du graphisme (avec ou sans lien avec une dyspraxie) ou encore aux troubles déficit de l'attention/hyperactivité. Dans plus de la moitié des cas, la dyslexie fait suite à un trouble spécifique du langage oral appelé « dysphasie ». Ce constat amène les chercheurs à explorer des mécanismes sous-jacents communs impliquant de manière variable les principaux systèmes sensori-moteurs.

• Dyslexie, dysorthographie et dyscalculie peuvent être également associées à des troubles émotionnels (troubles anxio-dépressifs) et comportementaux, secondaires à la situation de difficultés scolaires rencontrées ou s'inscrivant dans une véritable co-morbidité. Cette deuxième éventualité laisse ouverte la question de la pluralité et de l'inter-relation des déterminismes. Au plan pratique, pour le groupe d'experts, chaque trouble doit être abordé spécifiquement, et l'enfant pris en charge dans sa globalité. L'analyse du développement psychique de l'enfant et de ses interactions avec son environnement fait naturellement partie de cette prise en charge qui combine approches pédagogiques (à l'école) et de soins (rééducatives et psychothérapiques).

• Les travaux de recherche sur les mécanismes explicatifs des troubles concernent essentiellement la dyslexie. La présence d'un dysfonctionnement du développement d'aires cérébrales normalement impliquées dans la représentation et le traitement des sons de la parole (la phonologie) est l'hypothèse admise pour la dyslexie. Cependant, depuis le début des années 2000, de nombreuses publications ont proposé de nouvelles hypothèses pour rendre compte des associations entre dyslexie et autres troubles développementaux. Pour les troubles développementaux de type troubles envahissants du développement (TED), la littérature actuelle ne permet pas de savoir si les mécanismes sous-jacents aux troubles des apprentissages associés à des TED sont de même nature que pour les troubles spécifiques des apprentissages.

• L'hypothèse de la nature familiale de la dyslexie est évoquée depuis longtemps. Les études de jumeaux menées au plan international ont permis d'estimer que lorsqu'un jumeau monozygote est atteint de dyslexie, la probabilité que l'autre jumeau le soit est de 70 %. La recherche des gènes qui pourraient être impliqués est encore récente mais apporte des résultats concordants : les gènes répertoriés sont impliqués dans la migration (aux étapes précoces du développement cérébral) des neurones qui sont situés

dans des aires cérébrales recrutées bien plus tard dans l'apprentissage de la lecture. S'agit-il pour autant de la découverte « des gènes de la dyslexie » ? Il s'agit tout au plus d'allèles qui augmentent le risque de développer une dyslexie en fonction de l'interaction avec de très nombreux autres facteurs (biochimiques, traumatiques, linguistiques, socio-éducatifs, psychologiques…). Cela ne signifie pas non plus que la cause primaire est toujours génétique, d'autres facteurs sont susceptibles d'être impliqués de manière isolée ou ensemble. Tout paradigme d'un déterminisme exclusivement biologique n'a donc aucune justification.

• Par définition, le diagnostic de dyslexie ne peut être fait lorsque le trouble a pour cause primaire un retard global, un handicap sensoriel, un déficit éducatif, une difficulté linguistique, des troubles mentaux avérés. Ceci ne signifie cependant pas que les facteurs affectifs, familiaux, socioéconomiques et culturels ne jouent aucun rôle dans la survenue et la sévérité d'une dyslexie. Il est notamment établi que l'expression de la dyslexie chez l'enfant résulte à la fois des dysfonctionnements cérébraux et cognitifs (dont les causes peuvent être multiples) et de l'influence de nombreux facteurs environnementaux parmi lesquels l'environnement linguistique, la plus ou moins grande régularité du système orthographique, les méthodes pédagogiques utilisées et bien d'autres facteurs. Il est indispensable qu'à l'avenir des études soient réalisées pour préciser le rôle des interactions entre ces différents facteurs dans la survenue d'une dyslexie.

• Le repérage des élèves ayant des difficultés d'apprentissages scolaires est effectué par les enseignants au sein de la classe et par les parents. Mais la nature de ces difficultés (retard ou trouble spécifique) reste à évaluer. Les enseignants (en particulier les maîtres E) souhaitent disposer d'informations et de formations sur les outils qu'ils pourraient utiliser.

• Le dépistage systématique lors de l'examen obligatoire au cours de la sixième année (article L.541-1 du code de l'éducation), réalisé par les médecins et infirmières de l'Éducation nationale ne peut pas concerner la dyslexie puisque l'apprentissage de la lecture n'a pas commencé. En revanche, il peut identifier les enfants atteints d'un trouble spécifique du langage oral (éventuellement déjà mis en évidence à l'examen de 4 ans). Un trouble spécifique du langage oral diagnostiqué au niveau de la maternelle est un facteur de risque de dyslexie dans 50 % des cas. Des outils de dépistage ont été élaborés et plusieurs sont utilisés dans le cadre de ce dépistage systématique[62].

• Après le signalement d'une difficulté d'apprentissage évoquée par un enseignant, l'enfant peut bénéficier d'un dépistage individuel de première

62. Une commission d'experts a réalisé un travail conséquent sur ce sujet et le rapport est disponible sur le site du Ministère de la santé
http://www.sante.gouv.fr/htm/dossiers/troubles_langage/recommandations_tsl.pdf

intention. Ce dépistage individuel peut être réalisé au sein de l'école par les médecins de l'Éducation nationale, les psychologues et enseignants spécialisés appartenant au réseau d'aide aux élèves en difficulté (RASED) s'ils sont formés aux outils. Cet examen contribue à définir les évaluations complémentaires nécessaires pour poser un diagnostic.

• Le diagnostic est réalisé à l'aide de plusieurs outils spécifiques qui consistent en des batteries de tests. Il peut nécessiter les compétences de plusieurs professionnels réunis au sein d'une équipe pluridisciplinaire. Pour cela, une quarantaine de centres de références ont été créés au sein des centres hospitaliers universitaires.

• Après le diagnostic d'une dyslexie, dysorthographie ou dyscalculie, l'évaluation précise des fonctions déficitaires et la recherche de troubles associés, une prise en charge individuelle est généralement proposée. Elle comprend : des remédiations effectuées par des professionnels spécialisés (plusieurs fois par semaine) parfois dans le cadre de réseaux pluridisciplinaires, ciblant précisément les fonctions déficitaires ; une prise en charge pédagogique pour permettre à l'enfant de poursuivre les apprentissages dans les domaines préservés. Les effets de cette prise en charge doivent être régulièrement évalués et ré-ajustés si besoin. Les troubles associés ne doivent pas être ignorés. Chacun nécessite un travail spécifique mais la prise en charge concerne toujours l'enfant dans sa globalité. Ceci pose la question de la coordination des différents intervenants.

• Il est difficile de se prononcer sur les méthodes de rééducation et d'entraînement proposées aujourd'hui pour la dyslexie car la plupart n'ont pas fait l'objet d'études scientifiques de validation. Les plus fréquentes sont de type orthophonique et portent le plus souvent sur l'entraînement des capacités phonologiques de l'enfant. D'autres rééducations ont pour objectif de permettre à l'enfant de développer des stratégies de compensation pour contourner son handicap. Le fait que le programme de rééducation soit fondé sur un bilan précis des compétences et faiblesses de l'enfant, qu'il se déroule de manière interactive avec un professionnel formé plaide en faveur de son efficacité. Il convient néanmoins de recommander des études rigoureuses sur les multiples méthodes qui se développent actuellement et qui n'ont pas toujours de fondement théorique.

• La prévention est un domaine encore peu exploré. Des études récentes et rigoureuses réalisées en langue anglaise ont évalué les effets des entraînements pédagogiques comme réponse de première intention à l'école sur des enfants à risque de dyslexie (issus de familles atteintes de dyslexie) ou sur des enfants en difficultés d'apprentissage de la lecture. Cette prévention intervient en amont de tout diagnostic. Les résultats de la recherche indiquent que les effets positifs sont obtenus à partir d'entraînements de courte durée, mais répétés chaque jour, avec de petits groupes à besoins similaires, les interventions précoces (dès les premières manifestations de difficultés de

lecture) étant les plus efficaces. Pour les enfants n'ayant pas manifesté d'amélioration, une prise en charge individuelle complémentaire devra alors être mise en œuvre après un diagnostic. Des études expérimentales sembleraient judicieuses à promouvoir en France pour tester les avantages d'une telle stratégie préventive.

• La prévention doit aussi concerner les aménagements et les adaptations pédagogiques pour permettre aux enfants atteints de dyslexie, dysorthographie et dyscalculie de suivre les enseignements dans toutes les matières scolaires et tout au long de la scolarité en milieu ordinaire sans subir les conséquences de leur handicap. En particulier, le décret relatif aux aménagements des examens et concours de l'enseignement scolaire et supérieur devrait pouvoir s'appliquer aux élèves atteints de troubles spécifiques sévères des apprentissages qui, en position de candidat à un concours, sont en situation de handicap. La mise en application du décret, encore très inégale sur le territoire, exige une bonne information et préparation des familles.

Recommandations

Le présent travail d'analyse de la littérature scientifique et de synthèse réalisé par le groupe d'experts réunis sous l'égide de l'Inserm avait pour objectif de faire le point sur les avancées des connaissances concernant les troubles spécifiques des apprentissages scolaires qui touchent environ un quart des enfants ayant des difficultés dans les apprentissages.

Au terme de son travail d'analyse et de synthèse, le groupe d'experts est parvenu à un certain nombre de constats essentiels.

Il existe actuellement, au sein de la communauté scientifique, un consensus quasiment unanime sur la nature des troubles spécifiques qui provoquent l'incapacité pour les enfants qui en sont atteints d'entrer dans les apprentissages, en particulier celui de la lecture. On reconnaît notamment aujourd'hui que ce sont essentiellement des déficits (probablement très précoces et pour une partie d'entre eux à composante génétique) de certains processus langagiers (en particulier phonologiques), qui sont à l'origine des troubles spécifiques d'apprentissage de la lecture.

La diffusion la plus large possible des avancées scientifiques est importante auprès de tous les professionnels, médicaux, paramédicaux et de l'Éducation nationale, qui ont en charge les enfants présentant des troubles spécifiques d'apprentissage, afin d'assurer tout à la fois le dépistage le plus précoce des enfants à risque et permettre la mise en place, sans tarder, de mesures visant à réduire leur déficit et à minimiser ses conséquences sur le devenir scolaire des enfants.

La mise en œuvre des mesures nécessite d'être graduée en fonction de la sévérité des troubles, mais doit comporter impérativement une étape d'évaluation à l'aide d'outils validés et étalonnés pour l'âge de l'enfant, et conduire systématiquement à des aménagements pédagogiques adaptés aux types de difficultés rencontrées par chacun de ces enfants.

On dispose aujourd'hui de données partielles sur les conditions d'efficacité d'un certain nombre de méthodes de rééducation et d'entraînement spécifiques aux fonctions cognitives perturbées, mais une grande partie de ces méthodes doivent encore faire l'objet d'études de validation. Leur grande variété incite à la plus grande vigilance de la part des prescripteurs comme des utilisateurs. La coordination entre les différents partenaires (scolaires et extra-scolaires) apparaît comme indispensable et devant permettre une réflexion adaptée à chaque cas.

Les domaines d'apprentissages autres que la lecture, peuvent également faire l'objet de troubles spécifiques qui requièrent tout autant que pour les trou-

bles de la lecture, une démarche scientifique dans l'étude de leurs mécanismes et une prise en charge adaptée à chaque cas. Leur coexistence avec le trouble de la lecture accroît la sévérité du tableau clinique et justifie le recours à une équipe pluridisciplinaire (centre de référence), éventuellement organisée en réseaux régionaux. L'accès du plus grand nombre à l'ensemble des professionnels compétents est en effet un objectif à obtenir.

Les troubles psycho-affectifs sont fréquents chez les enfants présentant des troubles spécifiques d'apprentissage. Leur présence peut conduire à s'interroger sur la priorité des prises en charge. Ces troubles peuvent apparaître comme la conséquence du trouble spécifique des apprentissages, ou comme une co-morbidité qui va en aggraver les manifestations et justifier, dans ce cas, de ne pas négliger les rééducations spécifiques aux troubles des apprentissages.

Parmi les nombreux domaines restant encore à explorer sur le thème de l'expertise, celui de la fréquence des différents types de troubles spécifiques et de leur association à l'échelle de la population reste une thématique prioritaire, ne serait-ce que pour mesurer, de manière plus précise qu'actuellement, l'impact des troubles spécifiques des apprentissages en terme de santé publique.

Le Plan national d'action pour les enfants atteints d'un trouble spécifique du langage arrêté en 2001[63] a défini cinq axes prioritaires qui recoupent en partie ceux présentés ci-dessous. Les propositions du groupe d'experts s'inscrivent dans une démarche scientifique susceptible d'éclairer, à partir des données récentes, certains aspects des actions à engager, déjà engagées ou encore à évaluer. Lorsque ces propositions d'action concernent un domaine nouveau comme celui évoqué pour la prévention, elles doivent être expérimentées, évaluées et confrontées à d'autres approches avant une large diffusion. Pour les recommandations déjà mises en œuvre dans le cadre du plan national, l'objectif de la présente expertise collective ne visait pas à en évaluer l'application.

Au cours de l'expertise, des rencontres avec les associations de patients et de parents, avec les professionnels du champ éducatif, médical et para-médical (orthophonistes, neuropsychologues, psychologues…) ont mis en lumière une volonté de partager et faire converger connaissances, expériences et savoir-faire sous une forme si possible institutionnalisée d'échanges.

Pour mieux repérer, dépister, prévenir

Les connaissances acquises sur les troubles des apprentissages devraient être mises à disposition du public, notamment des parents et des professionnels concernés. Elles contribuent à faciliter le repérage des enfants en difficulté d'apprentissage.

63. http://www.sante.gouv.fr/htm/dossiers/troubles_langage/plandysl.pdf
ftp://trf.education.gouv.fr/pub/edutel/actu/2001/03_21_dp_troublelangage.pdf

Dans le cadre de l'école, les enseignants sont les premiers et les mieux placés pour identifier les enfants qui présentent des difficultés dans les apprentissages. Les connaissances relatives à la nature des troubles spécifiques des apprentissages et à leurs manifestations devraient faire partie maintenant d'une véritable formation initiale des enseignants de même que l'intégration de nouvelles connaissances aux pratiques éducatives.

Informer les professionnels et le public sur les troubles spécifiques des apprentissages et leur prise en charge

Par définition, les troubles spécifiques des apprentissages ne peuvent être attribués ni à un retard intellectuel, ni à un handicap sensoriel, ni à un trouble psychiatrique avéré. Ces troubles sont donc inattendus compte tenu des autres aspects du développement. Ils persistent le plus souvent jusqu'à l'âge adulte. Par exemple, la dyslexie est un trouble durable et persistant de l'acquisition de la lecture qui se manifeste même chez des élèves ayant un bon niveau intellectuel et une bonne perception visuelle et auditive et pour lesquels aucun facteur d'ordre socioéconomique, médical ou éducatif ne peut expliquer les difficultés qu'ils rencontrent. Une information sur les troubles spécifiques des apprentissages doit être communiquée aux parents et au public en général afin d'éviter les inquiétudes ou les errances diagnostiques. Cette information doit permettre de comprendre comment se font les acquisitions scolaires (lecture, orthographe, calcul) et de mieux appréhender les premiers signes de difficultés.

On connaît aujourd'hui un certain nombre de signes précoces des troubles spécifiques des apprentissages. Même si certains de ces signes peuvent être recherchés avant même le début de tout apprentissage explicite de la lecture, aucun signe susceptible d'être mis en évidence en maternelle n'est à coup sûr indicateur d'un futur déficit spécifique des apprentissages de la lecture, de l'orthographe ou du calcul. Ce sont l'accumulation et la persistance de différents indices qui devront être prises en compte et conduiront à poser un diagnostic. Aussi, l'absence de trouble avant le CP n'implique pas que l'enfant ne rencontrera pas de difficultés d'apprentissage.

Former les enseignants à mieux connaître et reconnaître les troubles spécifiques des apprentissages

Une formation sur la chronologie des acquisitions donnerait la possibilité aux enseignants de porter une attention particulière aux enfants qui en maternelle présentent des facteurs de risque de troubles spécifiques des apprentissages de la lecture (confusion perceptive entre sons proches, déformation des mots, difficultés à répéter les comptines, difficultés de mémorisation de mots inventés, non connaissance du nom des lettres…) et du calcul (retards dans l'acquisition des nombres et le dénombrement).

De fait, les déficits précoces de segmentation et de discrimination des phonèmes (sons élémentaires du langage oral) sont parmi les indicateurs les plus fiables des futures difficultés de lecture, tout comme la présence d'un déficit des capacités de mémoire à court terme phonologique (évaluées, par exemple, par la répétition de mots inventés) de même qu'un déficit dans la connaissance des lettres. Après les débuts du CP, la principale manifestation des difficultés d'apprentissage de la lecture est l'absence de maîtrise des correspondances entre les lettres ou groupes de lettres (graphèmes) et les sons (phonèmes).

Une formation sur les fonctions impliquées dans l'apprentissage de la lecture (segmentation et discrimination phonémiques, mémoire à court terme phonologique, connaissance des lettres...) permettrait aux enseignants de repérer dès le début ou au cours du CP les enfants qui présentent des difficultés et ainsi de pouvoir mettre en place rapidement des entraînements pédagogiques en classe.

Les différentes activités numériques menées dès la maternelle permettent aux enfants de maîtriser les procédures de dénombrement par pointage et comptage sur les doigts. Les enfants acquièrent ces capacités généralement avant la fin de la maternelle. L'entrée au CP se traduit par l'enseignement systématique d'un nouveau code – le code indo-arabe – et des algorithmes qui lui sont associés et qui donnent à la résolution des opérations une puissance que le code verbal ne peut assurer. Le passage de l'oral au code indo-arabe ou l'inverse, s'appuie initialement sur les connaissances verbales, ce qui explique que, par exemple en français, la transcription de quantités telles que soixante quinze puisse donner lieu à des erreurs telles que 6015 que l'on rencontre dans la seconde partie du CP.

Une formation sur les fonctions sollicitées pour l'apprentissage du calcul pourrait permettre aux enseignants de reconnaître chez les enfants les premiers signes de la dyscalculie comme une mauvaise compréhension des principes de dénombrement, l'utilisation de stratégies primitives de comptage sur les doigts et plus tard une difficulté anormale et persistante à mémoriser les résultats des additions et multiplications les plus simples.

Il faut souligner également la nécessité de former les enseignants du second degré car nombre d'enfants ont des troubles persistants au collège et au lycée et ce malgré les rééducations prodiguées. Sans formation sur le sujet, les professeurs peuvent considérer ces élèves comme atteints d'un retard ou d'un trouble mental et estimer que ces élèves n'ont pas leur place dans l'enseignement ordinaire.

Promouvoir une utilisation appropriée des outils dans le cadre du dépistage

Les outils de dépistage des troubles spécifiques des apprentissages ne peuvent être proposés que lorsque l'enfant a commencé ses apprentissages scolaires

(lecture, écriture, calcul) c'est-à-dire après 6 ans. Il existe par ailleurs des outils qui permettent de dépister avant 6 ans des facteurs de risque de troubles des apprentissages en explorant le langage oral, les capacités non verbales, l'attention, la mémoire…

Dans le contexte d'un dépistage individuel après 6 ans, il existe plusieurs outils ou tests pour rechercher si un enfant présentant des difficultés d'apprentissage de la lecture par exemple est susceptible d'avoir un trouble spécifique (dyslexie). Ces outils étalonnés en France ont des objectifs spécifiques pour lesquels la sensibilité et la spécificité ont été déterminées. Explorant des fonctions et capacités différentes, ces outils peuvent être utilisés de manière complémentaire lors d'un premier bilan. Ils peuvent permettre d'identifier les enfants nécessitant une approche pédagogique différenciée, ceux devant être suivis ou adressés à un professionnel spécialisé pour effectuer un diagnostic.

Dans le cadre du bilan de santé obligatoire de 6 ans pour l'entrée dans l'enseignement élémentaire (article L.2325.1 du code de la santé publique), les outils de dépistage de facteurs de risque s'inspirant des résultats des études longitudinales doivent être utilisés. Toutefois, l'intérêt de ce repérage précoce ne peut se concevoir que si des actions préventives ayant fait la preuve de leur efficacité dans le cadre d'évaluations rigoureuses peuvent être mises en place.

Il faut signaler qu'une commission d'experts mise en place (arrêté du 8 février 2002) pour élaborer au niveau national des recommandations sur les outils à usage des professionnels de l'enfance dans le cadre du plan d'action pour les enfants atteints d'un trouble spécifique du langage a rédigé un rapport rendu public en 2006[64].

Développer et évaluer des entraînements pédagogiques en adaptant les modèles efficaces à l'étranger

Des études principalement en langue anglaise ont montré l'efficacité de certains entraînements pédagogiques (actions sur fonction cognitive déficitaire) chez des enfants en CP ou CE1 présentant des troubles du décodage. D'après les études, les entraînements doivent proposer un travail spécifique, intensif et explicite. Ce travail doit porter d'une part sur les relations graphème-phonème et ce aussi bien dans des tâches de synthèse (des unités grapho-phonémiques au mot) que d'analyse (du mot aux unités grapho-phonémiques) et d'autre part sur les capacités d'analyse, de discrimination et de fusion phonémique. Ces entraînements doivent être poursuivis jusqu'à la maîtrise de la lecture et amener les enfants à reconnaître, discriminer et

64. http://www.sante.gouv.fr/htm/dossiers/troubles_langage/recommandations_tsl.pdf

écrire des mots de plus en plus rapidement. Une action quotidienne d'une demi-heure à une heure par jour est préconisée en individuel ou en petits groupes à besoin similaire. Une évaluation des bénéfices de l'entraînement peut être effectuée au bout de quelques mois.

Les résultats des études disponibles montrent que ce type d'entraînement en CP a des effets positifs sur l'automatisation de la reconnaissance des mots écrits et la compréhension de texte et à un moindre degré l'orthographe. L'effet sur la vitesse de lecture reste néanmoins à confirmer.

Sur le modèle de ces études, des entraînements pédagogiques devraient être expérimentés dès le début du CP, pour les enfants ayant présenté un trouble du langage oral et dès la deuxième partie du CP pour les faibles décodeurs. De même, l'éventuel bénéfice d'un entraînement, à titre préventif, dès la grande section de maternelle pour les enfants à risque de dyslexie (ayant un trouble du langage oral, de faibles compétences phonologiques ou issus de familles atteintes de dyslexie) devrait être étudié.

De telles actions expérimentales en France permettraient d'évaluer si les entraînements pédagogiques à l'école, limités dans le temps, ne marginalisant pas les enfants, accessibles à tous sont bénéfiques à une partie d'entre eux, leur permettant de récupérer de façon stable et durable un niveau de lecture proche de la normale, sans autre prise en charge. Elles permettraient ainsi de savoir si les enfants avec un « retard en lecture », transitoire, peuvent être différenciés des enfants atteints de dyslexie qui nécessiteront des soins complémentaires en prise en charge individuelle. Cette stratégie de prévention, si elle était validée en France, permettrait donc un accès plus rapide aux centres de références pour les enfants qui ont réellement besoin d'un diagnostic.

Dans le cadre de ces expérimentations d'entraînements pédagogiques en milieu scolaire, une formation des enseignants serait nécessaire pour la prise en charge préventive en grande section de maternelle des enfants présentant des risques pour l'apprentissage de la lecture tout comme pour la prise en charge des enfants en difficulté de lecture en CP.

Promouvoir les aménagements et les adaptations pédagogiques nécessaires pour prévenir d'autres difficultés d'apprentissages

Plusieurs travaux de la littérature abordent les effets positifs des aménagements et adaptations pédagogiques qui permettent à l'enfant présentant un trouble spécifique dans un domaine, d'acquérir les connaissances requises à son niveau de classe dans les autres matières (mathématiques, histoire, sciences de la vie et de la terre…) sans être handicapé par son trouble. Il s'agit par exemple de lui lire les énoncés en mathématiques ou de lui donner un temps supplémentaire pour les lire en cas de dyslexie, ou encore de diminuer la charge d'écriture en cas de troubles de l'orthographe ou du

graphisme associés par l'utilisation de l'outil informatique (usage du traitement de texte du correcteur orthographique ou encore, de la dictée vocale dans les cas les plus sévères).

Ces aménagements et adaptations pédagogiques doivent être mis en place et évalués tout au long de la scolarité (primaire, secondaire, supérieur) afin que l'enfant ne soit pas pénalisé par son trouble du langage écrit (lecture, orthographe) et qu'il puisse tirer bénéfice des autres apprentissages. De tels travaux pourraient contribuer à définir les conditions d'intégration en milieu ordinaire d'enfants présentant un trouble spécifique des apprentissages et bénéficiant par ailleurs d'une prise en charge individuelle.

Le décret n°2005-1617 du 21 décembre 2005 relatif aux aménagements des examens et concours de l'enseignement scolaire et supérieur doit s'appliquer aux élèves atteints de ces troubles spécifiques qui, en position de candidat à un examen ou concours, sont en situation de handicap au sens de la nouvelle nomenclature internationales sur les déficiences, incapacités et handicaps. Cependant, les associations de familles signalent une application très disparate des textes d'un département à l'autre. Par ailleurs, étant donné la diversité de la gravité des troubles spécifiques des apprentissages, la notion de handicap reste parfois mal perçue par les parents qui hésitent à avoir recours aux Maisons départementales des personnes handicapées pour bénéficier de ces aménagements.

Pour mieux prendre en charge

Mettre en place et évaluer différentes modalités de soin individuel pour la dyslexie

Les soins individuels pour la dyslexie doivent s'appuyer sur les connaissances scientifiques acquises ces dernières années. Ils doivent tenir compte de la diversité de chaque cas : la nature précise du trouble cognitif que présente l'enfant, l'environnement dans lequel il évolue.

Des données de plus en plus nombreuses de la littérature sur le développement du langage écrit et ses facteurs prédictifs, ainsi que sur les effets des entraînements spécifiques précisent certaines indications, axes et conditions pratiques d'une prise en charge. Les études mettent en évidence que des programmes de travail intensif (en règle générale d'une demi-heure par jour, quatre jours par semaine) sur des durées relativement courtes à condition qu'ils soient précisément et spécifiquement dirigés vers une fonction cognitive déficitaire, apportent des bénéfices sur cette fonction déficitaire avec une généralisation à la lecture et à l'orthographe.

Une prise en charge orthophonique individuelle d'un trouble spécifique d'acquisition du langage écrit se justifie dès le début du CP s'il persiste un

trouble du langage oral, au cours du CP si l'entraînement pédagogique en classe s'est avéré insuffisant ou encore en cas de signes de sévérité comme l'absence totale d'entrée dans le code graphème-phonème au cours de l'apprentissage. Les effets de cette prise en charge doivent faire l'objet d'évaluations régulières quantitatives et qualitatives par des tests étalonnés.

Il serait intéressant d'expérimenter, d'évaluer et de comparer plusieurs modalités de soin en fonction de l'âge, du type de fonction altérée et dans différentes conditions (avec reprise quotidienne en classe et/ou à la maison du programme défini par le professionnel en charge de l'enfant ; harmonisation avec les interventions pédagogiques…) et avec différents modes de compensations (supports visuels et kinesthésiques par exemple). L'objectif est d'optimiser au mieux les modalités de soins en fonction des besoins de l'enfant.

L'utilisation d'outils standardisés (jeux vidéo, enregistrements audiovisuels ludiques) apparaît nécessaire en recherche et en pratique clinique pour contrôler la qualité et la quantité des informations qui sont adressées à l'enfant durant les séances d'entraînement., L'avantage d'outils informatisés (numérisation de la parole par exemple), outre le fait qu'ils exercent spécifiquement l'entrée auditive, est qu'ils permettent de réaliser une progression dans la difficulté des exercices, et éventuellement d'adapter ces exercices à chaque cas en fonction de l'âge, ou encore de la sévérité du déficit phonologique. Les résultats de ces recherches, s'ils sont positifs, pourront être généralisés ultérieurement en pratique clinique.

Cependant, la prolifération d'outils, en particulier informatisés, non contrôlés dans leurs objectifs et leur contenu et non évalués quant à leur efficacité justifie la création d'une instance scientifique indépendante de validation/labellisation des outils de remédiation des troubles des apprentissages. Des travaux comparatifs (sur le modèle d'un essai thérapeutique) de ces différents outils permettraient de connaître leurs effets et leurs limites.

L'évaluation des effets des entraînements utilisant ces outils doit s'appuyer sur une méthodologie permettant d'affirmer un effet spécifique sur la fonction entraînée. Les critères d'efficacité des entraînements sont : l'effet sur la fonction cognitive spécifique entraînée, la généralisation sur les procédures d'identification des mots écrits (précision et temps), sur la compréhension et sur l'orthographe des mots isolés et en contexte.

Promouvoir et évaluer différentes modalités de prise en charge individuelle pour d'autres troubles des apprentissages que la dyslexie

Les modes de prise en charge des troubles associés à l'acquisition du langage écrit doivent faire l'objet d'évaluations.

Les études montrent que les troubles du langage oral ont des répercussions sur l'apprentissage du langage écrit et qu'une rééducation précoce (au plus tard à 5 ans) du langage oral permet d'aborder l'apprentissage du langage écrit dans de meilleures conditions.

Concernant les troubles du graphisme, les résultats quantitatifs et qualitatifs de tests spécifiques permettent de savoir si le trouble touche la coordination gestuelle, la perception et/ou la production visuelle et visuo-spatiale. Des critères pourraient être retenus concernant les âges et les modalités de la prise en charge des troubles du graphisme : en fin de maternelle ou début de primaire si les troubles sont sévères ; avant la fin du CP en cas de trouble persistant, afin d'éviter que des stratégies déviantes d'enchaînement des lettres ne soient fixées. Il est indispensable d'articuler les prises en charge effectuées par le psychomotricien et l'ergothérapeute et les interventions pédagogiques.

Les troubles d'acquisition du code numérique sont souvent associés aux troubles d'acquisition du langage écrit. Les travaux sur les outils et les modes de prises en charge sont encore très peu développés. Une prise en charge dès le début de primaire doit être envisagée, et évaluée dans la mesure où ces troubles associés aggravent la situation d'échec de l'enfant.

Promouvoir et évaluer des prises en charge multimodales pour des troubles fréquemment associés

La littérature mentionne, dans le cadre des troubles spécifiques des apprentissages, l'association fréquente de troubles émotionnels et comportementaux qui nécessitent un suivi psychothérapique sans négliger pour autant les rééducations spécifiques aux troubles spécifiques des apprentissages. La prise en compte de ces troubles associés, comportementaux et émotionnels, doit être précoce en cas de troubles signalés avant les apprentissages scolaires et s'ils retentissent sur la coopération de l'enfant au projet pédagogique et rééducatif.

Les troubles neuropsychologiques et psychomoteurs associés aux troubles des apprentissages constituent aujourd'hui un large champ de recherche. Ils posent la question de l'offre de soin en terme de techniques rééducatives pouvant varier selon la présence de signes associés tels que des troubles perceptivo-moteurs, visuo-spatiaux, ou encore attentionnels et en terme de professionnels formés et reconnus (tels par exemple les neuropsychologues).

Ces cas plus sévères sont gravement menacés dans leur devenir scolaire et leur adaptation sociale. Ils devraient pouvoir bénéficier quelle que soit leur situation géographique ou socio-économique, dans leur milieu familial et scolaire, des moyens les plus en adéquation avec l'état actuel des connaissances. Le développement de centres de référence[65] est un acquis très important et la mise

65. Une quarantaine existe aujourd'hui

en place de réseaux de santé composés d'équipes multidisciplinaires coordonnées à l'échelle d'une région paraît être également une alternative intéressante.

Promouvoir et expérimenter la mise en place de réseaux coordonnés de diagnostic et de soin

Le diagnostic d'un trouble spécifique des apprentissages, indispensable pour adapter la prise en charge fait souvent appel à une équipe pluridisciplinaire (centre de référence par exemple) justifiant sa coordination par un professionnel référent : l'examen clinique permet d'identifier un trouble avéré et de vérifier son caractère spécifique, sa sévérité et sa persistance ; l'évaluation précise des fonctions altérées est effectuée par le professionnel concerné (orthophoniste, psychomotricien, ergothérapeute, psychologue, neuro-psychologue). Les différentes fonctions cognitives impliquées dans les apprentissages sont évaluées à l'aide d'outils validés. Les tests portent par exemple sur les capacités spécifiques à la lecture qui sont déficitaires chez l'enfant (identification des mots écrits, précision et rapidité) et sur les capacités reliées (capacités d'analyse phonémique, de mémoire à court terme phonologique, capacités d'analyse visuelle…). La confrontation des résultats issus des batteries d'intelligence évaluant le profil cognitif et des tests spécifiques permet d'affirmer la spécificité du trouble. Ces évaluations sont réalisées à l'aide de tests étalonnés pour l'âge de l'enfant. Les résultats doivent être qualitatifs et quantitatifs en précisant le nom du test et en les situant en écart-type ou percentile par rapport aux normes de la population de référence.

La prise en charge d'un trouble des apprentissages nécessite des évaluations régulières de l'évolution de l'enfant. Les effets de la rééducation doivent être évalués au moins tous les six mois, avec un nouveau bilan utilisant des tests comparables à ceux de l'évaluation initiale. Cette évaluation doit permettre d'apprécier quantitativement et qualitativement l'évolution de l'enfant et de réévaluer la prise en charge afin de prendre les décisions pertinentes (poursuite des entraînements, redéfinition des objectifs, infléchissement des orientations, alternance de pauses, arrêt de la rééducation). Le recours à un professionnel différent de celui qui met en œuvre le programme de rééducation est utile si les progrès de l'enfant ou leur généralisation en classe ne sont pas suffisants.

Un travail en réseau formalisé de tous les intervenants travaillant en étroite collaboration (personnels spécialisés de l'Éducation nationale, professionnels de santé…) est expérimenté dans quelques centres et pourrait être évalué en vue d'une généralisation à l'ensemble du territoire. La coordination des soins et l'accompagnement familial peuvent être assurés par un professionnel ayant bénéficié d'une formation adaptée. Il s'agit également de favoriser les réunions régulières entre les rééducateurs et les enseignants pour harmoniser leurs actions réciproques, mettre en place un programme personnalisé de scolarité, prévoir les adaptations et aménagements pédagogiques nécessaires à l'intégration de l'enfant dans la classe et son accès aux divers

apprentissages. L'organisation de tels réseaux apparaît a priori comme une réponse particulièrement adaptée aux formes sévères de troubles d'apprentissage, dont la complexité nécessite de manière évidente la confrontation de l'avis de plusieurs praticiens, et qui ne peuvent être efficacement prises en charge qu'à condition d'établir des contacts solides et répétés avec l'enseignant de l'enfant.

Par ailleurs, il conviendrait de réduire les inégalités géographiques en matière d'offre de prise en charge et d'équiper les zones non couvertes, en particulier en matière de ressources de proximité auxquelles peuvent faire appel les enseignants (Rased, Sessad, médecins de l'Éducation nationale). Ces dispositifs permettraient, s'ils étaient en nombre suffisant, de réserver les centres de référence aux évaluations diagnostiques.

Proposer une formation commune à toutes les personnes ressources en plus des formations spécifiques par discipline

Il existe au sein de l'école des professionnels (enseignants spécialisés, psychologues, médecins de l'Éducation nationale) capables d'aider à repérer les difficultés d'apprentissage des élèves, à proposer et mettre en œuvre une réponse adaptée. D'autres professionnels extérieurs à l'école (orthophonistes et autres rééducateurs, psychologues, neuropsychologues, médecins et autres spécialités) sont également très souvent sollicités pour le diagnostic et la remédiation.

La formation initiale et continue de tous ces professionnels doit être envisagée en relation avec les avancées des connaissances scientifiques. Cette formation doit permettre à tous ces professionnels de s'initier à l'utilisation des outils de repérage validés et à l'analyse critique des méthodes de prise en charge proposées.

En plus des formations précises et spécifiques au rôle de chacun, une formation commune à ces différents professionnels leur permettrait de pouvoir travailler en étroite collaboration pour faciliter la mise en œuvre des prises en charge nécessaires aux élèves en difficulté d'apprentissage ou présentant des troubles spécifiques des apprentissages.

Pour approfondir les connaissances sur les apprentissages scolaires et les troubles

Les axes de recherche proposés ont pour objet de développer une meilleure compréhension des apprentissages scolaires (lecture, écriture et calcul…) et de leurs troubles en particulier une meilleure connaissance des causes de la dyslexie ainsi qu'une estimation de la fréquence des différents troubles spécifiques des apprentissages en France.

Approfondir la compréhension des mécanismes de la dyslexie

Il existe actuellement de nombreux modèles théoriques pour expliquer la dyslexie : théorie du déficit phonologique, théorie du traitement auditif temporel, théories visuelles, théorie cérébelleuse, théorie magnocellulaire… Cette diversité est due au fait qu'il existe sans doute plusieurs facteurs explicatifs aux troubles dyslexiques pouvant s'appliquer à des sous-groupes de la population dyslexique. La dyslexie reste en effet un trouble complexe, incluant de nombreux symptômes autres que la lecture et elle est fréquemment associée à d'autres troubles des apprentissages.

La théorie phonologique est celle qui a donné lieu au plus grand nombre de recherches et qui est actuellement la plus largement validée. Pratiquement toutes les études menées auprès d'enfants atteints de dyslexie, quelle que soit leur langue, ont mis en évidence des déficits phonologiques associés. Les déficits objectivés dans trois domaines de compétence reliés à l'activité de lecture (analyse phonémique, mémoire à court terme phonologique, dénomination d'images ou d'objets) contribuent à expliquer le niveau de lecture des enfants. Les performances des enfants dans ces différents domaines demeurent en outre déficitaires même lorsqu'on les compare aux performances d'enfants plus jeunes de même niveau de lecture. Ceci démontre d'une part que l'enfant dyslexique n'a pas la même trajectoire développementale que le normo-lecteur ; d'autre part, que le trouble phonologique est causalement relié aux difficultés d'apprentissage de la lecture, ce qui est confirmé par les études longitudinales : les aptitudes phonologiques évaluées avant l'apprentissage de la lecture sont indicatives du niveau de lecture ultérieur des enfants.

Toutefois, sauf dans de rares études, la théorie phonologique n'a pas été confrontée aux autres théories, alternatives ou associées. Des études longitudinales dans lesquelles les enfants seraient suivis depuis le début de la grande section de maternelle (voire de la moyenne section) jusqu'à la fin du cycle 2 (8 ans) ou 3 (11 ans) seraient très informatives. Ces études devraient évaluer l'implication des capacités phonologiques, visuelles et motrices dans l'apprentissage de la lecture, avec des méthodologies aussi proches que possible (prise en compte de la précision et du temps de réponse, tâches avec ou sans contraintes temporelles…). Il faudrait également encourager des recherches sur les mécanismes cognitifs qui influent spécifiquement sur la vitesse de lecture et sur les interactions vitesse/précision.

Développer des recherches sur les mécanismes mis en jeu dans l'apprentissage de l'orthographe

Les spécificités de l'orthographe du français, essentiellement en production, font que les connaissances issues de recherches provenant d'autres systèmes orthographiques sont peu transposables. Aussi, en l'absence de données précises portant sur les erreurs produites par l'ensemble des enfants tout-venant ou des adultes, il est difficile de déterminer dans quelle mesure le nombre et

la nature des erreurs relèvent de performances normales ou, au contraire, conduisent à prédire un trouble nécessitant une prise en charge spécifique.

Des recherches portant sur les mécanismes impliqués dans l'apprentissage et la mise en œuvre des différentes composantes de l'orthographe mériteraient d'être développées, prenant en compte le type d'enseignement dispensé. Ces travaux devraient aborder la question de l'acquisition de l'orthographe lexicale, les déterminants des réussites et des échecs. Elles devraient aussi traiter de l'apprentissage et de la mise en œuvre des morphologies dérivationnelle (« chat » ; « chatte » ; « grand » ; « grande ») et flexionnelle (participe passé *versus* infinitif ; accords en genre et en nombre des noms et adjectifs…).

Les difficultés rencontrées par les enfants avec l'orthographe du français, plusieurs fois évoquées dans cette expertise, peuvent-elles justifier d'envisager une simplification de l'orthographe de la langue française ? Une réflexion approfondie mériterait d'être menée à ce sujet.

Développer des recherches sur les mécanismes mis en jeu dans l'apprentissage du calcul

Les recherches concernant la dyscalculie et les difficultés en mathématiques sont beaucoup moins nombreuses et moins avancées que ne le sont celles sur la dyslexie, alors que la fréquence et les origines de la dyscalculie sont encore mal connues. Bien que de nombreuses hypothèses aient été avancées, les données sont aujourd'hui insuffisantes pour permettre d'orienter les réponses pédagogiques et rééducatives. Si l'hypothèse d'une atteinte sélective de structures cérébrales dévolues aux traitements numériques est aujourd'hui évoquée, elle mérite cependant d'être plus solidement étayée. Cette carence dans le domaine de la recherche est d'autant plus surprenante que l'apprentissage du calcul et des mathématiques constitue un des objectifs majeurs de la scolarité dans toutes les sociétés technologiquement avancées.

Des recherches sur les relations entre les compétences précoces du petit enfant concernant les quantités et les acquisitions numériques ultérieures, sur la nature, le rythme, les différences interindividuelles de ces acquisitions, leur évolution et leur impact sur l'apprentissage des mathématiques devraient être développées. Les résultats de ces recherches permettraient d'éclairer les principes d'actions pour la remédiation.

Développer des études épidémiologiques en France

En France, il n'y a pas de données épidémiologiques sur les troubles spécifiques des apprentissages, fondées sur des échantillons d'enfants représentatifs de la population générale.

Des études transversales sur des échantillons représentatifs sont donc indispensables pour connaître la prévalence des différents troubles spécifiques des

apprentissages. Ces études pourraient évaluer l'influence des différents critères de classification de ces troubles sur leur fréquence, définir des outils et une méthodologie standardisée. Elles permettraient également de cerner le rôle à attribuer au statut social et au niveau éducatif familial.

De même, des études longitudinales de cohortes d'enfants initiées très tôt dans la vie de l'enfant pourraient permettre d'étudier, les déterminants éventuellement impliqués précocement dans le développement cognitif de l'enfant (par exemple dans le contexte de la cohorte Eden et de la cohorte Elfe). Parmi ces facteurs, il s'agira d'identifier ceux qui sont plus particulièrement liés aux troubles spécifiques des apprentissages.

Des études à visée épidémiologique et préventive (recherche-actions), impliquant la structure scolaire et mettant en jeu des équipes mixtes, éducatives et scientifiques, permettant ainsi un partage des informations entre les deux domaines de compétences devraient également être développées.

Communications / Débat

Résultats préliminaires d'une étude épidémiologique au CE1

Pendant l'année scolaire 2005-2006, une expérimentation a été menée dans 20 écoles parisiennes scolarisant plus de 1 000 enfants de CE1. Elle a été le fruit d'une collaboration étroite entre plusieurs partenaires : l'Inspection académique de Paris, les inspecteurs de circonscription, les directeurs, enseignants et réseaux d'aide des écoles concernées, la Direction de l'action sociale de l'enfance et de la santé de Paris et les médecins scolaires, plusieurs équipes de recherche en neurosciences et en psychologie cognitive, le Centre de référence sur les troubles des apprentissages de Bicêtre[66].

Il s'agissait, à l'instar des grandes études dans les pays anglo-saxons, de réaliser :

- une enquête épidémiologique transversale sur les compétences en lecture, orthographe et calcul d'une population de plus de 1 000 enfants de CE1 ;
- une étude sur les facteurs en cause dans les difficultés d'apprentissage : cognitifs, médicaux, socioculturels, comportementaux ;
- une évaluation rigoureuse d'une aide à la lecture et au calcul, réalisée en milieu scolaire, à l'aide de logiciels ludiques mis au point par les équipes de recherche participantes selon les connaissances actuelles en sciences cognitives.

Ce sont les résultats préliminaires de toutes les données de cette étude, en cours de publication, qui sont décrits. Toutes les analyses ne sont évidemment pas terminées.

66. Ce travail a été subventionné par la Mairie de Paris et l'Arta (Association pour la recherche sur les troubles des apprentissages) ainsi que la fondation Suisse Eugénio Litta (bourse d'étude).

Phase 1 : enquête transversale de l'ensemble de la cohorte

Méthodologie

L'enquête a concerné tous les enfants scolarisés en CE1 des 20 écoles participantes. La méthodologie a consisté en une première évaluation semi-collective par groupes de 8 à 11 enfants, effectuée par les neuropsychologues de l'équipe de recherche, à l'aide de tests étalonnés, ceci pendant les quinze premiers jours de janvier 2006. Les conditions de la passation et le temps de chaque épreuve ont été identiques dans chaque école. Une passation « préalable » a été effectuée sur 40 enfants différents de la cohorte. Les résultats des enfants primo-arrivants ont été exclus.

La lecture a été évaluée par le Timé 2 (Ecalle, 2003) qui est un test de reconnaissance de mots comportant des mots corrects, des intrus homophones, phonologiquement ou visuellement proches, ainsi que des intrus sans rapport avec la cible. L'orthographe a été évaluée par l'item de CE1 de la batterie BREV (Billard et coll., 2001) à laquelle a été ajoutée une dictée de 8 syllabes. Le calcul a été évalué par la Batelem-R CE1-CE2 (Savigny, 1996).

Les écoles ont été classées en 3 zones selon leur appartenance ou non à un réseau d'éducation prioritaire (REP)[67]. Le nombre d'enfants était réparti comme suit :

- 329 enfants en zone non REP (zone dans laquelle le pourcentage d'élèves dont le chef de famille appartient à un milieu défavorisé est inférieur à 25 %) ;
- 364 élèves en zone REP 1 (zone dans laquelle le pourcentage d'élèves dont le chef de famille appartient à un milieu défavorisé est inférieur à 45 %, soit REP 1 et 2 du classement des écoles de Paris) ;
- 327 élèves en zone REP 2 (zone dans laquelle le pourcentage d'élèves dont le chef de famille appartient à un milieu défavorisé est supérieur ou égal à 45 % soit REP 3 et 4 du classement des écoles de Paris).

En dehors de ces 1 020 enfants scolarisés en CE1, tous les enfants redoublant le CP appartenant aux mêmes écoles, nés en 1998 comme les enfants de CE1, soit 43 enfants ont été analysés séparément car ils n'ont pas participé à l'évaluation collective. Ils ont été considérés comme a priori en difficulté et examinés individuellement par les tests de lecture de la seconde phase, la dictée de CP de la batterie BREV enrichie des 8 syllabes et le subtest de calcul de la batterie BREV (figure 1).

67. Carte Académique de ressources pour l'éducation prioritaire, Paris, site : http://carep2.scola.ac-paris.fr/ (données rentrée 2004)

Figure 1 : Méthodologie de l'étude

Résultats pour l'ensemble de la cohorte

L'échantillon est constitué de 53 % de garçons et 47 % de filles. Les compétences selon le sexe ne sont pas significativement différentes en lecture et orthographe, mais le sont en ce qui concerne le score de calcul qui est plus élevé chez les garçons que chez les filles ($p < 0,000$).

Six enfants sont scolarisés avec une année d'avance, 64 avec une année de retard, et 2 avec deux années de retard.

La moyenne en lecture de l'ensemble de la cohorte des 1 020 enfants représentative des différents environnements socioculturels (un tiers d'enfants scolarisés en zone d'éducation non prioritaire, un tiers en zone d'éducation prioritaire modérément défavorisée, un tiers en zone très défavorisée), est normale pour l'âge chronologique et compatible avec le niveau de scolarité. Il en est de même du score de calcul qui correspond à un niveau de février-mars CE1 (tableau I).

Si on inclut les enfants redoublant leur CP, la cohorte est de 1 063 enfants. Dans cette cohorte, 114 enfants (10,7 %) ont un retard entre leur âge chronologique et leur âge de lecture de 12 mois ou plus, dont 36 de 18 mois ou plus (3,5 %). Parmi eux, 14, 5 % ont un score inférieur à -1 écart-type de la moyenne en dictée, et 17,9 % à -1 écart-type de la moyenne en calcul. La corrélation entre les différents apprentissages est très significative.

Scores d'apprentissages selon la zone de scolarisation

Les résultats concernant les compétences des enfants de la cohorte montrent un effet très significatif de la zone de scolarisation ($p < 0,0000$) dans tous les apprentissages (tableau I et figure 2). Les difficultés d'apprentissage dépendent donc de l'environnement socioculturel de l'école où l'enfant est scolarisé. Néanmoins, la différence du niveau de lecture n'est significative qu'en ce qui concerne les enfants de la REP 2, zone d'éducation prioritaire très défavorisée. Ces enfants sont plus en difficultés de lecture que les enfants de la zone non REP et de la zone REP 1, modérément défavorisée.

Tableau I : Données moyennes, écart-type, minima et maxima de la cohorte de 1 020 enfants de CE1 en lecture, orthographe et calcul selon la zone de scolarisation

	Nombre sujets	Âge (mois)*	Âge lexical Timé 2 (mois)	Retard lecture (mois)	Dictée (/20) (score en mots corrects)	Calcul Batelem (/320) (score en points)***
Zone non REP	329	89,8 (4,5) 75-108	91,9 (4,8) 72-107	2,1 (6,6) 22 à -30	16,9 (2,7) 2-20	194 (69) 0-320
Zone REP 1	364	90,7 (4,8) 80-111	90,3 (5,7) 73-98	-0,4** (7,8) 15 à -35	16,1 (3,9) 0-20	180 (71) 10-320
Zone REP 2	327	91,6 (5,5) 79-112	87,4 (6,2) 73-97	-4,2 (8,5) 16 à -34	14,1 (4,4) 0-20	140 (64) 20-300
Toutes zones	1 020	90,5 (4,9) 75-112	90,3 (5,7) 72-107	0,2 (7,9) 22 à-35	16 (3,7) 0-20	176 (72) 0-320

*Âge chronologique en janvier 2006

**Les résultats en négatif correspondent à une avance en lecture

***Le score normal en janvier CE1 est de 165

Zone non REP Zone REP 1 Zone REP 2

A : Âge de lecture (Timé 2)

Zone non REP Zone REP 1 Zone REP 2

B : Score de dictée (BREV plus syllabes)

Zone non REP Zone REP 1 Zone REP 2

C : Score de calcul (Batelem-R)

Figure 2 : Représentation des scores de lecture, dictée et calcul selon les 3 zones (non REP, REP 1, REP 2) de la cohorte de 1 020 enfants de CE1

Les caractéristiques de la population des 43 enfants redoublant le CP et scolarisés dans les mêmes écoles que la cohorte des 1 020 enfants sont décrites dans le tableau II.

Tableau II : Caractéristiques des 43 enfants redoublants le CP

Zone (nombre d'enfants)	Âge chronologique (mois)	Âge lecture (mois)	Syllabes lues Batelem (nombre de syllabes correctement lues)	Dictée niveau CP (/18)	Calcul BREV (moyenne mi-CP : 6,3)
Non REP (6)	90,6	76,0	6,0	13,0	5,3
REP 1 (26)	89,7	78,1	9,5	8,8	5,5

Zone (nombre d'enfants)	Âge chronologique (mois)	Âge lecture (mois)	Syllabes lues Batelem (nombre de syllabes correctement lues)	Dictée niveau CP (/18)	Calcul BREV (moyenne mi-CP : 6,3)
REP 2 (11)	89,7	75,6	6,1	6,7	5,7
Toutes zones	89,8	77,4	8,5	8,7	5,5

Comparaison du groupe d'enfants normolecteurs et du groupe d'enfants faibles lecteurs dans l'ensemble de la cohorte et selon le lieu de scolarisation

Parmi les 1 020 enfants de CE1, 740 peuvent être considérés comme « sans difficultés » car leur niveau de lecture était normal, c'est-à-dire supérieur à -0,5 écart-type de la norme pour l'âge. À l'inverse, 191 enfants constituent le groupe des enfants suspects d'être « en difficultés » car leurs scores en lecture ou orthographe sont inférieurs à -1 écart-type de la moyenne de la cohorte. Les 89 enfants restants sont représentés par les enfants avec un score en lecture intermédiaire, c'est-à-dire ≤-0,5 écart-type et ≥-1 écart-type.

Les compétences respectives dans les apprentissages des 740 normolecteurs et 191 enfants suspects d'être en difficultés sont détaillées dans le tableau III.

Tableau III : Caractéristiques des apprentissages dans le groupe normolecteur et le groupe des enfants en difficultés

Groupe d'enfants	Âge chronologique (mois)	Âge lecture	Retard lecture (mois)	Dictée score	Calcul score
740 « sans difficultés »	90,3	92,3	2	17,3	190,7
191 « en difficultés »	91,7	81,3	–10,4*	10,1	108,2

*Les résultats négatifs témoignent d'un retard en lecture

Si l'on considère les scores des 740 enfants sans difficultés, les différences d'apprentissages en fonction de la zone restent grandes mais ne sont significatives qu'en ce qui concerne la zone REP 2 la plus défavorisée. Le pourcentage d'enfants sans difficultés en zone REP 2 est nettement plus faible (53,8 % *versus* 82,7 % en zone non REP et 80,5 % en REP 1). Néanmoins, les différences des scores sont émoussées puisqu'il n'y a en moyenne que 1 mois de différence d'âge lexical entre les enfants des zones les plus favorisées et ceux des zones les plus défavorisées (tableau IV et figure 3). Même dans les zones les plus défavorisées, les enfants sans difficultés ont un âge de

lecture au moins égal à leur âge chronologique. Le score en dictée n'est inférieur que dans la zone la plus défavorisée et la différence est faible : de 0,5/20 pour une moyenne de 17,3. Il en est de même en mathématiques où la moyenne la plus faible concerne les zones les plus défavorisées et reste normale pour la classe suivie (score de janvier CE1).

Tableau IV : Caractéristiques du groupe de 740 enfants sans difficultés en fonction de la zone REP

	Nombre	Âge chronologique	Âge lexical (mois)	Retard lecture	Dictée score	Calcul score
Zone non REP	272	89,8	93,6	-3,0	17,4	200
Zone REP 1	293	90,4	93,5	-2,2	17,3	193
Zone REP 2	175	91,0	92,6	-0,4	16,8	163
p		< 0,02	< 0,0005	< 0,0000	< 0,006	< 0,0000

Figure 3 : Score de lecture en âge lexical des 740 enfants sans difficultés selon la zone REP (non REP, REP 1 et REP 2)

Phase 2 : étude des facteurs en cause dans les difficultés en langage écrit

Seuls les résultats préliminaires descriptifs sont indiqués. Les études statistiques précises sont en cours de réalisation.

Méthodologie

Dans un second temps (voir figure 1), les enfants ayant un score en lecture ou en dictée inférieur à -1 écart-type de la population[68] ont été examinés en individuel pour confirmer ou non leurs difficultés en lecture par le test de leximétrie de l'Alouette (Lefavrais, 2005), l'analyse du code graphème-phonème de la Batelem-R (Savigny, 1996) et la compréhension de lecture d'un texte oralisé d'un niveau fin de CP-CE1 (texte de « Pacha »). Cette seconde phase de l'étude a donc été proposée aux 22 % d'enfants les plus en difficultés de lecture, soit :

- 191 enfants de CE1 ;
- 43 enfants également nés en 1998 redoublant leur CP.

L'objectif était de confirmer et préciser en individuel la réalité et la sévérité du retard de lecture. Après cette vérification en individuel des difficultés de lecture, une évaluation complémentaire a été proposée chez 142 enfants (voir figure 1), afin de préciser les stratégies de lecture et les facteurs en cause dans les difficultés de lecture.

Les 142 enfants qui en ont bénéficié sont :

- les enfants dont le niveau de décodage en individuel était inférieur ou égal à un score de janvier CP (15 syllabes lues à la Batelem-R) ;
- plus 5 enfants redoublant le CE1 ayant un score supérieur à la limite en décodage mais un retard d'âge de lecture concordant aux 3 tests utilisés (Timé 2, Batelem-R, Alouette) de 16 mois ou plus.

Compte tenu de la sur-représentation d'enfants en difficultés dans la zone de scolarisation très défavorisée (REP 2), la même évaluation a été proposée à un groupe témoin de 48 enfants issus de la phase 1 (voir figure 1 : groupe « A »). Ce groupe témoin, dont le niveau de lecture est tout à fait normal, a été apparié par rapport aux enfants faibles lecteurs, selon la classe fréquentée, le sexe et l'âge. L'objectif est de pouvoir comparer dans les mêmes conditions socioculturelles de zone de scolarisation un groupe d'enfants en difficultés de lecture avec un groupe d'enfants normolecteurs.

68. Soit 17 mots identifiés correctement au Timé 2 ou moins, et/ou 12 mots ou pseudo-mots correctement orthographiés à la dictée ou moins

Cette évaluation complémentaire a comporté six parties :
• un examen médical réalisé par les médecins scolaires, portant sur les antécédents périnatals, les affections médicales connues, les soins (orthophoniques ou psychologiques) mis en place, l'examen neurologique, l'audition et la vision[69] ;
• une évaluation de leurs fonctions cognitives verbales (phonologie, lexique, syntaxe, fluence et compréhension syntaxique) et non verbales (graphisme, perception et attention visuelles, planification et raisonnement spatial) par la batterie BREV validée en comparaison à une batterie de référence (Billard et coll., 2002a et b, 2006) ;
• une évaluation des stratégies de lecture par la batterie informatisée Evalec (Sprenger-Charolles et coll., 2005) donnant la précision et le temps de lecture de syllabes, pseudo-mots et mots réguliers et irréguliers ;
• une évaluation des différentes compétences sous-jacentes à la lecture : RAN (dénomination rapide de mots), mémoire phonologique à court terme, compétences phonologiques (discrimination de sons, soustraction de syllabe, soustraction de phonème) ;
• une évaluation du comportement par le questionnaire *Child Behaviour Checklist* (CBCL ; Achenbach et Rescorla, 1999), destiné aux enseignants ;
• un questionnaire destiné aux parents sur les conditions socioculturelles et linguistiques familiales[70].

L'objectif de cette phase 2 est d'une part de préciser les facteurs en cause dans les difficultés de lecture, d'autre part de sélectionner les enfants les plus en difficultés spécifiques qui participeront à l'évaluation d'entraînements pédagogiques en milieu scolaire (phase 3).

Résultats

Les enfants dont l'évaluation individuelle a confirmé un niveau de décodage insuffisant (inférieur au 10e centile au code grapho-phonémique de la batelem-R), et/ou un niveau de leximétrie à l'alouette inférieur d'au moins 12 mois par rapport à l'âge chronologique, étaient majoritairement scolarisés en zone REP 2 très défavorisée : 23,2 % de la population scolarisée dans cette zone. Ils étaient moins fréquemment scolarisés en zone REP 1 : 17,4 % de la population, ou en zone non REP : 2,7 % de la population. Cette confirmation de la fréquence hétérogène de difficultés de lecture confirmées selon la zone de scolarisation nous a amené à analyser les facteurs en cause dans les difficultés de lecture en comparaison à une popula-

69. L'examen médical n'a concerné que les 113 enfants les plus en difficultés et les 48 enfants normolecteurs.
70. Ces deux derniers questionnaires n'ont concerné que les 113 enfants les plus en difficultés et les 48 enfants normolecteurs.

tion de témoins bons lecteurs (voir figure 1) appariés par l'école de scolarisation, l'âge et le sexe. Il s'agit de préciser dans chaque zone de scolarisation ce qui différencie les enfants faibles lecteurs des bons lecteurs.

Antécédents périnatals

Les antécédents périnatals sont rares dans le groupe d'enfants faibles lecteurs (7 enfants sur 113 avaient un petit poids naissance entre 1 500 et 2 500 g et 2 un poids inférieur à 1 500 g). Il en est de même dans le groupe des enfants normolecteurs (1 sur 48). Les antécédents de prématurité sont également rares (respectivement 5/113 et 0/48).

Les déficits d'acuité visuelle (acuité visuelle inférieure à 5/10e) sont moins fréquemment retrouvés chez les faibles lecteurs que chez les normolecteurs (14,4 % *versus* 16,7 %). Trois des enfants faibles lecteurs ont un déficit modéré de l'audition et ceci ne concerne aucun enfant normolecteur. Ces trois enfants n'ont pas de trouble important du langage oral et leurs compétences phonologiques sont similaires aux autres enfants.

Les antécédents périnatals ou médicaux sont rares chez les enfants en difficultés d'acquisition du langage écrit.

Soins

Un peu plus d'un tiers des enfants faibles lecteurs sont suivis en orthophonie (tableau V) et un quart sur le plan psychologique. Il n'y avait pas de différence claire dans l'intensité du déficit en lecture et en langage oral, lors de l'évaluation de janvier 2006, entre les deux groupes d'enfants rééduqués en orthophonie ou non. Les enfants rééduqués ne sont pas plus âgés (et n'ont pas plus progressé au cours de l'année que ceux non rééduqués) (tableau V).

Sept enfants normolecteurs (14,8 %) sont suivis en orthophonie et 3 (6,5 %) sur le plan psychologique. Pour deux de ces enfants normolecteurs, la persistance de difficultés du langage oral et la persistance d'un discret retard de lecture d'environ cinq mois par rapport à leur âge chronologique évoquent un trouble spécifique et sévère du langage oral, ce qui explique la discrète supériorité du retard de lecture moyen, de l'évolution en lecture et du déficit en langage oral des enfants normolecteurs rééduqués en comparaison à ceux sans rééducation. Pour les quatre autres enfants normolecteurs rééduqués en orthophonie, les tests de langage oral sont similaires à ceux de tous les autres enfants normolecteurs et ils n'ont aucun retard de lecture.

Tableau V : Pourcentages et caractéristiques des enfants rééduqués (R) ou non rééduqués (NR) en orthophonie

	Orthophonie oui	Orthophonie non	Âge chronologique (mois) R/NR**	Retard lecture* (mois) R/NR**	Progrès en lecture (mois) R/NR**	Score verbal R/NR**
Faibles lecteurs	35,9 %	64 %	93,4/93	-14,3/-13,1	3,6/6,2	-3,7/-3,2
Normolecteurs	14,8 %	85,2 %	90,4/92	-4,1/-1	4,5/2,4	-3,4/-2

*Différence entre l'âge chronologique et l'âge de lecture exprimés en mois
**R/NR : rééduqués/non rééduqués

Les enfants les plus en difficultés de lecture semblent relativement rarement rééduqués en orthophonie et il apparaît que les indications seraient sans lien direct avec la sévérité et le profil de leur trouble.

Compétences cognitives non verbales et verbales

Parmi les enfants en difficultés de lecture ayant bénéficié de la phase 2, 18 enfants ont été écartés de la phase suivante (Phase 3 : évaluation des entraînements), du fait d'un déficit intellectuel repéré par le score non verbal de la BREV inférieur à –3 écarts-types et/ou confirmé par l'échelle de Weschler pratiquée par les psychologues scolaires.

Cinq des 48 enfants normolecteurs (soit 8,7 %) ont également un score non verbal inférieur à –3 écart-types. Tous ces enfants normolecteurs ont à tous les tests de lecture un niveau égal ou supérieur à leur âge chronologique. Deux d'entre eux ont une faible compréhension en lecture de texte, les 3 autres ont une compréhension normale. Trois de ces enfants normolecteurs avec un déficit des fonctions non verbales ont également un déficit des fonctions verbales, 2 autres ont un score verbal normal, évoquant une dyspraxie de développement. Les scores non verbaux et verbaux des enfants faibles lecteurs et des enfants normolecteurs sont détaillés dans le tableau VI.

Tableau VI : Scores non verbaux et verbaux des enfants faibles lecteurs et des enfants normolecteurs

	Score non verbal BREV (écart-type)	Score non verbal BREV (indice)***	Score verbal BREV (écart-type)	Score verbal BREV (indice)***
Faibles lecteurs*	-1,0	87,5	-3,5	80,6
Normolecteurs (n=48)	-0,9	91,2	-2,3	87,8
Normolecteurs (n=43)**	-0,53	94,3	-2,2	88,6

*Après exclusion des 18 enfants faibles lecteurs ayant un déficit des fonctions non verbales
**Après exclusion des 5 enfants normolecteurs ayant un déficit des fonctions non verbales
***Indice soit le score ramené à la moyenne normale pour l'âge

L'existence d'un déficit intellectuel non verbal peut être en cause dans les difficultés d'acquisition de la lecture. Néanmoins, le niveau cognitif non verbal n'est pas réellement différent selon que les enfants ont ou non des difficultés en lecture. Les compétences en langage oral (score verbal à la BREV) sont globalement faibles dans cette cohorte, particulièrement chez les enfants les plus en difficultés.

Fonctions cognitives sous-jacentes à la lecture

Une première analyse des apprentissages et des différents facteurs cognitifs en cause dans les difficultés de lecture est détaillée dans le tableau VII, en comparant les enfants en difficultés de lecture et ceux normolecteurs. Les enfants en difficultés de lecture sont divisés en deux groupes : l'un est constitué des plus faibles lecteurs qui bénéficieront de la phase 3 c'est-à-dire de l'entraînement en milieu scolaire (« entraînés »), l'autre d'enfants faibles lecteurs mais de niveau discrètement supérieur au groupe précédent et qui de ce fait, ne seront pas entraînés (« FL non entraînés », groupe « B » dans le graphique de méthodologie). Les compétences en métaphonologie sont nettement plus faibles dans la population la plus en difficultés de lecture (enfants entraînés) par rapport aux deux autres groupes, de même que la dénomination rapide (RAN). En revanche, les scores verbaux et non verbaux sont peu différents dans les trois groupes.

Comme classiquement décrit dans la littérature, les fonctions les plus en cause dans les difficultés d'acquisition du langage écrit sont les compétences métaphonologiques, la dénomination rapide (RAN), la mémoire phonologique à court terme. En revanche, dans cette population particulièrement défavorisée sur le plan socioculturel, le niveau de vocabulaire et le niveau de raisonnement non verbal (score non verbal à la BREV) ne sont pas différents selon que les enfants ont ou non des difficultés en lecture.

Comportement et caractéristiques socioculturelles

Les troubles comportementaux externalisés appréciés par le questionnaire CBCL rempli par l'enseignant, dans les deux populations d'enfants appariés, (faibles lecteurs d'une part et normolecteurs d'autre part) sont décrits dans le tableau VIII, ainsi que les grandes caractéristiques socioculturelles. Seule la fréquence plus importante de troubles comportementaux cliniques internalisés chez les enfants en difficultés de lecture comparativement aux normolecteurs, ressort nettement.

Tableau VII : Caractéristiques des 3 groupes (82 enfants très faibles lecteurs entraînés, 29 enfants faibles lecteurs non entraînés (FL), 48 normolecteurs)[71]

	Âge chronologique (mois)	Syllabes lues (Batelem)	Mots lus en 1 minute (LUM)	Dictée	Calcul Batelem	Score non verbal**	Score verbal**	Lexique*	Métaphonologie	MPCT*	RAN temps (erreurs)	Discrimination sons (% bonnes réponses)
Entraînés	93	11	12,1	12,2	109,6	87,4	79,4	60,3	12,6	10,7	24,9 (0,3)	82,7
Faibles lecteurs non entraînés (FL)	93,1	18	20,1	14,5	112,9	88	84	56,9	20,4	11,9	23 (0,2)	85,7
Normolecteurs	91,8	24,6	46,2	17,5	154,1	91,2	87,8	62,6	27,5	11,9	19,4 (0,1)	86,9

*MPCT (mémoire phonologique à court terme) : score de répétition de chiffre sur 20
**Score en indice (soit ramené à la moyenne normale pour l'âge)

71. Remerciements à Liliane Sprenger-Charolles et Elisabeth Samain pour leur adaptation de l'EVALEC

Tableau VIII : Résultats préliminaires des questionnaires comportementaux et socioculturels dans les populations d'enfants faibles et normolecteurs

	Facteurs internalisés*(%)	Facteurs externalisés (%)	Quotient familial très défavorisé**	Enfants nés hors France (%)	Bilinguisme***(%)
Enfants faibles lecteurs (103 questionnaires/ 111 enfants)	19,4	16,5	32,7	12,6	66,4
Témoins normolecteurs (46 questionnaires / 48 enfants)	6,5	15,2	26,7	14,6	77,7

*Apprécié par le pourcentage d'enfants considérés comme présentant un trouble internalisé ou externalisé clinique au CBCL
**Apprécié par le tarif périscolaire et le prix du ticket de cantine(%)
***Langue parlée à la maison non exclusivement française

Les troubles internalisés (anxiété, sentiments dépressifs, plaintes somatiques) sont plus fréquemment rencontrés chez les enfants en difficultés de lecture et peuvent être liés aux conséquences de l'échec scolaire.

Les facteurs socioculturels comme l'appréciation indirecte du quotient familial, le bilinguisme... n'expliquent pas à eux seuls les difficultés en lecture dans cette cohorte.

On peut formuler l'hypothèse d'une intrication entre les faibles compétences phonologiques, la précarité sociale et linguistique à l'origine des difficultés en lecture dans cette cohorte.

Phase 3 : évaluation d'un entraînement en milieu scolaire

Méthodologie

Les 82 enfants les plus faibles en décodage (score à la Batelem-R), après exclusion des enfants déficitaires ou porteurs de troubles massifs du comportement ou en impossibilité pratique[72], ont bénéficié d'un entraînement pédagogique en milieu scolaire à la conscience phonologique et à la voie d'assemblage de la lecture. Pour respecter une situation écologique en milieu scolaire, il a été proposé aux plus mauvais décodeurs, un entraînement par logiciel adaptatif répondant aux critères consensuels dans la littérature, à

72. Absence d'ordinateurs compatibles, absence des enfants…

savoir associant la forme sonore du phonème ou de la syllabe, à sa forme visuelle (Ehri et coll., 2001 ; Torgesen, 2002 ; Vellutino et coll., 2004). Deux entraînements répondent à ce critère mais diffèrent sur les stimuli, le premier touche les paires minimales de phonèmes, le second touche un ensemble de stimuli allant du phonème au mot. L'entraînement à la discrimination de paires minimales de phonèmes[73] est proche d'un entraînement ayant montré un effet dans une population de dyslexiques (Magnan et coll., 2004). L'autre, également audiovisuel, entraîne les liens entre forme phonologique et forme orthographique[74].

L'utilisation individuelle d'un logiciel d'entraînement audiovisuel a été proposée en raison d'un triple intérêt :

- une condition d'entraînement ludique, différente de la pédagogie habituelle ;
- une faisabilité en milieu scolaire en terme de ressources humaines : entraînement en petit groupe d'enfants chacun utilisant son logiciel sur l'ordinateur avec un adulte surveillant chaque groupe, d'une durée de quinze minutes deux fois par jour, quatre jours par semaine, pendant cinq semaines ;
- la possibilité d'une progression adaptée à l'évolution de l'enfant.

Pour étudier les éventuels effets spécifiques de ces entraînements à la lecture, une situation d'entraînement par un logiciel de mathématiques[75] constitue la situation « contrôle » (Wilson et coll., 2006a et b). L'utilisation d'un logiciel de calcul pour cette situation contrôle est justifiée par la fréquence de la comorbidité des difficultés d'acquisition en calcul et en lecture. Les effets de cet entraînement ont été jugés sur l'évolution des compétences en mathématiques.

La comparaison d'un entraînement à la lecture et d'un entraînement au calcul permettra, en cas d'effet sur les compétences en lecture, de différencier les effets spécifiques liés aux caractéristiques des 2 logiciels de lecture, d'effets plus globaux attentionnels ou motivationnels liés à la situation d'aide. L'utilisation de deux entraînements à la lecture permettra de mieux analyser les effets et les limites de chaque logiciel, selon le profil des enfants, afin de proposer ultérieurement le logiciel le plus adapté à l'enfant.

Le groupe des 29 enfants témoins faibles lecteurs non entraînés (voir figure 1 : groupe « B »), constitue un groupe « neutre » d'enfants de même âge, dont les compétences en lecture sont légèrement moins faibles que le

73. Le logiciel de discrimination des sons a été adapté par Liliane Sprenger-Charolles, Marie-Thérèse Le Normand et Monique Touzin.
74. « Domino » conçu par Johannes Ziegler
75. Logiciel « la course aux nombres » conçu par Anne Wilson et Stanislas Dehaene

groupe entraîné. Ce groupe donne l'évolution des compétences en lecture sans aucun entraînement.

L'entraînement comporte un programme de dix semaines entrecoupées des évaluations et des vacances scolaires de Pâques. Il est évalué en randomisant les mauvais lecteurs en deux groupes :
• l'un bénéficiant de l'un des deux entraînements audiovisuels (A1 et A2) pendant les cinq premières semaines ;
• l'autre bénéficiant sur le même temps du logiciel d'entraînement au calcul (B).

Puis, pendant les cinq semaines suivantes, le groupe B ayant bénéficié du logiciel de calcul est randomisé en deux parties, qui bénéficient d'un des deux logiciels de lecture (A1 ou A2). Le groupe ayant bénéficié dans un premier temps des deux logiciels de lecture est randomisé lui aussi, en trois parties, l'une qui bénéficie du logiciel de calcul (B), les deux autres qui continuent à bénéficier du logiciel de lecture interverti (A1/A2 ; A2/A1).

Une évaluation des compétences de décodage, des stratégies de lecture, de compréhension de texte lu, des fonctions cognitives sous-jacentes, de calcul est effectuée avant l'entraînement, entre les deux phases puis à la fin des deux entraînements. La méthodologie permet ainsi d'analyser les effets tests-retests. Les données de l'évaluation initiale permettront de croiser les effets de l'entraînement avec plusieurs facteurs : conditions socioéconomiques, capacités intellectuelles, trouble persistant du langage oral, gravité du déficit en lecture, motivation à l'utilisation d'un ordinateur…

Résultats

Les résultats précis et spécifiques des entraînements sont en cours d'analyse. Seuls les résultats préliminaires sont donnés dans cette communication (tableau IX).

Les enfants entraînés ont acquis entre janvier et juin plus de compétences en décodage (Batelem-R : lecture de syllabes) et lecture rapide de mots (LUM : lecture de mots en une minute) que les enfants faibles lecteurs non entraînés (figures 4 et 5). Les effets des entraînements sont très variables selon les enfants. Certains enfants n'ont absolument pas progressé alors que d'autres ont en fin d'année scolaire un niveau de lecture normal tant au Timé 2, qu'à la Batelem-R ou à la Lecture en une minute.

Tableau IX : Résultats globaux des entraînements (82 enfants entraînés en comparaison à 29 enfants faibles lecteurs non entraînés et à 48 enfants normolecteurs)

	Nombre	Timé : nombre mots corrects Baseline*	Timé : nombre mots corrects Fin**	Timé : nombre mots corrects Delta***	Batelem Lecture Delta***	Lecture en une minute Delta***	Evalec mots Delta***	Evalec syllabes Delta***	Evalec Pseudo-mots Delta***	Compréhension Delta*** Nombre de bonnes réponses/10
Entraînés	82	10,7 (4,8)	17,8 (6,6)	6,9 (6)	6,1 (4,6)	9 6,8)	7,4 (7,3)	4,1 (5,4)	5,1 (7,5)	3,1 (2,6)
Faibles lecteurs non entraînés	29	14,4 (4,8)	20,9 (5,9)	6,3 (5,2)	2,8 (3)	5,9 (4,6)	5,2 (7,5)	0,7 (3,3)	2,4 (6,3)	2,8 (2,3)
Normolecteurs	48	24,9 (5,1)	28,3 (4,3)	3,4 (4,1)						

*Score : moyenne (écart-type)
**Score en fin d'expérience (juin 2006) (écart-type)
***Delta : différence entre le score après et avant les entraînements (écart-type)

Figure 4 : Évolution des différents groupes (delta : différence entre le score après et avant les entraînements en âge de lecture en mois)

Figure 5 : Évolution de l'âge de lecture entre janvier et juin dans les trois groupes

Au test de décodage de la Batelem-R, sur un total de 29 syllabes, les améliorations du groupe d'enfants entraînés sont les suivantes :

• 21 % des enfants ne sont pas répondeurs : ils lisent en fin d'expérience moins de 3 syllabes de plus qu'en début (moyenne 0,6 ; extrêmes 0-2). Ils constituent le premier quartile, le plus faible ;

• 24 % sont faibles répondeurs : ils ont progressé de 3 ou 4 syllabes (moyenne 3,6). Ils constituent le second quartile ;

• 28 % des enfants sont moyennement répondeurs : ils ont progressé de 5 à 9 syllabes (moyenne 6,5). Ils constituent le troisième quartile ;

• 27 % des enfants sont bons répondeurs : ils ont progressé de 10 syllabes ou plus (moyenne 12,1 extrêmes 10 à 16). Ils constituent le quatrième quartile, le plus amélioré.

Quelque soit le test considéré, plus de la moitié des enfants entraînés ont plus progressé que les enfants faibles lecteurs témoins non entraînés qui pourtant étaient moins en difficultés au début de l'expérience (figures 6 et 7).

Figure 6 : Évolution des scores de mots correctement lus au Timé 2, ou des syllabes à la Batelem, ou des mots lus en une minute selon que les enfants aient été non entraînés (FL non entraînés), ou selon l'importance des progrès des enfants entraînés (1er au 4e quartile)

A : Scores de syllabes (Batelem-R)

B : Scores de syllabes (LUM)

Figure 7 : Évolution des scores de syllabes correctement lues à la Batelem-R (A), ou des mots lus en une minute (LUM) (B) entre janvier et juin, selon que les enfants n'ont pas été entraînés (FL non entraînés), ou selon l'importance des progrès des enfants entraînés (1er au 4e quartile)

Un entraînement écologique, quotidien, 10 heures en cinq semaines, en milieu scolaire, sans marginalisation, par un logiciel spécifique améliore les performances en décodage, lecture rapide de mots et compréhension de texte lu. Ces effets sont variables selon les enfants, nuls pour certains, nets pour d'autres. Des analy-

ses supplémentaires sont indispensables pour préciser si ces effets sont spécifiques au logiciel de lecture, et quel est le profil d'enfants en bénéficiant le plus.

En conclusion, à partir d'une cohorte de 1 063 enfants représentant tous les enfants scolarisés en CE1 ou redoublant le CP dans 20 écoles parisiennes situées pour un tiers en zone non défavorisée (non REP), un tiers en zone modérément défavorisée (REP 1) et un tiers en zone très défavorisée (REP 2), les compétences en lecture, transcription et calcul ont été mesurées. Plus de 10 % des enfants avaient un âge de lecture inférieur d'au moins un an à leur âge chronologique. Les difficultés en lecture sont très corrélées aux difficultés de transcription et de calcul. Les enfants en difficultés sont plus nombreux dans les zones les plus défavorisées. En même temps, les conditions socioculturelles (quotient familial, bilinguisme, naissance hors de France) ainsi que les conditions pédagogiques ne peuvent pas rendre compte à elles seules des difficultés de lecture, pas plus que les compétences non verbales, comme en témoigne la comparaison des enfants en difficultés de lecture avec un groupe apparié d'enfants normolecteurs. Les compétences en métaphonologie, mémoire phonologique à court terme et dénomination rapide sont plus faibles chez les enfants les plus mauvais lecteurs.

Un entraînement pédagogique audiovisuel par un logiciel adaptatif, répondant aux critères consensuels définis par la littérature pour améliorer le décodage, a été proposé aux enfants les plus en difficultés. L'objectif est d'aider les enfants faibles décodeurs, en milieu scolaire. Les effets de l'entraînement à la lecture ont été évalués en comparant les progrès des enfants entraînés à un groupe d'enfants scolarisés dans les mêmes classes en difficultés de lecture modérément moins sévères que celles des enfants entraînés. Plus de 50 % des enfants entraînés progressent davantage que les enfants moins faibles lecteurs non entraînés. Les effets spécifiques de l'entraînement à la lecture sont en cours d'évaluation en comparant une phase d'entraînement au logiciel de lecture à une phase de même durée avec un entraînement au calcul.

Catherine Billard, Joel Fluss[76]

Centre de référence sur les troubles des apprentissages, Le Kremlin-Bicêtre

Geneviève Richard

Direction des affaires sociales et sanitaires de Paris

76. Communication écrite en collaboration avec : Johannes Ziegler (CNRS Université de Provence), Jean Ecalle et Annie Magnan (Université Lyon), Liliane Sprenger-Charolles (CNRS Paris), Anne Wilson et Stanislas Dehaene (CNRS), Béatrice Ducot, Josiane Warzowski et Alfred Spira (Inserm), avec l'aide de l'équipe de neuropsychologues : Ouarda Benkhaled, Agnes Bontemps, Laure Bricout, Amélie Letellier, Aurélie Mangou, Maud Markus, Ismery Refuvreille, Zoé Richez, Patrice Urie, Delphine Vigue. Remerciements à l'Académie de Paris, aux inspecteurs de circonscription, directeurs d'écoles, enseignants et le Réseau d'aides aux élèves en difficultés, au Service de promotion pour la santé des élèves de la Ville de Paris et à tous les médecins scolaires de la DASES. Remerciements à Liliane Sprenger-Charolles, Monique Touzin et Marie-Thérèse Le Normand pour la réalisation du logiciel d'entraînement à la discrimination des sons et pour l'utilisation de la batterie informatisée « EVALEC »

BIBLIOGRAPHIE

ACHENBACH T, RESCORDA L. Child Behaviour Checklist. 1999-2002 (version française destinée aux enseignants)

BILLARD C, DUCOT B, PINTON F, COSTE-ZEITOUN D, PICARD S, WARSZAWSKI J. BREV une batterie d'évaluation des fonctions cognitives : Validation dans les troubles des apprentissages. *Ach Fr Ped* 2006, **13** : 23-31

BILLARD C, GILLET P, LIVET MO, MOTTE J, VALLÉE L, et coll. BREV : Batterie Rapide d'Evaluation des Fonctions Cognitives. Signes Editions, Paris, 2001

BILLARD C, VOL S, LIVET MO, MOTTE J, VALLÉE L, GILLET P. The BREV neuropsychological test : Part I. Results from 500 normally developing children. *Developmental Medecine and Child Neurology* 2002a, **44** : 391-398

BILLARD C, MOTTE J, FARMER M, LIVET MO, VALLÉE L, et coll. The BREV neuropsychological test : Part II. Results of validation in children with epilepsy. *Developmental Medecine and Child Neurology* 2002b, **44** : 398-340

ECALLE J. Timé 2 : Test d'identification des mots écrits de 6 à 8 ans. EAP, Paris, 2003

EHRI LC, NUNES SR, WILLOWS DM, VALESKA SXHUSTER B, YAGHOUB-ZADEH Z, SHANAHAN T. Phonemic awereness instruction helps children learning to read : Evidence from the National Reading Panel's meta-analysis. *Reading Research Quaterly* 2001, **36** : 250-287

LEFAVRAIS J. Test de l'Alouette. ECPA, Paris 1965, révision 2005

MAGNAN A, ECALLE J, VEUILLET E, COLLET L. The effects of an audio-visual training program in dyslexic children. *Dyslexia* 2004, **10** : 131-140

SAVIGNY M. Batelem-R. EAP, Paris, 1996

SPRENGER-CHAROLLES L, COLÉ P, BÉCHENNEC D, PIQUARD-KIPFFER A. EVALEC: French normative data on reading and related skills: From 7 to 10 year-olds. *European Review of Applied Psychology* 2005, **55** : 157-186

TORGESEN JK. The prevention of reading difficulties. *J School psychol* 2002, **40** : 7-26

VELLUTINO FR, FLETCHER JM, SNOWLING MJ, SCANLON DM. Specific reading disability (Dyslexia): what we have learned in the past four decades? *Journal of Child Psychology and Psychiatry* 2004, **45** : 2-40

WILSON AJ, DEHAENE S, PINEL P, REVKIN SK, COHEN L, COHEN D. Principles underlying the design of "The Number Race", an adaptive computer game for remediation of dyscalculia. *Behavioral and Brain Functions* 2006a, **2** : 19

WILSON AJ, REVKIN SK, COHEN D, COHEN L, DEHAENE S. An open trial assessment of "The Number Race", an adaptive computer game for remediation of dyscalculia. *Behavioral and Brain Functions* 2006b, **2** : 20

Trois méthodes comparées de rééducation

Depuis plus de dix ans, l'application des recherches en neurosciences cognitives concernant d'une part la plasticité corticale et les rééducations et d'autre part l'origine des troubles de la lecture connaît un grand essor (Tallal et coll., 1996 et 1998 ; Eden et Moats, 2002 ; Taub et coll., 2002 ; Alexander et Slinger-Constant, 2004). En particulier, plusieurs études publiées montrent l'efficacité des méthodes de rééducation intensives et quotidiennes sur les compétences de lecture et leurs effets sur les activités corticales des réseaux neuronaux impliqués. C'est dans cette perspective que le programme de recherche intitulé « Étude comparative et anatomo-fonctionnelle de la récupération de la dyslexie à l'aide de méthodes de rééducation » a été initié à l'Hôpital Robert Debré et à l'Hôpital Trousseau conjointement dans le service de Pédiatrie neurologique et des maladies métaboliques et le service de Psychopathologie de l'enfant (de Schonen et coll., 2005)[77].

Cette étude a comme objectif :

- d'évaluer et comparer trois méthodes de rééducation d'enfants dyslexiques ;
- de confirmer ou non l'existence d'un lien entre entraînement à la perception phonologique et les compétences de lecture ;
- d'examiner les relations entre compétences du langage oral et écrit dans la dyslexie ;

77. Remerciements au Professeur Mouren-Simeoni et à tout le personnel infirmier et d'encadrement éducatif du service de l'Unité 5 sous la responsabilité du Dr Christophe-Loic Gérard, centre de référence des troubles du langage et des apprentissages, service de psychopathologie de l'enfant et de l'adolescent de l'hôpital Robert Debré à Paris
Remerciements également à toutes les orthophonistes qui ont contribué à ce travail : Christine Sensi, Corinne Caillère, France Grelet, Séverine Hervatin, Pomine Thomas, Elise Lameloise
Ce travail a bénéficié d'un PHRC-National (AOM-01 057/P010313) intitulé « Étude comparative et anatomofonctionnelle de la récupération de la dyslexie à l'aide de méthodes de rééducation ». Le promoteur est l'Assistance Publique-Hôpitaux de Paris et l'investigateur principal est le Professeur Philippe Evrard, chef du service de Neurologie pédiatrique à l'hôpital Robert Debré, Paris

• de déterminer des corrélats anatomo-fonctionnels de la dyslexie et des effets de la rééducation. Les résultats de cette dernière question ne seront pas abordés ici.

Même si l'évaluation des méthodes de rééducation est un processus complexe, il n'en reste pas moins que toute méthode de rééducation doit démontrer son efficacité. Or, mesurer l'efficacité d'une rééducation orthophonique est une tâche très difficile et coûteuse en raison de la multiplicité des facteurs en jeu.

Ce n'est que récemment qu'est apparue en France la nécessité d'évaluer l'efficacité des méthodes de rééducation de la dyslexie comme le soulignent de Cara et Plaza (2005) (par exemple, Messerschmitt et coll., 1994 ; Habib et coll., 1999, 2002 et 2004 ; Magnan et coll., 2004). On ne peut utiliser les évaluations de rééducations en langue anglaise bien qu'elles aient commencé il y a plus longtemps et qu'elles soient plus nombreuses. Il faut être prudent dans l'importation d'une rééducation d'une langue à l'autre pour deux raisons. Tout d'abord à l'heure actuelle, les rééducations ne sont fondées que sur une connaissance partielle et inachevée des mécanismes de la dyslexie, de telle sorte que certaines pratiques rééducatives dans une langue pourraient être favorables dans cette langue et ne pas l'être dans une autre langue. Deuxièmement, bien que les corrélats neuro-fonctionnels de la dyslexie soient les mêmes d'une langue à l'autre (en tout cas en ce qui concerne trois langues qui réagissent différemment à la dyslexie – l'anglais, l'italien et le français – (Paulesu et coll., 2001), les manifestations sont variables et spécifiques selon les langues et les cultures (principalement parce que les principes du transcodage graphophonologique diffèrent entre langues). L'évaluation des méthodes de rééducation est donc actuellement nécessaire pour l'amélioration de la qualité des soins et pour parvenir à un équilibre entre coût et efficacité.

Dans les travaux décrits ci-dessus, trois méthodes de rééducation ont été comparées. Ces méthodes ont été retenues parce qu'elles ont la réputation d'être toutes les trois efficaces. La méthode A (sémiophonie) est utilisée en France et a été évaluée en français comparativement à une méthode standard de rééducation (Messerschmitt et coll., 1994) et en anglais (Lloyd et coll., 2003). La méthode B (entraînement intensif de la perception auditive de la parole modifiée) a été évaluée en anglais à plusieurs reprises et en français par des études de l'équipe de Marseille (Habib et coll., 2002 et 2004). Elle reste l'objet de vives controverses (Gillam, 1999 ; Gillam et coll., 2001a et b ; Friel-Patti et coll., 2001a et b ; Hook et coll., 2001 ; Thibodeau et coll., 2001 ; Troia et Whitney, 2003 ; Agnew et coll., 2004 ; Pokorni et coll., 2004 ; Bishop et coll., 2005 ; Cohen et coll., 2005 ; Bishop et coll., 2006). La méthode C (rééducation « classique » par un/une orthophoniste formé(e) en France) est la plus utilisée en France mais n'a fait l'objet d'évaluation contrôlée que par rapport à la rééducation sémiophonique. Les évaluations déjà effectuées en français ou en anglais comparaient

les effets d'une rééducation aux effets d'une absence de rééducation d'un groupe témoin. Ici les effets de trois rééducations dont la réputation est d'être efficace sont comparés.

Caractéristiques des participants de l'étude

Vingt cinq enfants, 20 garçons et 5 filles, d'âge scolaire (CE1 à CM2) ont suivi l'une des trois méthodes de rééducation. Leur affectation à l'une ou l'autre méthode était décidée par un tirage au sort quasi aléatoire établi avant le recrutement. Les critères d'inclusion d'un enfant dans l'étude étaient les suivants : avoir un QI atteignant au moins 80, avoir été diagnostiqué dyslexique au test de l'Alouette (Lefavrais, 1967). L'Alouette est un test de leximétrie : l'enfant doit lire à haute voix en trois minutes un texte de 265 mots. L'objectif de ce test est d'attribuer un niveau de lecture (ou âge lexique). Les caractéristiques des trois groupes sont données dans le tableau I. Le QI Total, le QI Verbal, le QI Performance (Wechsler, 1996), et les erreurs ou le nombre de mots lus au test de l'Alouette ne diffèrent pas significativement entre les trois groupes avant rééducation ($p>0,10$).

Tableau I : Caractéristiques de chacun des 3 groupes d'enfants (moyennes et écarts-types) avant rééducation

	Méthode A	Méthode B	Méthode C
Garçons/filles	6G/3F	7G/2F	7G
Niveau socioculturel	4 NSC* moyen 5 NSC supérieur	3 NSC moyen 6 NSC supérieur	4 NSC moyen 3 NSC supérieur
Âge pré-test en mois	111,22 (13,44)	102,33 (10,64)	108,86 (9,97)
Âge post-test en mois	126,33 (14,48)	109,67 (11,36)	124,86 (10,38)
Test de l'Alouette			
Nombre de mots lus	110,25 (42,53)	100,83 (16,31)	84,25 (32,88)
Nombre d'erreurs	148,50 (52,65)	127,16 (55,74)	139,25 (43,53)
Âge lexique	82,75 (2,87)	81,16 (1,32)	79,5 (1,29)
Échelle d'Intelligence			
QI Verbal	96,3 (16,5)	102,7 (17,5)	89,2 (5,3)
QI Performance	99,1 (14,3)	102,1 (18,9)	91,5 (6,6)
QI Total	98,2 (13,06)	102,9 (19,6)	89,3 (4,9)

*NSC : niveau socioculturel défini par le niveau d'éducation des parents (moyen ou supérieur)

La description ci-dessous ne concerne que les caractéristiques essentielles des méthodes utilisées.

Méthode A

La méthode A, dite sémiophonie, a été élaborée par son auteur (Beller, 1973 et 1994), psychiatre exerçant en ville, pour tenter de dissocier l'attention aux aspects sonores de la parole de l'attention aux aspects lexicaux et sémantiques. Le rythme et la musique d'une langue (la prosodie) sont parmi les premières informations extraites de la parole par le bébé au cours du développement du langage oral. L'auteur de cette méthode faisait l'hypothèse que l'origine de la dyslexie est une perturbation de l'association entre le traitement acoustique, le traitement phonologique et le traitement sémantique de la parole. Ces traitements se seraient organisés de façon aberrante au cours du développement sous l'effet de facteurs que l'auteur n'était pas en mesure d'identifier lorsqu'il développa cette rééducation. La méthode visait à rétablir chez les enfants dyslexiques des automatismes perceptifs et linguistiques concernant certains aspects de la perception auditive de la parole en les dissociant des traitements lexicaux et sémantiques.

Pour ce faire, une partie des séances de rééducation consiste à attirer l'attention de l'enfant sur certains aspects auditifs de la parole. L'enfant écoute des stimuli sonores. Ces stimuli sonores sont le résultat de la modulation d'un son « paramétrique » par les variations d'amplitude et de fréquence de la parole naturelle. Techniquement parlant, le son paramétrique utilisé est un bruit blanc dans la zone des ultrasons, donc inaudible. Mais à chaque inflexion de la fréquence fondamentale (F0) de la parole, la fréquence de ce son paramétrique est abaissée et devient audible. On entend ainsi un son aigu mais agréable modulé par les rythmes de la parole, bien que nettement différencié de la voix. L'amplitude de ce son est modulée par les variations d'amplitude de la parole naturelle qu'elles soient rapides ou lentes ou par les variations de sons musicaux. Ce son redevient inaudible dans les pauses de parole. Le son paramétrique modulé ne conserve ainsi de la parole naturelle que les rythmes, les accentuations et l'enveloppe prosodique de la parole.

Le son paramétrique peut être modulé soit par de la parole spontanée pré-enregistrée, soit par de la parole pré-enregistrée correspondant à la lecture d'un texte, soit *on-line* par la parole d'un locuteur qui peut être l'enfant lui-même. Les paroles de l'enfant peuvent, par exemple, moduler le son paramétré qu'il entend alors par l'intermédiaire des écouteurs en même temps qu'il parle. En début de séance, l'enfant entend ou écoute de la parole enregistrée ainsi transformée (mots, phrases, récit). En fin de séance, l'enfant entend ou écoute les variations produites par ses propres paroles spontanées ou en répétition de mots, de phrases, ou en lecture.

Ce dispositif (appelé lexiphone) ne fournit probablement pas d'indices de segmentation phonémique. Il faut noter qu'il n'y a pas, à notre connaissance, de relation établie entre les mouvements de la fréquence fondamentale de la voix (F0), produite par les cordes vocales situées dans le larynx, et la segmentation en phonèmes. De manière générale, il n'y a pas de relations

univoques entre les phonèmes et les segments présents dans le signal acoustique de parole émis par un locuteur. À chaque phonème peuvent éventuellement correspondre plusieurs segments acoustiques et, inversement, le même segment peut fournir de l'information sur plusieurs phonèmes. Il s'agit là d'un résulat classique, basé sur des descriptions acoustiques (Fant, 1973) et sur des expériences de perception (Liberman et coll., 1967). De manière plus spécifique, l'hypothèse selon laquelle la F0 pourrait fournir des indices de segmentation phonémique reste à prouver. Jusqu'à preuve du contraire, les changements de F0 ne correspondent pas nécessairement aux limites entre phonèmes et la F0 peut conserver des valeurs relativement constantes sur un intervalle de temps recouvrant plusieurs phonèmes successifs. Ensuite, il n'y pas de données montrant que des changements de F0 permettent de percevoir deux phonèmes différents[78].

Une autre transformation de la parole, utilisée dans la sémiophonie, dans une deuxième phase de la rééducation, consiste à « hacher » le flux sonore en supprimant de brèves portions de signal (entre 1/10e de seconde et 2 secondes) dans un enregistrement de la parole. Un intervalle silencieux peut avoir une durée plus brève qu'une syllabe. La durée de la suppression du son est contrôlable, mais le moment exact où survient la suppression dans la parole est aléatoire. Cette suppression n'affecte pas systématiquement les points de segmentation de la parole naturelle. Elle peut supprimer un morceau de syllabe, ou la fin d'une syllabe et le début de la suivante, ou se produire dans une pause…

Dans la pratique, l'enfant travaille avec un micro-casque, comme dans un laboratoire de langues, selon une progression standard, mais aménageable en fonction de l'enfant. Le rééducateur peut intervenir dans la rééducation au moment où il le juge le plus opportun, ou à la demande de l'enfant : soit directement (consignes, indications diverses, aide, explications, guidance), soit par l'intermédiaire d'un autre micro-casque relié au « lexiphone ». Un rééducateur peut assurer simultanément la rééducation de 3 à 4 enfants.

La durée totale de la rééducation dépend évidemment de l'enfant. Mais en raison de l'objectif de comparaison des trois méthodes dans le cadre de la présente étude, la durée totale a été de 90 séances de 60 minutes (soit 45 minutes de rééducation effective) pendant la période scolaire à raison de trois séances par semaine. En temps normal hors étude comparative, cette rééducation comporte plus de variabilité en fonction des enfants (pour une description plus détaillée, voir Beller, 1973 et 1994).

78. Nous remercions le Pr W. Serniclaes pour nous avoir fourni cet éclaircissement concernant les possibilités du lexiphone.

Méthode B

La méthode B est un entraînement auditif intensif et quotidien utilisant de la parole modifiée.

Les premiers travaux sur l'entraînement auditif intensif et quotidien à la perception d'indices temporels dans la parole modifiée synthétiquement ont montré des progrès significatifs à des tests de compréhension du langage oral et de discrimination phonétique chez des enfants qui présentaient des troubles sévères du langage (Merzenich et coll., 1996 ; Tallal et coll., 1996).

Selon Tallal, un déficit dans la perception des caractéristiques temporelles de la parole serait à l'origine de tous les types de troubles de l'apprentissage liés à la phonologie (y compris l'apprentissage des correspondances graphophonologiques). Plus précisément, le déficit concernerait le traitement de la syllabe c'est-à-dire le traitement des informations auditives brèves et en succession rapide du signal de parole contenue dans l'assemblage consonne-voyelle (CV). Les transitions formantiques qui caractérisent le passage du son consonantique (consonne) au son vocalique (voyelle) sont des indices acoustiques pour l'intelligibilité de la parole et sont de très courtes durées (inférieures à 40 ms). La segmentation des phonèmes et la discrimination entre phonèmes reposent donc sur des analyses fines portant sur des indices de très courtes durées.

Le principe de base de la méthode B est donc d'entraîner l'enfant à percevoir des stimuli dont les aspects temporels sont au départ « ralentis » artificiellement, donc plus faciles à discriminer. Par la suite, on rend progressivement de plus en plus brefs, en tendant vers la normale, les caractères temporels. Ces exercices visent à obtenir une amélioration des aptitudes des dyslexiques reposant sur une réorganisation corticale. La notion de réorganisation corticale liée à un entraînement est aujourd'hui documentée par plusieurs données expérimentales (Sadato et coll., 1996 ; pour une revue, voir Recanzone, 2000 et Kaas, 2000). Un entraînement « adaptatif », où l'aspect temporel des stimuli est impliqué dans des exercices de difficulté croissante au cours de la période d'entraînement, doit pouvoir induire une réorganisation des régions corticales impliquées dans le déficit observé. La méthode utilisée par les auteurs repose sur un conditionnement opérant, c'est-à-dire que grâce à des jeux vidéo informatisés, l'enfant va, à son insu, être conditionné à discriminer et reconnaître divers types de sons dont la variable temporelle est modifiée au cours du temps. Des preuves d'une réorganisation corticale consécutive à cet entraînement ont déjà été publiées (Temple et coll., 2003).

Dans sa version définitive, le programme d'entraînement intensif, actuellement commercialisé sous le nom de *FastForWord* (FFW), comprend des « jeux » informatiques audiovisuels ; ceux-ci sont destinés à l'entraînement des capacités de traitement auditif central (vitesse d'intégration temporelle,

attention, mémoire séquentielle), d'identification des mots et de discrimination phonologique (en contexte de syllabe ou de mot), de traitement du langage et de compréhension grammaticale. Les éléments acoustiques brefs des zones de transition formantique de la parole, ou les signaux acoustiques non verbaux, sont allongés et également modifiés au niveau des contrastes d'amplitude, sur les bases technologiques de la méthode rapportée dans la publication de Nagajaran et coll. (1998).

Le programme utilisé dans notre étude est une adaptation en français de ces jeux vidéo informatisés FFW et porte uniquement sur des sons de paroles. Il s'agit du logiciel « Akoustik » mis au point par Barbier (2003). Une séance consiste à réaliser des exercices de discrimination de syllabes, de mots et de pseudo-mots et des exercices de troncation de mots et de pseudo-mots qui visent à développer les capacités métaphonologiques. Tous les stimuli de parole ont été modifiés de façon « adaptative ». La modification comporte 3 niveaux différant par le degré de ralentissement (14 % de réduction, 31 % réduction, 50 % réduction). L'enfant commence par le niveau où le signal est le plus ralenti jusqu'à ce qu'il réussisse au moins 80 % des essais de chaque exercice, puis il passe aux niveaux moins ralentis.

Ces exercices ont été pratiqués sur une période de 20 jours (6 à 7 séances de 20 minutes chacune par jour, pendant 4 semaines, 5 jours par semaine). La rééducation a eu lieu dans un service d'hospitalisation de jour (Hôpital Robert Debré, Centre de référence du langage, Service du Pr Mouren-Simeoni, Unité 5, Dr Le Heuzey puis du Dr Gérard). Outre les 6 à 7 séances de rééducation par jour, tous les enfants ont bénéficié d'un encadrement scolaire assuré par le personnel enseignant du service. Neuf enfants ont été accueillis au mois de juin et rééduqués par groupe de 3 simultanément. Une orthophoniste et une stagiaire formées à cette méthode ont pris en charge les enfants.

Méthode C

La méthode C est la pratique orthophonique classique dont les méthodes de rééducation sont plus ou moins codifiées.

Les trois orthophonistes qui ont participé à l'étude avaient une expérience professionnelle de plus de 4 ans et moins de 7 ans. Elles ont utilisé divers exercices, combinant plusieurs méthodes, le plus souvent avec des logiciels d'aide à la rééducation faciles à utiliser, paramétrables et ouverts. Quelques-uns de ces exercices sont résumés dans le tableau II.

Tableau II : Quelques exercices utilisés pour la méthode C

Exercices de métaphonologie dans le langage oral et dans la correspondance entre le code oral et écrit
L'enfant segmente les mots dans une phrase, les identifie dans un texte et les réutilise dans un récit
L'enfant identifie des syllabes des mots, en faisant des exercices de frappes et de rythmes, ou avec une implication motrice plus générale
L'enfant fait des jeux sur les syllabes des mots, en initiales ou en finales : il doit retrouver des mots commençant pareil ou finissant pareil, ou trouver des intrus phonétiques
L'enfant fait des discriminations auditives sur des paires de mots, il repère si les mots existent ou non
L'enfant apprend à repérer certains indices visuels pour identifier des mots : repérage des voyelles, des indices de longueur, des rapports entre longueur d'émission vocale du mot et longueur du mot écrit
L'enfant apprend à repérer l'importance de la séquentialité au niveau des mots de la phrase, puis des syllabes dans le mot, puis des sons dans les syllabes
L'enfant travaille l'orientation spatiale et la séquentialité sur un matériel non linguistique
L'enfant travaille la mémoire immédiate
L'enfant travaille les conversions grapho-phonémiques avec des supports gestuels et visuels Il travaille simultanément la lecture et l'écriture (transcription d'abord avec des étiquettes puis le crayon)
L'enfant apprend les petits mots fonction ou les mots usuels très irréguliers pour renforcer l'utilisation de la voie lexicale et développer le lexique orthographique
Autres exercices
L'enfant répète le mot à apprendre et le forme à l'aide de lettres en plastique
L'enfant examine le mot présenté par écrit et le divise en segments phonologiques (syllabes, attaque-rime, phonèmes)
Si le mot contient un petit mot, l'enfant le souligne
L'enfant met en évidence par surlignage des groupes consonantiques (ex. pr, st), de certaines rimes (ex. *out* dans *shout*) et de patterns de lettres
L'enfant trace le mot avec un de ses doigts sur des surfaces de texture tactilement différentes
L'enfant vérifie si l'orthographe produite est adéquate et corrige celle-ci si nécessaire

En dehors de ces différents exercices, un axe de travail préconisé dans le cabinet des trois orthophonistes, comme dans la méthode A, est de rendre l'enfant autonome et motivé en lui offrant des stratégies pour qu'il puisse retrouver seul les moyens de compensation travaillés en rééducation.

Les méthodes A et C se déroulent sur la même durée et au même rythme : 90 séances de 45 minutes à raison de 3 séances par semaine pendant l'année scolaire interrompue par les congés. Il s'agit de méthodes dites « distribuées ». La méthode B en revanche se déroule sur une période beaucoup plus courte (un mois) avec un entraînement intensif de 6-7 séances de 20-25 minutes par jour, 5 jours par semaine, 4 semaines consécutives. Il s'agit d'un entraînement massif dont la durée effective de rééducation totale (44-48 heures) est inférieure à la durée de chacune des deux autres rééducations (67 heures).

Outre ces différences, les méthodes A et B diffèrent par d'autres aspects cruciaux qui sont directement pertinents ici. La méthode B exerce directement les capacités de segmentation de l'enfant. Les aspects de la segmentation de parole manipulés par la méthode B sont peu nombreux, systématiquement variés et il s'agit de ceux qui sont perçus de façon déficitaire par les enfants atteints de dyslexie phonologique. Dans la rééducation B, les exercices de segmentation concernent véritablement la segmentation de la parole (phonème, syllabe), tandis que la segmentation réalisée par suppression de segment sonore dans la rééducation A ne concerne qu'occasionnellement (au hasard) les frontières segmentales syllabiques ou phonémiques. De plus, les variations du son paramétrique de la méthode A sont asservies principalement aux variations rythmiques de l'enveloppe globale de la parole et ne fournissent pas systématiquement ou pas du tout d'indices de segmentation de la parole naturelle. Les enfants dyslexiques ne sont pas réputés présenter des déficits de sensibilité à la prosodie qui constitue pourtant une source importante de modulation de l'enveloppe de la parole (donc ici du son paramétrique). La méthode B exerce directement et spécifiquement les capacités déficitaires de segmentation tandis que la méthode A ne les exerce que très indirectement et sans aucun caractère systématique. La méthode A sensibilise l'enfant aux aspects rythmiques de la parole sans les distinguer, attire son attention auditive sur l'enveloppe de la parole sans fournir d'indices pour la segmentation. Les méthodes A et B constituent donc deux situations de contrôle mutuel. La méthode B devrait être plus performante que la méthode A. Cependant dans notre étude, les deux méthodes diffèrent en plus par la durée effective de rééducation.

Notons enfin que cette étude a été confiée à des chercheurs qui étaient investis ni dans une rééducation, ni dans les polémiques relatives aux rééducations et à la nature des troubles dyslexiques.

Évaluation de l'amélioration des performances par la Belec

Les performances des enfants ont été évaluées avant et après rééducation à l'aide d'une batterie du langage écrit pour l'enfant de 7 à 12 ans : la Belec (Mousty et coll., 1994). Cette batterie a été construite en tenant compte des résultats des recherches cognitives fondamentales sur les composantes considérées comme déficitaires dans la dyslexie phonologique. Il s'agit d'un outil d'évaluation cognitive de la lecture : elle remplit une double fonction, puisqu'elle permet, d'une part, d'identifier les difficultés spécifiques de la lecture/écriture et, d'autre part, de mettre en relation ces difficultés avec d'autres compétences cognitives susceptibles de les expliquer. La batterie se compose d'une évaluation des aptitudes de lecture et d'orthographe qui permet d'estimer le degré d'efficience des procédures

mises en place par l'enfant pour reconnaître les mots écrits et de spécifier les mécanismes orthographiques utilisés, ainsi que d'une évaluation des compétences métalinguistiques (conscience phonémique, perception fine de la parole et mémoire de travail phonologique) qui permet de mettre en relation les déficits de l'enfant en lecture et/ou en écriture avec ces compétences dont on sait qu'elles sont associées à la réussite dans l'apprentissage de la lecture.

Il a été ainsi possible d'apprécier les performances langagières au pré- et post-test dans cinq domaines telles qu'elles sont analysées par la Belec :

- lecture de mots familiers, de mots rares et de pseudo-mots ;
- lecture de mots réguliers et irréguliers ;
- répétition de pseudo-mots de type CV et CCV ;
- manipulation intentionnelle des syllabes et des phonèmes avec les épreuves d'inversion syllabique, d'inversion phonémique, de suppression de consonnes dans des séquences C/CCV ;
- fusion syllabique de paires de mots avec l'épreuve « acronymes ».

Les notes brutes de chaque enfant ont été transformées en scores calibrés. Les scores calibrés pour chaque enfant et chaque tâche, au pré-test et au post-test, sont calculés de la manière suivante : pour chaque épreuve, la différence entre la moyenne (M témoin) du groupe témoin apparié à l'enfant dyslexique considéré et le score brut de cet enfant (x) est divisée par l'écart-type des performances du groupe témoin (ET témoin), soit (M témoin–x)/ET témoin. Ce score calibré donne une mesure de la distance entre chaque enfant examiné et la moyenne de son groupe témoin apparié pour chaque épreuve. Ainsi un score calibré de 0 indique une performance identique à la moyenne contrôle. Un score calibré négatif indique une performance meilleure que la moyenne contrôle, un score calibré positif indique une performance moins bonne que la moyenne contrôle. On peut considérer qu'un score calibré>+2 est un score anormal. Lorsqu'un score calibré passe d'une valeur positive au pré-test en se rapprochant de 0 ou adoptant une valeur positive au post-test, cela signifie que l'enfant a réduit son écart par rapport au niveau normal de performance. On peut calculer les scores calibrés au pré- et au post-test en prenant comme niveau de contrôle celui de la classe lors du pré-test. Les scores calibrés au pré-test évaluent alors la distance de l'enfant dyslexique par rapport au niveau contrôle de la classe où il est situé. Les scores au post-test montrent la distance de l'enfant dyslexique par rapport à ce même niveau contrôle et ne tient pas compte du fait que les enfants contrôles ont (au moment du post-test) des performances meilleures. Les scores calibrés au post-test indiquent donc de combien se réduit la distance entre l'enfant dyslexique et sa classe de référence au début de la rééducation. On appellera ces scores les scores calibrés de base. Une autre manière de faire consiste à calculer les scores calibrés au pré-test de la même manière que précédemment ; mais de calculer les scores calibrés au post-test en utilisant la moyenne et l'écart-type de la classe témoin corres-

pondant à la fin de la rééducation (dans le cas d'enfants commençant la rééducation en CE2 et la finissant en CM1). On appellera ce score le score calibré évolutif. Ce score indique non seulement si l'enfant a progressé par rapport à son niveau de départ, mais s'il réduit la distance par rapport au nouveau niveau contrôle.

Quoiqu'il en soit, le score calibré permet de tenir compte du fait que dans chaque groupe de rééducation l'âge des enfants variait de 7 ans et demi à 10 ans et quelques mois de telle sorte que certains enfants étaient en CE1 ou CE2 et d'autres en CM1 ou CM2. La comparaison des performances des trois groupes d'enfants ayant suivi la méthode de rééducation A, B ou C doit indiquer si le groupe progresse ou non et s'il atteint un niveau normal.

Progression par rapport au niveau de départ : scores calibrés de base

L'efficacité des trois méthodes est envisagée pour chaque type de tâche.

Efficacité des trois méthodes de rééducation pour la lecture de mots fréquents, de mots rares et de pseudo-mots

Ces trois tâches ont pour but d'analyser le rôle de la lexicalité dans les mots et les pseudo-mots (par exemple : « littérature » *versus* « valcronceux ») et le rôle de la fréquence d'usage dans les mots rares et les mots fréquents (par exemple : « auxiliaire » *versus* « gentillesse »).

Une analyse de variance sur les scores calibrés de base (3 rééducations x 3 fréquences de mots x 2 sessions, avec mesures répétées pour les deux derniers facteurs) montre une réduction significative de l'écart entre enfants dyslexiques et témoins. La réduction est significative dans chacun des groupes de rééducation sans que l'un présente un effet plus grand que l'autre (interaction statistique rééducation x session, statistiquement non significative). Le progrès n'affecte pas de façon systématiquement plus importante les mots fréquents que les mots rares ou les pseudo-mots (figure 1). Du pré- au post-test, les enfants dyslexiques passent en moyenne d'une distance supérieure à +1,9 du niveau normal à une distance inférieure à +1 du niveau moyen normal, sans différence en fonction des méthodes de rééducation et des catégories de mots (triple interaction rééducations × fréquences de mots × sessions, statistiquement non significative).

Figure 1 : Tâche de lecture de mots fréquents, de mots rares et de pseudo-mots. Moyennes et écarts-types des scores calibrés par rapport au niveau contrôle du pré-test

Efficacité des trois méthodes de rééducation pour la lecture des mots réguliers et irréguliers

Dans cette tâche, dont la passation dure environ dix minutes, on étudie le rôle de la régularité orthographique : on demande au sujet de lire à voix haute une série de 24 mots réguliers puis une série de 24 mots irréguliers. Les items, présentés ci-dessous, sont appariés en fréquence et en longueur :

- mots réguliers : caisse, nul, muscle, pair, onze, force, abri, matin, fumer, appel, soleil, meilleur, couvée, frisée, éponge, talon, copieur, adresse, approche, sonnerie, avenue, explosion, piloter, rétablir ;
- mots irréguliers : chœur, net, moelle, porc, ours, femme, écho, mille, fusil, hiver, second, monsieur, cassis, faisan, aiguille, tabac, chorale, oignon, automne, septième, orchestre, examen, parasol, revolver.

Une analyse de variance (3 groupes x 2 régularités x 2 sessions, avec mesures répétées pour les deux derniers facteurs) montre une réduction significative entre le pré- et le post-test de l'écart entre enfants dyslexiques et témoins (figure 2). En moyenne, les performances au pré-test comme au post-test sont significativement meilleures (plus proches du niveau contrôle) pour les mots irréguliers que pour les mots réguliers. Cette particularité est probablement due au fait que la moyenne contrôle des performances pour les mots irréguliers est encore très faible, donc peu différente de celle des enfants dyslexiques, dans cette zone d'âge. Mais la taille des progrès n'est pas plus importante pour une catégorie de mots que pour une autre (interaction statistique régularité x session, statistiquement non significative). On n'observe pas de différence significative d'efficacité entre les méthodes de

rééducation (interaction statistique rééducation x session, statistiquement non significative). Du pré- au post-test, les enfants dyslexiques passent en moyenne d'une distance de +1,9 à une distance de +0,615 du niveau normal moyen sans effet significatif des méthodes de rééducation et des catégories de mots (triple interaction rééducation x session x régularité, statistiquement non significative).

Figure 2 : Tâche de lecture de mots réguliers et irréguliers. Moyennes et écarts-types des scores calibrés par rapport au niveau contrôle du pré-test

L'efficacité des trois méthodes de rééducation pour la répétition des pseudo-mots de type CV et CCV

Cette tâche a une double fonction : mesurer un empan de mémoire immédiate sur un matériel verbal sans signification et évaluer la qualité des capacités de perception de parole. Si la répétition de pseudo-mots ne nécessite aucune opération de segmentation ni de manipulation explicite de la structure phonémique des stimuli, elle requiert néanmoins de disposer de représentations phonologiques du signal de parole de bonne qualité.

Cette tâche est numérisée et se compose de deux listes de pseudo-mots qui diffèrent par leur complexité (syllabes CV et CCV). Chaque partie comprend 5 séries de 4 items. La longueur des items croît d'une série à l'autre (de 1 à 5 syllabes).

Une analyse de variance (3 groupes x 2 tâches x 2 sessions, avec mesures répétées pour les deux derniers facteurs) révèle une réduction significative entre pré- et post-test de l'écart entre les enfants dyslexiques et les enfants témoins. Cette réduction est comparable dans les deux tâches (CV et CCV) (figure 3). La réduction de l'écart ne diffère pas selon la méthode de rééducation (interaction rééducations x sessions, statistiquement non significative). D'autre part, les performances sont significativement plus proches du

niveau contrôle pour la répétition des CV que pour celle des CCV aussi bien dans le pré-test que dans le post-test. Il faut noter qu'au pré-test aucune moyenne des groupes de rééducation ne se situait à une distance du niveau normal supérieure à 1. Les progrès ne varient pas en fonction des rééducations et des catégories de pseudo-mots (triple interaction rééducations x catégories de pseudo-mot x sessions, statistiquement non significative).

Figure 3 : Tâche de répétition de pseudo-mots CV et CCV. Scores calibrés par rapport au niveau contrôle du pré-test

Efficacité des trois méthodes de rééducation pour les épreuves métaphonologiques

L'enfant dyslexique a des difficultés à manipuler intentionnellement les phonèmes et les syllabes. Cette capacité à manipuler les sons de parole se teste à travers des tâches spécifiques dites « épreuves métaphonologiques » ; elles correspondent à une aptitude particulière de l'enfant qu'on désigne sous le nom de « conscience phonologique ». Il s'agit d'un processus composite constitué de deux composantes qui dans le cas de certaines dyslexies pourraient être dissociées (conscience de la structure syllabique et de la structure phonémique). On peut concevoir, comme le suggèrent certains auteurs, qu'il existe un processus neurobiologique permettant le développement de toutes les aptitudes métaphonologiques. Mais les processus métaphonologiques aboutissant à la segmentation explicite en unités de plus petite taille, les phonèmes, sont nécessaires pour mettre en place correctement le code alphabétique et donc la correspondance grapho-phonémique qui ne s'établit pas correctement chez l'enfant dyslexique

Trois épreuves métaphonologiques ont été numérisées sur ordinateur. Les consignes données à l'enfant explicitent le principe de la manipulation qu'il devra effectuer. Quelques exemples lui sont fournis avant chaque épreuve et du feed-back correctif lui est donné durant toute la durée des épreuves.

Dans l'épreuve d'inversion syllabique, l'enfant doit inverser les syllables de pseudo-mots de type CVCV, exemple : /baty/ devient /tyba/.

Dans l'épreuve d'inversion phonémique, l'enfant doit inverser les phonèmes de monosyllabes de type CV ou VC, exemple : /ba/ devient /ab/.

Dans l'épreuve de soustraction phonémique, l'enfant doit supprimer le phonème initial de monosyllabes de type CCV, exemple : /fre/ devient /re/.

Les résultats d'une analyse de variance (3 groupes x 3 tâches de segmentation x 2 sessions, avec répétition de mesures pour les deux derniers facteurs) montre une réduction significative du pré-test au post-test de l'écart entre les enfants dyslexiques et le niveau moyen normal (figure 4). La distance entre les enfants dyslexiques et le niveau moyen normal est significativement plus faible dans la tâche d'inversion syllabique que dans les deux autres tâches au pré- comme au post-test. Mais l'importance des progrès ne diffère pas d'une tâche à l'autre (interaction statistique tâches x sessions, statistiquement non significative). La réduction de l'écart ne diffère pas non plus selon la méthode de rééducation (interaction statistique rééducation x session, non significative ; triple interaction statistique rééducation x tâches x sessions, statistiquement non significative).

Figure 4 : Tâches de segmentation. Scores calibrés par rapport au niveau contrôle du pré-test

Efficacité des trois méthodes de rééducation pour la tâche d'acronyme

Dans cette tâche, on fait entendre des paires de mots (exemple : cher Auguste) et l'enfant doit chaque fois produire un nouveau « mot » /cho/ résultant de l'assemblage des phonèmes initiaux des deux mots. Il lui

faut donc segmenter le premier phonème de chaque mot et ensuite les fusionner.

L'analyse de variance (3 groupes x 2 sessions, avec mesures répétées pour le dernier facteur) montre une réduction significative entre pré- et post-test de l'écart entre enfants dyslexiques et le niveau contrôle (figure 5). Les progrès sont du même ordre dans les trois rééducations (interaction statistique rééducation x session, statistiquement non significative).

Figure 5 : Tâche de segmentation : acronymes. Scores calibrés par rapport au niveau contrôle de la session 1

En résumé, on observe des progrès par rapport aux performances de départ des enfants dans les trois méthodes de rééducation et dans toutes les tâches. Aucune différence n'est observée entre les rééducations quelles que soient les tâches.

Rattrapage du niveau normal par les enfants dyslexiques

Dans quelle mesure les enfants dyslexiques rattrapent-ils le niveau moyen normal pour leur âge ? Il s'agit non plus de comparer les performances au niveau normal moyen de la classe de départ en début de rééducation, mais au niveau normal moyen de la classe intégrée en fin de rééducation. Pour répondre à cette question, les scores au pré-test ont été calibrés par rapport au niveau contrôle de la classe lors du pré-test comme dans l'analyse précédente. Les scores au post-test ont été calibrés par rapport au niveau contrôle de la classe intégrée par l'enfant à la fin de la rééducation. Dans ce cadre lorsque les scores calibrés indiquent un progrès, ce progrès est une véritable accélération des acquisitions et non pas seulement un progrès par rapport au

niveau de départ ; s'il y a rattrapage, la pente de progression est plus forte pour l'enfant dyslexique que pour l'enfant normo-lecteur.

Les analyses de variance montrent un progrès significatif dans la répétition immédiate de pseudo-mots. Le progrès est significatif dans deux rééducations, la sémiophonie et la parole modifiée, mais pas dans la méthode de rééducation classique. En revanche, les trois rééducations montrent un progrès significatif dans les tâches de segmentation (inversion syllabique, phonémique, suppression de la consonne initiale dans CCV). Dans la tâche acronyme, aucun progrès n'est observé. Dans les tâches de lecture de mots, aucun progrès n'est significatif. Dans aucune des tâches, on n'observe de différences significatives d'efficacité entre les rééducations.

Le test de l'Alouette qui a servi au départ pour diagnostiquer les enfants dyslexiques fournit un score de lecture (âge de lecture) avant et après rééducation. Si les enfants ont fait des progrès en lecture dans ce test, la différence entre âge réel et âge de lecture devrait diminuer significativement entre le pré- et le post-test. En moyenne, les enfants ont gagné 9,9 mois d'âge de lecture (avec un maximum de gain de 34 mois et un maximum de perte de 2 mois). Lorsque l'écart entre âge de lecture et âge réel est rapporté à la somme de l'âge réel et de l'âge de lecture pour tenir compte de l'âge réel au pré- et au post-test, on constate que l'écart se réduit significativement au post-test par rapport au pré-test, bien que les performances de lecture conservent un retard de 28 mois en moyenne par rapport à l'âge réel.

Dans la mesure où l'étalonnage des épreuves est construite par groupe de deux classes (CE1 et CE2 d'une part, CM1 et CM2 d'autre part), on a aussi examiné les progrès des seuls enfants dont le post-test correspond à un changement de classe (et donc d'étalon) c'est-à-dire ceux qui commencent la rééducation alors qu'ils sont en CE2 et la terminent lors de leur entrée en CM1 en éliminant ceux qui commencent en CE1 et finissent en CE2. Les analyses montrent ici encore un progrès significatif pour la répétition des pseudo-mots, pour les épreuves de segmentation (sauf l'épreuve d'acronymes), et non pour les épreuves de lecture de mots. On peut donc considérer que la tendance observée au « rattrapage » du niveau moyen normal, dans les épreuves ciblées sur le déficit fondamental des enfants avec dyslexie phonologique, est un effet robuste.

Les progrès dans les épreuves de segmentation sont observés aussi bien dans la méthode B qui entraîne plus particulièrement et directement ces aspects, que dans la méthode A qui attire l'attention de l'enfant sur des aspects des sons de parole, mais qui ne fournit ni indices, ni exercices de segmentation proprement dit de la parole (voir plus haut). Par ailleurs, la méthode C (rééducation classique) entraîne l'enfant par quelques exercices de segmentation sans se focaliser seulement sur cette question. On peut donc s'interroger sur ce qui dans la méthode B (parole modifiée) est le facteur efficace. D'autres études ont attribué les progrès des enfants en percep-

tion de la parole à l'entraînement spécifique à la segmentation avec de la parole modifiée. En fait, ces progrès ne sont pas spécifiques de cette méthode.

L'absence de groupe témoin d'enfants dyslexiques non rééduqués ne permet pas de penser que les progrès de rattrapage observés dans les tâches de segmentation ne se seraient pas produits spontanément sans aucune rééducation (en relation avec un processus spontané). On peut cependant considérer les jeunes enfants qui suivent une classe de CE2 en début de rééducation et comparer le niveau de leurs performances après rééducation à celui des performances des enfants en classe de CM1 au début de leur rééducation. Si seul l'effet du développement spontané expliquait le progrès évolutif des enfants dans les tâches de segmentation, les performances des enfants sortant de CE2 après rééducation ne devraient pas être supérieures à celles des enfants entrant en CM1 avant rééducation. Or, les performances des plus jeunes après rééducation sont significativement supérieures à celles des plus âgés avant rééducation (tests non-paramétriques). On ne dispose cependant pas d'un nombre suffisant d'enfants pour comparer les résultats des trois méthodes à cet égard. On peut donc considérer que le développement spontané ne peut être le seul facteur à l'œuvre pour expliquer les progrès observés.

En conclusion, les progrès dans les tâches de segmentation sont des progrès réels attribuables, au moins en partie, aux rééducations. Pourquoi cet effet s'observe-t-il alors dans les trois rééducations, alors que la segmentation phonémique n'est réellement exercée que dans la rééducation B ? Il est possible qu'attirer systématiquement l'attention de l'enfant vers certains aspects auditifs de la parole (aux dépens d'autres aspects auditifs) soit une condition suffisante de progrès. Le fait que les scores évolutifs montrent un progrès en répétition immédiate de pseudo-mots avec les méthodes A et B mais non la méthode C, suggère, en tout cas, que ce caractère systématique et répété de l'attention à certaines propriétés auditives de la parole (même celles éloignées des propriétés intervenant dans les compétences phonologiques) est une condition suffisante pour un progrès dans la répétition immédiate. En revanche, les compétences intervenant dans les tâches de segmentation métaphonologiques semblent sensibles aux trois méthodes de rééducation. Le bénéfice est équivalent entre les trois méthodes, alors qu'elles ne sont équivalentes ni par la nature, ni par le taux d'exercices métaphonologique.

Plusieurs remarques sont essentielles à faire dans cette étude. Tout d'abord, nos résultats montrent que ces progrès ne sont pas exclusivement liés à un entraînement concernant les compétences phonologiques (puisque la méthode A qui est dépourvue d'entraînement phonologique autorise des progrès du même ordre que la méthode B).

Deuxièmement, aucune des méthodes n'aboutit à un rattrapage du niveau normal de lecture. Dans les trois méthodes les enfants progressent par rapport à leur niveau de départ, mais ne réduisent pas l'écart qui les sépare du niveau normal contrairement à ce qui se passe pour les compétences métaphonologiques et pour la mémoire de répétition dans le cas des méthodes A et B.

Troisièmement, aucune différence significative entre méthodes n'est apparue dans aucune des deux procédures de calcul évaluant les progrès (score calibré de base, score calibré évolutif). Par conséquent, dans la période de temps étudiée, aucune des méthodes ne se distingue des autres par ses résultats à l'exception de la méthode C qui ne présente pas de tendance au rattrapage pour la répétition de pseudo-mots.

Quatrièmement, on observe une variabilité interindividuelle considérable dans les performances avant rééducation comme après rééducation. Ce point doit être pris en considération dans les évaluations à venir lors de la constitution des groupes de rééducation différents. Il n'y a pas de solution unique à ce propos ; chaque méthode d'attribution des enfants à une rééducation a des avantages et des inconvénients.

Cinquièmement, comparée aux méthodes A et C, la méthode B obtient, sur une période plus courte des résultats analogues à ceux obtenus par 90 séances réparties sur une période de 9 mois. On peut donc penser qu'une meilleure « gestion » des stratégies rééducatives intensives ne peut avoir que des conséquences favorables pour l'enfant dyslexique.

Enfin, les durées de rééducation utilisées sont très probablement trop courtes comme le suggère le fait qu'on n'observe pas de rattrapage, mais seulement des progrès, dans les niveaux de lecture. Par ailleurs, le post-test réalisé ici est très proche de la fin de la période de rééducation. On ignore dans quelle mesure les progrès observés montreront une stabilité à travers le temps identique pour les trois méthodes.

Il est clair que l'évaluation comparative des méthodes de rééducation exige des moyens financiers considérables pour assurer des échantillons suffisamment grands afin de minimiser le rôle des différences interindividuelles dans les résultats ou bien de les inclure comme objet d'étude, pour assurer des rééducations poursuivies sur une période de deux ans au moins, et assurer des tests et re-tests sur une période de trois ans. En attendant de nouvelles méthodes de rééducation et d'autres évaluations, on peut conclure que les trois méthodes de rééducation étudiées ici sont justifiables. On peut faire quelques suggestions susceptibles d'améliorer leurs résultats. La méthode A pourrait par exemple inclure, à un moment donné de son programme, des exercices portant directement et spécifiquement sur la segmentation de la parole en utilisant la parole ralentie. La prochaine évaluation de la méthode B devrait envisager de ne pas se contenter des exercices de segmentation quitte à rallonger un peu la période de rééducation. La méthode C pourrait

inclure des exercices de parole ralentie. Ces suggestions n'ont de sens que par ce qu'il n'existe pas encore de méthode de rééducation qui se distingue par ses résultats.

Marie-Thérèse Le Normand
Inserm et Service de neurologie pédiatrique, Hôpital Robert Debré

Scania de Schonen
CNRS, Université Paris 5 et Service de neurologie pédiatrique, Hopital Robert Debré

Paul Messerschmitt
Service de Pédopsychiatrie, Hôpital Trousseau

Christophe Levêque
Service de radiologie, Hôpital d'instruction des armées du Val de Grâce

Marielle Genot-Delbecque
Orthophoniste, Hôpital Trousseau

Marie-France Le Heuzey
Service de psychopathologie de l'enfant

Philippe Evrard
Chef du Service de neurologie pédiatrique, Hôpital Robert Debré

BIBLIOGRAPHIE

AGNEW JA, DORN C, EDEN GF. Effect of intensive training on auditory processing and reading skills. *Brain and Language* 2004, **88** : 21-25

ALEXANDER AW, SLINGER-CONSTANT AM. Current status of treatments for dyslexia : critical review. *Journal of Child Neurology* 2004, **19** : 744-758

BARBIER D. Akoustik. CD-ROM PC, Audivimedia, 2003

BELLER I. La sémiophonie. Les troubles du langage. La dyslexie. La rééducation sémiophonique, Maloine, Paris, 1973

BELLER I. La rééducation sémiophonique de la dyslexie développementale. *Approche Neuropsychologie des Apprentissages chez l'enfant* 1994, **29** : 168-179

BISHOP D, ADAMS C, LEHTONEN A, ROSEN S. Effectiveness of computerised spelling training in children with language impairments: a comparison of modified and unmodified speech input. *Journal of Research in Reading* 2005, **28** : 144-157

BISHOP DVM, ADAMS CV, ROSEN S. Resistance of grammatical impairment to computerized comprehension training in children with specific and non-specific language impairments. *International Journal of Language & Communication Disorders* 2006, **41** : 19-40

COHEN W, HODSON A, O'HARE A, BOYLE J, DURRANI T, et coll. Effects of computer-based intervention through acoustically modified speech (Fast ForWord) in severe mixed receptive-expressive language impairment: outcomes from a randomized controlled trial. *J Speech Lang Hear Res* 2005, **48** : 715-729

DE CARA B, PLAZA M. Remédiation des difficultés de la lecture au moyen d'exercices informatisés. *In* : Manuel de neuropsychologie, 3e édition. EUSTACHE F, FAURE S (eds). Dunod, Paris, 2005

DE SCHONEN S, LE NORMAND MT, NÉNERT R, MESSERSCHMITT P, GENOT-DELBECQUE G, et coll. Behavioral and neurofunctional changes after reeducation in children with developmental dyslexia : Comparison between three remediation programs, 17th Conference of the European Academy of Childhood Disability, EADC, Monaco, November 2005: 19-22

EDEN GF, MOATS L. The role of neuroscience in the remediation of students with dyslexia. *Nature Neuroscience* 2002, **5** : 1080-1084

FANT G. Speech sounds and features. MIT Press, Cambridge, Mass, 1973

FRIEL-PATTI S, DESBARRES K, THIBODEAU L. Case studies of children using Fast ForWord. *American Journal of Speech-Language Pathology* 2001a, **10** : 203-215

FRIEL-PATTI S, FROME LOEB D, GILLAM RB. Looking ahead: An introduction to five exploratory studies of Fast Forword. *American Journal of Speech-Language Pathology* 2001b, **10** : 195-202

GILLAM RB. Computer assisted language intervention using Fast Forword: theoretical and empirical considerations for clinical decision-making. *Language Speech and Hearing Services in Schools* 1999, **30** : 363-370

GILLAM RB, CROFFORD JA, GALE MA, HOFFMAN LM. Language change following computer-assisted language instruction with FastForWord. Laureate Learning Systems Software. *American Journal of Speech-Language Pathology* 2001a, **10** : 231-247

GILLAM RB, FROME LOEB D, FRIEL-PATTI S. Looking back: A summary of five exploratory studies of Fast Forword. *American Journal of Speech-Language Pathology* 2001b, **10** : 269-273

HABIB M, ESPESSER R REY V, GIRAUD K, BRUAS P, GRES C. Training dyslexics with acoustically modified speech: evidence of improved phonological performance. *Brain and Cognition* 1999, **40** : 143-146

HABIB M, REY V, DAFFAURE V, CAMPS R, ESPESSER R, et coll. Phonological training in children with dyslexia using temporally modified speech: a three-step pilot inves-

tigation. *International Journal of Language & Communication Disorders* 2002, **37** : 289-308

HOOK PE, MACARUSO P, JONES S. Efficacy of Fast ForWord Training on Facilitating Acquisition of Reading Skills by Children with Reading Difficulties - A Longitudinal Study. *Annals of Dyslexia* 2001, **LI** : 75-96

KAAS GH. The reorganization of sensory and motor maps after injury in adult mammals. *In* : The new Cognitive Neurosciences. GAZZANIGA M (ed). MIT Press, Cambridge, Mass, 2000 : 223-236

LEFAVRAIS P. Manuel du test de l'Alouette : test d'analyse de la lecture et de la dyslexie. ECPA, Paris, 1967

LIBERMAN AM, COOPER FS, SHANKWEILER DP, STUDDERT-KENNEDY M. Perception of the speech code. *Psychological Review* 1967, **74** : 431-461

LLOYD P, NICHOLSON J. Lexiphone therapy: an auditory intervention approach treating dyslexia. *Dyslexia Review* 2003, **14** : 18-22

MAGNAN A, ECALLE J, VEUILLET E, COLLET L. The effects of an audio-visual training program in dyslexic children. *Dyslexia* 2004, **10** : 131-140

MERZENICH MM, JENKINS WM, JOHNSTON P, SCHREINER C, MILLER SL, TALLAL P. Temporal processing deficits of language-learning impaired children ameliorated by training. *Science* 1996, **271** : 77-81

MESSERSCHMITT P, BOITEL I, CHESNEAU A, FLOHIC C, GENOT-DELBECQUE M, et coll. Étude comparative de la méthode sémiophonique et de l'orthophonie traditionnelle chez quarante dyslexiques. *Approche Neuropsychologie des Apprentissages chez l'enfant (A.N.A.E.)* 1994, **26** : 17-24

MOUSTY P, LEYBAERT J, ALEGRIA J, CONTENT A, MORAIS J. BELEC : batterie d'évaluation du langage écrit et de ses troubles. *In* : Évaluer les troubles de la lecture : les nouveaux modèles théoriques et leurs implications diagnostiques. GRÉGOIRE J, PIÉRART B (eds). Bruxelles, De Boeck-Université, 1994 : 127-145

NAGARAJAN SS, WANG X, MERZENICH MM, SCHREINER CE, JOHNSTON P, et coll. Speech modifications algorithms used for training language learning-impaired children. *IEEE Trans Rehabil Eng* 1998, **6** : 257-268

PAULESU E, DEMONET JF, FAZIO F, MCCRORY E, CHANOINE V, et coll. Dyslexia: cultural diversity and biological unity. *Science* 2001, **291** : 2165-2167

POKORNI JL, WORTHINGTON CK, JAMISON PJ. Phonological awareness intervention: Comparison of FastForWord, Earobics, and LiPS. *Journal of Educational Research* 2004, **97** : 147-157

RECANZONE GH. Cerebral cortical plasticity:perception and skill acquistion. *In* : The new Cognitive Neurosciences. GAZZANIGA M (ed). MIT Press, Cambridge, Mass, 2000 : 237-250

SADATO N, PASCUAL-LEONE A, GRAFMAN J, IBANEZ V, DEIBER MP, et coll. Activation of the primary visual cortex by Braille reading in blind subjects. *Nature* 1996, **380** : 526-528

TALLAL P, MILLER SL, BEDI G, BYMA G, WANG X, et coll. Language comprehension in language-learning impaired children improved with acoustically modified speech. *Science* 1996, **271** : 81-83

TALLAL P, MERZENICH MM, MILLER S, JENKINS W. Language learning impairments: integrating basic science, technology, and remediation. *Exp Brain Res* 1998, **123** : 210-219

TAUB E, USWATTE G, ELBERT T. New treatments in neurorehabilitation founded on basic research. *Nature Reviews Neuroscience* 2002, **3** : 228-236

TEMPLE E, DEUTSCH GK, POLDRACK RA, MILLER SL, TALLAL P, et coll. Neural deficits in children with dyslexia ameliorated by behavioral remediation: Evidence from functional MRI. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 2003, **100** : 2860-2865

THIBODEAU LM, FRIEL-PATTI S, BRITT L. Psychoacoustic performance in children completing FastForWord training. *American Journal of Speech Language pathology* 2001, **10** : 248-257

TROIA GA, WHITNEY SD. A close look at the efficacy of Fast ForWord Language for children with academic weaknesses. *Contemporary Educational Psychology* 2003, **28** : 465-494

WECHSLER D. Manuel de l'échelle d'intelligence de Wechsler pour enfants (WISC III). ECPA, Paris, 1996

Exemple de remédiation neurodéveloppementale

La prise en charge thérapeutique des enfants dyslexiques est traditionnellement réalisée par des professionnels, orthophonistes, psychomotriciens, neuropsychologues, selon des modalités et des rythmes de prise en charge volontiers proposés sous la forme de séances bi- ou tri-hebdomadaires de 30 à 45 minutes, s'étalant parfois sur plusieurs années. De même, les remboursements par l'Assurance maladie des rééducations orthophoniques sont généralement calqués sur les habitudes de la profession dans son mode libéral d'exercice, ne laissant pas la possibilité de modalités plus intensives de traitement. Or, les recherches neuroscientifiques fondamentales laissent penser que les effets les plus significatifs sur l'organisation cérébrale sous-jacente aux déficits pourraient avoir lieu pour des interventions plus fréquentes, quotidiennes ou pluriquotidiennes, sur un mode répétitif et intensif et sur de plus brèves périodes.

Au cours des dernières années, des efforts importants ont été consentis par des équipes de recherche pour mettre en évidence l'efficacité de traitements intensifs, tant en termes d'amélioration des déficits cliniquement observables, que d'analyse, à l'aide d'outils de neuro-imagerie, de modifications induites de l'organisation cérébrale (Habib, 2003).

La présente communication résume un série d'études consacrées spécifiquement à l'entraînement des processus phonologiques tant au niveau de l'entrée auditive que de la production, avec pour objectif de cibler le plus finement possible les processus à entraîner et donc la spécificité des effets observés.

L'enjeu, ici, est de proposer des protocoles expérimentaux basés sur une hypothèse précise, en l'occurrence le rôle de l'entraînement phonologique, auditif, ou articulatoire, en contraignant la méthodologie de telle sorte à minimiser l'intervention de facteurs autres que celui ou ceux à étudier. Dans cette optique, le caractère intensif et quotidien, sur une courte période (en général quelques semaines) fournit les meilleures garanties de spécificité, même si, comme nous le verrons, il possède l'inconvénient de ne pas pouvoir garantir l'effet à long terme.

Rappelons enfin le travail de référence dans ce domaine, bien que vivement contesté par certains auteurs, celui publié en 1996 par Tallal et ses collaborateurs. Ces auteurs ont en effet rapporté les résultats sur un groupe d'enfants

souffrant de troubles du langage, d'un entraînement quotidien à l'aide d'un jeu informatique audiovisuel (*Fastforword*®) conçu spécialement pour remédier à un éventuel trouble du traitement auditif que les auteurs postulaient comme causal au trouble d'apprentissage. L'un des inconvénients de *Fastforword* est qu'il utilise un programme informatisé sous forme de jeu vidéo interactif, dont de nombreuses caractéristiques peuvent contribuer à l'éventuelle efficacité. Les résultats de cette méthode, de même que leurs évidentes limites, ont été largement commentés ailleurs dans cet ouvrage, nous n'y reviendrons pas en détail. Précisons seulement que ce travail a eu clairement le mérite d'ouvrir une nouvelle voie de recherche qui s'avère chaque année un peu plus fructueuse : celle de la remédiation neurodéveloppementale.

Une application francophone du principe de modification temporelle de la parole

À la suite des travaux de Tallal et coll. (1996), Habib et coll. (1999 et 2002) ont proposé d'adapter la méthode d'entraînement intensif à caractère temporel sous une modalité à la fois compatible avec la langue française et plus spécifiquement dévolue à la modalité auditive. Ainsi, ces auteurs ont-ils réalisé une série d'exercices de manipulation phonologique dans lesquels les enregistrements de mots étaient acoustiquement modifiés, selon une méthode très similaire à celle utilisée dans *Fastforword*. Les exercices quotidiens étaient enregistrés sur un support audio (CD), sous forme de séries de mots parmi lesquels l'enfant devait effectuer des appariements en fonction de la présence ou non d'une syllabe ou d'un phonème (par exemple : « quel est l'intrus entre « sapin/lapin/crayon » ? Ou encore, « quel est le mot qui ne commence pas par le même premier son : bateau/bougie/camion »). À l'instar de la méthode Tallal, ce matériel verbal était modifié acoustiquement de telle sorte que la durée des éléments rapides par ailleurs amplifiés proportionnellement, variait progressivement de 200 (durée double de la parole normale) à 100 % (parole non modifiée). Mais à la différence de *Fastforword*, la méthode est ici purement auditive, permettant d'isoler au mieux les mécanismes d'une éventuelle amélioration des déficits (contrairement à la présentation sous forme de jeu audiovisuel chez Tallal et coll., 1996).

Dans une première étude pilote, Habib et coll. (1999) ont soumis 12 enfants souffrant de dyslexie phonologique à un entraînement quotidien comportant des exercices de ce type, la moitié d'entre eux recevant de la parole ralentie et l'autre moitié de la parole non modifiée. L'entraînement se déroulait sur 5 semaines successives, chaque enfant étant en tête à tête avec l'orthophoniste pour ses exercices quotidiens, d'une durée de

40 minutes environ. Divers tests furent pratiqués avant tout entraînement, juste après la fin des 5 semaines d'entraînement puis un mois après la fin de ceux-ci (sans aucune autre rééducation durant cette dernière période d'un mois). Les mesures réalisées le furent sur trois types d'indices : d'une part la performance quotidienne sur les exercices eux-mêmes, d'autre part la performance à des épreuves phonologiques autres que celles entraînées, enfin diverses épreuves de langage oral et écrit. La première de ces mesures a été la seule à démontrer un effet spécifique de la modification temporelle, appréciée par une analyse de variance à mesures répétées jour après jour, analyse qui s'est avérée très significative, confirmant la supériorité de la parole ralentie. Globalement, le gain mesuré entre le premier jour et le dernier jour d'entraînement en faveur du groupe recevant de la parole modifiée fut de l'ordre de 15 %, avec un maintien de ce bénéfice après un intervalle libre d'un mois (figure 1). Parmi les épreuves non entraînées, il fut observé une amélioration très significative de la totalité de la population sur pratiquement tous les tests réalisés (phonologie, langage oral et écrit). Ainsi, de ce travail préliminaire, deux conclusions purent être tirées : d'une part le caractère limité et non généralisable de l'avantage de la parole temporellement modifiée et d'autre part, sans doute le résultat le plus spectaculaire, une amélioration très significative des deux groupes dans de nombreuses épreuves de langage, en particulier en lecture et en orthographe, confirmant ainsi l'intérêt d'un entraînement purement phonologique dans la récupération du langage écrit chez le dyslexique. Ainsi, au test classique de l'Alouette, les 12 enfants pris dans leur ensemble amélioraient très significativement leur performance, passant d'un âge de lecture moyen de 56 mois à un âge moyen de 52 mois, soit un gain de plus de 5 mois d'âge de lecture (compte-tenu des 6 semaines séparant les deux mesures). En d'autres termes, entraîner tous les jours des enfants dyslexiques par des exercices répétitifs ne portant que sur l'écoute attentive, sans feed-back particulier, de mots sur lesquels l'enfant doit réaliser une manipulation mentale du contenu phonologique, suffit à améliorer très significativement leurs performances en lecture.

Les conditions de cette étude, tout-à-fait privilégiées, tiraient parti de la collaboration d'une école spécialisée (« Les Lavandes ») qui a accepté de participer au recrutement et de modifier profondément l'emploi du temps de douze de ses pensionnaires durant la période de tests et d'entraînement. À la suite de ce travail préliminaire, la même équipe (Habib et coll., 2002) a utilisé le même matériel d'entraînement sur deux populations d'enfants dyslexiques dans le but spécifique de confirmer son efficacité sur une population plus vaste et surtout dans des conditions plus écologiques, à savoir en partie au cabinet de l'orthophoniste, en lieu et place de certaines rééducations, en partie au domicile sous le contrôle des parents, spécifiquement instruits à cet effet. Le matériel, qui se présente sous forme de CD dont chaque piste, numérotée, correspond à une journée de traitement, est alors fourni aux

parents avec une paire d'écouteurs HF et une fiche de réponse sur laquelle ils doivent, sans intervenir activement, noter la réponse de l'enfant.

La quantité d'exercices quotidiens a été ramenée à une durée de 20 minutes environ et chaque semaine les fiches de réponses sont recueillies afin d'assurer le suivi de l'étude. Cinquante deux enfants dyslexiques (29 dans une première étude, 23 dans une seconde), âgés de 7,3 à 12,3 ans, ont ainsi été sélectionnés et traités de la même manière que pour l'expérience précédente, à l'exception près que tous recevaient le même matériel acoustiquement modifié. Par conséquent, les résultats ne pouvaient informer que sur l'effet global de l'entraînement, sans dissocier l'effet d'un exercice phonologique quotidien de celui du ralentissement de la parole. Globalement, les résultats furent très similaires à ceux obtenus par la population dans son ensemble dans la première étude : environ 15 % de gain sur les tâches phonologiques, mais une généralisation seulement partielle aux tâches de lecture, la lecture de pseudo-mots semblant ici la seule à être significativement améliorée (figure 2), peut-être en raison d'un effet plafond, les listes de mots étant relativement courtes et aisées pour des enfants ayant déjà en partie récupéré de leur dyslexie.

Figure 1 : Performances (réponses correctes) des deux groupes de dyslexiques, comparées à un groupe témoin non dyslexique, avant, juste après et un mois après un entraînement phonologique quotidien comportant des mots enregistrés avec de la parole normale (PLAC) ou modifiée dans le sens d'un ralentissement des transitions formantiques (EXP)

** Seul le groupe EXP atteint le niveau des sujets témoins, après entraînement, avec persistance de l'effet un mois après la fin de l'entraînement. Ces performances ont été recueillies à l'aide de tâches phonologiques identiques à celles entraînées. Pour d'autres tâches, comme les tâches de lecture et d'orthographe, l'amélioration est également très significative mais sans différence entre les deux groupes, suggérant que l'effet est alors attribuable à des facteurs autres que les caractéristiques temporelles du stimulus de parole.

Figure 2 : Performances (réponses correctes) en lecture de pseudo-mots (/20), de mots réguliers (/10) et de mots irréguliers (/10) chez 26 enfants dyslexiques avant et après 6 semaines d'entraînement temporo-phonologique réalisé dans des conditions écologiques (cabinet de l'orthophoniste et à domicile avec les parents). Amélioration significative seulement en lecture de pseudo-mots.

Entraînements articulatoires dans la dyslexie

Les entraînements articulatoires reposent sur un ensemble de données expérimentales visant à relier les troubles phonologiques à un déficit de la boucle audio-articulatoire (Montgomery, 1981 ; Heilman et coll., 1996), et ce en se basant sur divers cadres théoriques (comme la théorie motrice de la perception de la parole de Liberman et Mattingly, 1985 ; ou la théorie cérébelleuse de Nicolson et coll., 2001).

Alexander et coll. (1991) ont les premiers mené une étude sur dix enfants dyslexiques soumis à une série de tests préliminaires montrant qu'ils présentaient un déficit marqué dans des épreuves ayant trait à la conscience phonologique. Ces enfants ont ensuite été entraînés selon un programme visant à leur faire prendre mieux conscience des mouvements articulatoires dans la production des sons de la parole. Ce programme se fondait sur les informations proprioceptives et tactiles en provenance des articulateurs, sur les informations visuelles apportées par un miroir placé en face du sujet de façon à lui permettre de voir sa bouche lorsqu'il parlait, et sur le feed-back auditif. Ainsi, lorsque le sujet produisait un « b », l'expérimentateur attirait

son attention sur le fait que ce phonème est produit grâce à un mouvement rapide de fermeture/ouverture des lèvres. Chaque phonème était en outre désigné par un nom destiné à souligner les caractéristiques des mouvements articulatoires associés à ce phonème. Les occlusives bilabiales étaient ainsi appelées des « *lip poppers* ». Les sujets apprenaient également à identifier parmi un ensemble de planches articulatoires celle qui représentait le mieux la forme du conduit vocal dans la production d'un phonème prédéterminé. Après entraînement, les enfants ont montré une amélioration notable de leurs performances dans les tests de conscience phonologique.

L'une des études les plus complètes concernant l'effet d'un entraînement articulatoire chez le dyslexique est celle de Wise et coll. (1997 et 1999). Dans une première publication (Wise et coll., 1997), ces auteurs rapportent une étude pilote ayant pour objectif de séparer l'effet d'un entraînement phonologique de celui d'un entraînement de la « conscience articulatoire ». Les enfants recevaient par petits groupes, soit un entraînement à la conscience phonologique (N=17), sans travail explicite sur l'articulation, soit un travail de lecture, de manipulation lettres/phonèmes et de conscience articulatoire. Après 60 demi-heures d'entraînement étalées sur 5 mois, le gain était très net mais sans différence entre les deux groupes, hormis une tendance non significative à un effet plus clair chez les enfants ayant le trouble phonologique le plus sévère. Un des problèmes de cette étude était que, pour rendre les durées d'entraînement équivalentes dans les deux groupes, le groupe phonologique pur recevait un travail non spécifique de lecture et d'écriture plus long que le groupe articulatoire, ce qui pouvait réaliser un biais non contrôlé. Dans leur deuxième étude (Wise et coll., 1999), les auteurs ont étudié 153 enfants des 2e à 5e grades (CE1 à CM2) définis comme les 10 % plus faibles en lecture de leur tranche d'âge à intelligence équivalente. Quatre groupes ont été réalisés : un premier (N=43) recevait un entraînement articulatoire seul, où on apprenait aux enfants, face à un miroir et par palpation du visage et du cou, à découvrir les mouvements articulatoires correspondant à la production des différents sons de la parole. Des vignettes comportant des dessins des mouvements nécessaires à la réalisation des sons étaient présentées par paires (sibilantes « s » et « z » ; bilabiales « p » et « b »…). De même pour les voyelles, les enfants apprenaient à représenter chaque son sur un dessin figurant l'ouverture de la bouche et la position de la langue dans la bouche. Un deuxième groupe (N=42) recevait seulement des exercices de manipulation de sons, c'est-à-dire divers exercices de comptage, suppression, échange de phonèmes, de rimes et de syllabes, avec un support de carrés ou de cubes représentant les sons de mots courts (très nombreux en anglais), et en utilisant le principe d'un « mot-clé » servant de référence pour chaque son, associé à un dessin figuratif auquel se référer pour associer un son donné. Un troisième groupe (N=37) recevait un entraînement combiné (articulatoire et manipulation de sons), mais selon un protocole de durée égale aux deux autres groupes, grâce à un programme informatisé (Marvin)

où le personnage apparaît sur l'écran avec une bouche animée prononçant des pseudo-mots imprimés sur l'écran. Les sujets devaient décider si la prononciation de Marvin est correcte ou pas. Enfin, un groupe témoin (N=31) ne recevait aucune instruction particulière d'ordre phonologique ou articulatoire. Ici encore, un biais important est réalisé par le fait que le groupe articulatoire seul, pour pouvoir être aligné en durée de rééducation avec les autres groupes, passait significativement plus de temps sur une tâche informatisée de lecture où le sujet lisait sur l'ordinateur un texte de son choix, avec la possibilité de pointer les mots difficiles que l'ordinateur va alors présenter sous forme segmentée et le « prononcer » oralement.

Les résultats les plus importants de cette vaste étude sont :
- aucune différence entre les conditions combinées et manipulation de sons, suggérant l'absence d'effet additif des deux approches ;
- très peu de différences entre manipulation et articulation seule, suggérant que l'articulation est aussi efficace que la manipulation pour développer la conscience phonologique ;
- seules deux tâches de conscience phonologique étaient significativement mieux réalisées par le groupe manipulation, avec une différence par rapport aux autres groupes qui persistait 10 mois après.

Toutefois, cet avantage ne se généralisait absolument pas aux autres tâches, en particulier de lecture, ni à la fin de l'entraînement, ni 10 mois plus tard. En outre, les auteurs s'attendaient à ce que l'entraînement articulatoire soit d'autant plus efficace que le trouble phonologique initial était plus prononcé, mais cela ne fut pas le cas. Le seul effet sur le langage écrit, paradoxalement, était obtenu avec le groupe articulatoire seul qui était finalement meilleur sur une tâche de codage orthographique (distinguer entre un mot correctement orthographié et son pseudo-homophone : « *rain-rane* »), résultat que les auteurs expliquent par le temps supplémentaire passé sur la tâche de lecture informatisée par les enfants de ce groupe. Finalement, on retiendra de cette étude que l'adjonction d'une composante d'entraînement articulatoire ne semble pas apporter de bénéfice particulier par rapport à un entraînement phonologique seul. Toutefois, l'effort méthodologique considérable réalisé pour rendre équivalents les temps passés en rééducation aura paradoxalement nuit à la mise en évidence de différences. Un autre facteur possible pourrait être le mode de sélection des enfants dits « en difficulté de lecture », représentant les 10 % moins bons de leur tranche d'âge, mode de sélection certainement moins spécifique qu'un recrutement clinique, incluant en particulier la présence ou non d'antécédents de troubles du langage oral, facteur évidemment important quand on étudie les liens entre production et manipulation phonologique. À cet égard, une étude réalisée sur des enfants plus jeunes avec trouble de la production phonologique (Hesketh et coll., 2000) n'a pas non plus montré de différence selon que ces enfants recevaient un entraînement métaphonologique (10 séances à raison d'une par semaine) ou un entraînement articulatoire (mais il ne s'agissait à

cet âge que de tâches visant à améliorer la production, et non de tâches de conscience articulatoire, comme dans le travail précédent). Enfin, les auteurs ne présentent malheureusement pas le devenir de ces enfants lors de l'apprentissage de la lecture, ce qui aurait évidemment été intéressant.

Dans le même ordre d'idées, Mercier et coll. (2002) ont proposé à 19 enfants dyslexiques soigneusement sélectionnés parmi la clientèle d'orthophonistes appartenant à un réseau de soins spécialisé, un entraînement phono-articulatoire selon un schéma expérimental destiné à éviter les biais rencontrés dans les études précédentes (tableau I).

Les enfants, âgés de 9 à 12 ans ont été répartis en deux groupes : le groupe 1 recevait un entraînement phonologique quotidien (identique à celui réalisé dans Habib et coll., 2002) durant deux périodes de trois semaines auquel était associé un entraînement articulatoire pendant la première période seulement. Pour le groupe 2, les deux types d'entraînement étaient proposés dans l'ordre inverse (auditif seul les trois premières semaines, auditif et articulatoire les trois semaines suivantes).

Tableau I : Schéma expérimental de l'entraînement phono-articulatoire de Mercier et coll. (2002)

	Groupe 1	Groupe 2
Session 1 (semaines 1-3)	Phonologie+ Articulation	Phonologie
Session 2 (semaines 4-6)	Phonologie	Phonologie+ Articulation

L'entraînement articulatoire, assez similaire à celui réalisé par Wise et coll. (1999), consistait en des séances bi-hebdomadaires de 20 à 30 minutes destinées à renforcer, grâce à un support graphique, tactile et auditif, la conscience articulatoire lors de la production de phonèmes proches, en se concentrant sur les occlusives du système phonétique français. Chaque séance se déroulait de manière similaire : l'enfant réalise d'abord le phonème face à un miroir afin de prendre conscience de la position de ses lèvres lors de sa production orale. En outre, il doit placer sa main sur son cou afin d'avoir un feed-back tactile et ensuite verbaliser les sensations proprioceptives et kinesthésiques qui accompagnent la prononciation du phonème. Cette première étape est réalisée successivement pour le phonème voisé et le phonème non voisé d'une même paire. Puis l'enfant est exercé à associer chaque occlusive à un schéma comportant une coupe sagittale du visage représentant de manière très simplifiée la position des lèvres, de la langue, des dents et du palais lors de la production du phonème cible. La présence (ou l'absence) de voisement est également représentée par un trait vert et droit pour les sons non voisés, un trait ondulé et rouge pour les sons voisés. Enfin, l'enfant apprend à associer un mot contenant le phonème appris avec

le schéma correspondant à l'aide de paires de paronymes (palais/balais, touche/douche) variant d'une séance à l'autre. La partie auditive de cette thérapie utilisait un logiciel ludique de reconnaissance de la parole du commerce (*Speechviewer* III® IBM), en utilisant 5 de ses fonctionnalités (contrôle du voisement, contrôle d'un phonème, contrôle d'une chaîne de phonèmes, contrôle de deux phonèmes, et contrôle de quatre phonèmes).

Des tests de lecture, de conscience phonologique, de dictée et de répétition de mots ont été réalisés avant l'entraînement et après chacune des deux périodes de trois semaines.

Les résultats (traités par analyse de variance à mesures répétées, test de Wilcoxon et analyse des corrélations) confirment l'effet bénéfique de l'entraînement phonologique sur les différentes habiletés déficitaires chez les enfants dyslexiques, tout particulièrement les tâches phonologiques (figure 3). L'effet bénéfique est également montré sur la lecture (figure 4) et la dictée de pseudo-mots.

Alors que les deux groupes améliorent significativement leur performance entre le début et la fin de l'entraînement, les périodes où les deux méthodes sont combinées donnent lieu à une amélioration plus nette (figure 3). Les deux groupes s'améliorent de manière similaire tout au long de la période d'entraînement (figure 4).

Figure 3 : Performances en conscience phonologique (score/13) des deux groupes de dyslexiques

Groupe 1 recevant en première période l'association de l'entraînement articulatoire et phonologique et en seconde période seulement l'entraînement phonologique ; Groupe 2 : succession inverse. La ligne du milieu représente la moyenne des deux groupes ; E1 : avant entraînement ; E2 : 3e semaine après entraînement ; E3 : 6e semaine après entraînement n.s : non significatif ; * : significatif

Figure 4 : Performance en lecture des groupes 1 et 2 et performance moyenne des deux groupes

Ligne centrale en lecture de pseudo-mots et de mots (en pourcentage du nombre total de mots) ; E1 : avant entraînement ; E2 : 3e semaine après entraînement ; E3 : 6e semaine après entraînement

n.s : non significatif ; * : significatif

Par ailleurs, la comparaison des performances des deux groupes suggère une accentuation de l'effet lors des périodes avec entraînement articulatoire tout particulièrement sur les tâches de conscience phonologique et de dictée. Enfin, pour les deux groupes confondus, l'amélioration finale en conscience phonologique était corrélée au degré d'amélioration sur les tâches purement articulatoires (répétition de mots).

D'un point de vue méthodologique, la supériorité de cette étude par rapport au travail de Wise et coll. (1999) réside dans le fait que, bien que les deux périodes ne soient pas égalisées quant à la quantité d'entraînement reçu par chaque enfant, cet inconvénient est compensé par le contrebalancement des deux périodes pour chaque enfant. Concernant l'effet sur la lecture (figure 4), il semble que l'amélioration très significative observée soit comparable à ce qui a été retrouvé par la même équipe lors d'études préalables après entraînement purement phonologique (Habib et coll., 1999 et 2002).

En définitive, l'adjonction d'un entraînement articulatoire à l'entraînement phonologique classique semble accélérer la récupération du déficit phonologique, mais sans influence spécifique sur la lecture de pseudo-mots, pourtant réputée explorer les mécanismes phonologiques présumés déficitaires en lecture.

Entraînement phonologique et intermodalitaire

Kujala et coll. (2001) ont sélectionné 48 enfants dyslexiques de 7 ans ; par tirage au sort, 24 de ces enfants ont reçu un entraînement spécifique et 24 ont été considérés comme groupe témoin. L'entraînement du groupe expérimental consistait en la pratique durant dix minutes deux fois par semaine, et ce sur 7 semaines, d'un jeu vidéo dont le principe était basé sur l'apprentissage d'une association entre des sons ayant différentes caractéristiques (de durée, d'intensité ou de hauteur) et une représentation graphique de ces sons (sous la forme de traits de taille, épaisseur et position différente). Un tel entraînement consistait donc à exercer spécifiquement la transcription auditivo-graphique sans utiliser aucun élément linguistique, ni auditif, ni visuel. Enfin, une partie des enfants ainsi entraînés ont également reçu un enregistrement des potentiels évoqués auditifs selon le paradigme déjà cité de la *Mismatch Negativity* (MMN). Les résultats de cette étude furent tout à fait probants puisque les enfants du groupe expérimental différaient significativement de ceux du groupe témoin sur des tâches de lecture de mots, et seulement lors de l'évaluation post-entraînement audiovisuel. Par ailleurs, dans le groupe expérimental, les potentiels évoqués ont montré une augmentation d'amplitude entre le premier et le second enregistrement, suggérant que l'entraînement ait modifié l'organisation cérébrale sous-jacente aux processus, probablement corticaux, de discrimination auditive. Les auteurs insistent sur le fait que leurs résultats ne sont pas en faveur de la nature temporelle du trouble auditif central, puisque l'amélioration a été obtenue à un niveau cortical très élémentaire sans que les exercices ne fassent appel à du matériel acoustiquement modifié, comme dans les travaux de l'équipe Tallal-Merzenich. Enfin, ils conviennent de la nécessité, dans des travaux ultérieurs, d'un groupe contrôle recevant un entraînement d'autre nature pour que la comparaison soit vraiment pertinente.

Se basant sur ce travail, Santos et coll. (2006) ont récemment proposé à 26 enfants dyslexiques, âgés de 7 ans et 7 mois à 11 ans et 10 mois, un protocole d'entraînement phonologique utilisant le matériel décrit précédemment, mais comportant uniquement de la parole non modifiée, de façon à éviter la confusion de plusieurs facteurs dans l'analyse de l'effet observé. Ces enfants étaient séparés en deux groupes, le premier recevant un entraînement visuel non spécifique associé à l'entraînement phonologique, le second un entraînement qualifié d'intermodal, reposant sur l'association de phonèmes à discriminer avec un stimulus visuel, à l'instar de Kujala et coll. (2001). Pour ce faire, les auteurs ont utilisé un matériel extrait du logiciel Play-on® (« jeu de basket »), déjà utilisé par Magnan et coll. (2004), où les sujets sont placés devant un écran d'ordinateur et équipés d'écouteurs dans lesquels sont adressés de manière aléatoire l'un ou l'autre de deux exemplaires d'une paire de syllabes phonologiquement proches. Ils doivent décider le

plus rapidement possible, en appuyant sur une touche de l'ordinateur, de diriger une balle apparaissant sur l'écran en même temps que le stimulus auditif vers un des deux paniers situés de chaque côté de l'écran. Cet apprentissage visuo-auditivo-moteur réalise donc typiquement un entraînement multimodalitaire.

Chacun des deux groupes recevait les deux traitements en deux périodes, l'une de trois semaines où les deux traitements étaient associés, l'autre, de trois semaines également, avec seulement l'entraînement phonologique. Ainsi, chaque groupe recevait une quantité équivalente de rééducation, avec une partie commune (6 semaines d'entraînement phonologique) et une partie différente (3 semaines d'entraînement intermodal pour l'un, visuel pour l'autre), l'entraînement visuel n'ayant a priori pas vocation à provoquer un effet mesurable (situation contrôle).

Les résultats (figure 5) ont montré une amélioration significative dans les deux groupes, tant pour la lecture que pour un score phonologique composite, suggérant que l'adjonction d'un traitement intermodal n'a pas apporté d'efficacité supplémentaire au traitement phonologique. En revanche, dans plusieurs épreuves de transcription (dictée de pseudo-mots et dictée de texte), seul le groupe ayant reçu l'entraînement intermodal présente une amélioration significative (figure 6).

Figure 5 : Performances des sujets avant et après entraînement
En clair : groupe phonologique seul ; En grisé : groupe recevant l'association des deux entraînements ; n.s : non significatif ; *** : significatif

Figure 6 : Nombre d'erreurs dans une épreuve orthographique (dictée de texte)

L'amélioration n'est significative que pour le groupe ayant reçu l'entraînement intermodal en plus du traitement phonologique classique (en grisé, comparé au groupe phonologique seul (en clair) (effet session : non significatif ; interaction groupe x session : significative) ; n.s : non significatif ; *** : significatif

Cette étude confirme donc d'abord, une fois de plus, l'efficacité remarquable d'un entraînement phonologique intensif et quotidien, sur une relativement brève période. Elle suggère en outre que pour la lecture et la phonologie, l'adjonction d'un entraînement intermodal, sensé renforcer les processus de transcodage intermodalitaires, connus pour être spécifiquement altérés en début d'apprentissage chez le dyslexique, n'apporte pas de gain particulier. En revanche, pour les processus de transcription phono-graphémique (dictée à voix haute), le gain est significatif. En d'autres termes, il semble que contrairement à l'adjonction d'un entraînement articulatoire, qui possède un effet modeste mais cumulatif avec celui de l'entraînement phonologique, l'entraînement intermodal s'adresse à des mécanismes distincts de l'entraînement phonologique, complémentaires de ce dernier. Ce résultat confirme donc partiellement ceux obtenus par Magnan et coll. (2004) qui, utilisant le même outil (Play-on®), améliorent significativement les performances de leurs dyslexiques dans une tâche de reconnaissance orthographique. Sans spéculer plus avant sur la nature de ces mécanismes, on peut toutefois remarquer que ce type d'exercices mettant en jeu à la fois la discrimination auditive de phonèmes et leur association avec un indice sensori-moteur, véritable transcodage intermodalitaire, vise un mécanisme qui pourrait être complémentaire de celui des exercices phonologiques classiques, essentiellement basés, quant à eux, sur le travail des processus de segmentation sonore. Ainsi, contraire-

ment à l'entraînement phonologique qui améliore spécifiquement les capacités en lecture, entraîner les dyslexiques tout à la fois à discriminer des phonèmes et à les associer à une réponse visuo-motrice pourrait influer positivement et spécifiquement sur leurs aptitudes orthographiques.

Enfin, à l'instar du travail de Kujala et coll. sus-cité, les auteurs ont réalisé un examen de l'activité électrique cérébrale par la méthode des potentiels évoqués, dans le but de rechercher des concomittants cérébraux à l'amélioration constatée cliniquement. De fait, des anomalies détectées avant entraînement lors de la stimulation auditive disparaissent après entraînement (Santos et coll., 2006), suggérant que l'entraînement a modifié le traitement cérébral des stimuli auditifs. La persistance ou non de cet effet à plus long terme reste cependant à déterminer.

En conclusion, il apparaît à présent possible de dégager quelques idées générales potentiellement utiles à la réflexion du thérapeute sur la mise en place, dans chaque cas, d'un traitement à base théorique (*theory-based*), ce qui a fait jusqu'à présent cruellement défaut en matière de dyslexie.

En premier lieu, il convient de discuter la forme générale que peuvent prendre les actions thérapeutiques basées sur les données présentées ici. D'un point de vue tout d'abord de la durée et de la fréquence des interventions, le caractère intensif et quotidien des interventions paraît aujourd'hui amplement souhaitable. Mais il faut admettre que dans les différents travaux ci-dessus, la principale justification du caractère intensif est la nécessité, liée aux contraintes de tout travail de recherche, d'optimiser les chances de mettre en évidence un effet significatif, dans la mesure où des traitements plus longs ou moins intensifs augmenteraient le risque d'interférence avec des facteurs confondants d'autre nature. Des durées de traitement de 5 à 6 semaines, avec intervention quotidienne, voire pluri-quotidienne, semblent ainsi, pour des raisons à la fois expérimentales et cliniques, les plus à même de satisfaire aux exigences de telles recherches. En revanche, rien ne prouve que des périodes plus longues ou des traitements moins intensifs ne puissent pas être aussi efficaces, mais cela serait difficile à prouver scientifiquement. La médiation d'outils standardisés, qu'il s'agisse de jeux vidéos ou d'enregistrements audios, apparaît une nécessité, cette fois non seulement pour la recherche, mais même en pratique clinique dans la mesure où il est indispensable de pouvoir contrôler la qualité et la quantité des informations qui sont adressées au sujet durant les séances d'entraînement. Des outils de type crayon-papier, tels que classiquement utilisés en rééducation orthophonique, restent de mise, surtout dans le but de maintenir la qualité de la relation patient-thérapeute, mais ne peuvent plus à l'heure actuelle constituer le principal de la rééducation, au risque de laisser l'évaluateur dans le flou quant aux raisons de l'efficacité ou non de son action.

Concernant à présent le contenu même de l'entraînement, ce qui est, bien entendu, l'objectif principal des recherches décrites ci-dessus, les données

actuelles n'incitent pas à proposer, du moins de manière systématique, des exercices contenant de la parole artificiellement ralentie, le bénéfice par rapport à la parole normale étant bien peu documenté. En revanche, il paraît aujourd'hui incontournable de proposer des exercices de conscience phonologique diversifiés dans les processus visés, même si leur forme, pour les raisons évoquées ci-dessus, sera nécessairement plutôt monotone. L'avantage d'outils pré-enregistrés, outre le fait qu'ils exercent spécifiquement l'entrée auditive, est qu'ils permettent de réaliser une progression dans la difficulté des exercices, et éventuellement d'adapter ces exercices à chaque cas en fonction de l'âge, par exemple, ou encore de la sévérité du déficit phonologique. Un autre avantage de ce type d'approche est qu'il vise spécifiquement un certain type de processus, permettant l'utilisation d'autres outils pour d'autres objectifs, sans risque de chevauchement ou de double emploi. Par exemple, il est plus rationnel de séparer les périodes d'entraînement phonologique de celles d'entraînement de la fluidité de la lecture, qui reposent sur des processus totalement distincts. En revanche, l'alternance rapprochée de périodes phonologiques et intermodalitaires paraît plus plausible, dans la mesure où les arguments sont nombreux en faveur d'une potentialisation entre les deux types de processus, l'idée étant que le bénéfice apporté par un renforcement des processus métaphonologiques ne sera optimal que s'il est directement appliqué aux actes de lecture et d'écriture. Tel enfant qui avait largement amélioré ses capacités de segmentation après quelques semaines d'entraînement phonologique déclarait, comme une révélation : « mais alors, je peux faire la même chose quand je lis et quand j'écris ? ». Il est clair que la remise en place d'un système phonologique efficace ne prend tout son intérêt que si elle s'accompagne d'un progrès visible dans les processus de décodage et de transcodage.

Une autre condition d'efficacité est sans doute, comme souvent en rééducation neuropsychologique, la nécessité d'adapter le type de traitement à chaque profil individuel de déficit. Sans aborder ici la question des dyslexies visuelles, traitée par ailleurs dans cet ouvrage, il est clair que parmi les dyslexies phonologiques, celles s'accompagnant par exemple de troubles articulatoires pourraient tirer le maximum de bénéfice d'un entraînement de la conscience articulatoire à l'aide de support visuel et tactile, comme cela a été décrit plus haut. Des travaux récents semblent également démontrer qu'un traitement portant exclusivement sur la discrimination auditive, sans composante de segmentation ou de manipulation phonémique, est capable d'avoir un effet propre sur l'acquisition de la lecture (Hayes et coll., 2003 ; Hatcher et coll., 2004). De même, la sévérité d'un trouble visuo-spatial associé débouchera sur une prise en compte de ces aspects, y compris sous la forme d'un travail de psychomotricité, même si les travaux, dans ce domaine, font spécifiquement défaut.

Il reste à envisager la question de l'environnement idéal de ces entraînements intensifs. Les études scientifiques sont souvent réalisées dans des

milieux privilégiés, tels que des établissements spécialisés ou des structures hospitalières. Mais cela ne peut évidemment pas être le cas de la majorité des enfants souffrant de ces troubles. En théorie, l'école pourrait être le lieu approprié pour la réalisation d'interventions quotidiennes, en favorisant la prise en charge de petits groupes, voire en individuel. Toutefois, ce type de prise en charge se heurte à un manque de personnel (Rased, réseau d'aide spécialisée aux élèves en difficulté, enseignants spécialisés) faisant que l'on donne volontiers la préférence à des pratiques mixtes, chez l'orthophoniste deux à trois fois par semaine, et au domicile le reste du temps, ce qui présume évidemment d'une participation active et fiable de la part des parents, ce qui ne peut pas être toujours obtenu. L'idéal serait la création de structures scolaires spécialisées, telles que des CLIS (classes d'intégration scolaire) à petit effectif, où les enfants sont une partie du temps dans leur classe de niveau, et le reste du temps dans la classe spéciale, où ils reçoivent à la fois l'instruction dans les domaines déficitaires et éventuellement les remédiations adaptées à chaque cas. L'avantage de cette formule, si elle est réalisée dans le cadre de réseaux multidisciplinaires, est de permettre au thérapeute (orthophonistes, neuropsychologues, psychomotriciens…) de se concentrer sur le travail spécifiquement rééducatif et l'évaluation, alors que la partie plus instrumentalisée et à caractère répétitif se fait dans l'école.

Enfin, outre l'élargissement de la recherche à d'autres domaines déficitaires, les travaux décrits ci-dessus pourraient utilement se prolonger par des études à visée épidémiologique et préventive, impliquant ici encore la structure scolaire, dans le cadre de recherches-actions mettant en jeu des équipes mixtes, éducatives et scientifiques, voie privilégiée vers une meilleure communication et un partage encore plus aisé des informations entre les deux domaines de compétences.

Michel Habib

Service de neurologie pédiatrique,
Hôpital des enfants de la Timone, Marseille

BIBLIOGRAPHIE

ALEXANDER AW, ANDERSEN HG, HEILMAN PC, VOELLER KKS, TORGESEN JK. Phonological awareness training and remediation of analytic decoding deficits in a group of severe dyslexics. *Annals of Dyslexia* 1991, **41** : 193–206

HABIB M. Rewiring the dyslexic brain. *Trends in Cognitive Sciences (TICS)* 2003, **7** : 330-333

HABIB M, ESPESSER R, REY V, GIRAUD K, BRUAS P, GRES C. Training dyslexics with acoustically modified speech: evidence of improved phonological performance. *Brain & Cognition* 1999, **40** : 143-146

HABIB M, REY V, DAFFAURE V, CAMPS R, ESPESSER R, DÉMONET JF. Phonological training in dyslexics using temporally modified speech: A three-step pilot investigation. *International Journal of Language & Communication Disorders* 2002, **37** : 289-308

HATCHER PJ, HULME C, SNOWLING MJ. Explicit phoneme training combined with phonic reading instruction helps young children at risk of reading failure. *Journal of Child Psychology and Psychiatry* 2004, **45** : 338–358

HAYES EA, WARRIER CM, NICOL TG, ZECKER SG, KRAUS N. Neural plasticity following auditory training in children with learning problems. *Clin Neurophysiol* 2003, **114** : 673–684

HEILMAN KM, VOELLER K, ALEXANDER AW. Developmental dyslexia: a motor-articulatory feedback hypothesis. *Annals of Neurology* 1996, **39** : 407–412

HESKETH A, ADAMS C, NIGHTINGALE C, HALL R. Phonological awareness therapy and articulatory training approaches for children with phonological disorders: a comparative outcome study. *In J Comm Dis* 2000, **35** : 337-354

KUJALA T, KARMA K, CEPONIENE R, BELITZ S, TURKKILA P, et coll. Plastic neural changes and reading improvement caused by audiovisual training in reading-impaired children. *Proc Natl Acad Sci USA* 2001, **98** : 10509-10514

LIBERMAN AM, MATTINGLY IG. The motor theory of speech perception revised. *Cognition* 1985, **21** : 1–36

MAGNAN A, ECALLE J, VEUILLET E, COLLET L. The effects of an audio-visual training program in dyslexic children. *Dyslexia* 2004, **10** : 131-140

MERCIER M, JOLY-POTTUZ B, LEYNAUD A, NGUYEN N, HABIB M. Évaluation d'une méthode d'entraînement phono-articulatoire dans la dyslexie de développement. Société de Neuropsychologie de Langue Française, Décembre 2002

MONTGOMERY D. Do dyslexics have difficulty accessing articulatory information ? *Psychol Res* 1981, **43** : 235-243

NICOLSON RI, FAWCETT AJ, DEAN P. Developmental dyslexia: the cerebellar deficit hypothesis. *Trends in Neurosciences* 2001, **24** : 508-516

SANTOS A, JOLY-POTTUZ B, MORENO S, HABIB M, BESSON M. Behavioural and event-related potentials evidence for pitch discrimination deficits in dyslexic children: Improvement after intensive phonic intervention. *Neuropsychologia* 2006, Nov 29 ; [Epub ahead of print]

TALLAL P, MILLER SL, BEDI G, BYMA G, WANG X, et coll. Language comprehension in language-learning impaired children improved with acoustically modified speech. *Science* 1996, **271** : 81-84

WISE BW, RING J, OLSON RK. Phonological awareness training with and without the computer. *In* : Dyslexia: Biology, cognition, & intervention. HULME C, SNOWLING M (eds). Whurr, London, 1997

WISE BW, RING J, OLSON RK. Training phonological awareness with and without attention to articulation. *Journal of Experimental Child Psychology* 1999, **72** : 271-304

Rééducation orthophonique dans la dyslexie

Les rééducations des troubles du langage oral et écrit de l'enfant sont, en France, de la compétence des orthophonistes.

En ce qui concerne les troubles d'acquisition du langage écrit, la nature même de la définition et la multiplicité des hypothèses et modèles explicatifs de la dyslexie, ont conduit au développement d'une multiplicité des traitements orthophoniques de ce trouble.

De même, la nature développementale du trouble, impliquant un défaut d'apprentissage précoce de la lecture compromettant l'adaptation scolaire, a fait que le débat a longtemps été de savoir si la pédagogie était en cause, ou si la pédagogie pouvait résoudre les difficultés de ces enfants.

L'enfant manifestant des troubles de l'apprentissage scolaire, se trouvant en difficultés par rapport à ses pairs, mal compris par ses parents et les adultes de son entourage, présente souvent des manifestations comportementales concomitantes pouvant laisser penser qu'elles sont causes et non conséquences des difficultés d'apprentissage. L'aspect psychologique de la prise en charge a donc parfois prévalu dans le traitement.

Les difficultés rencontrées par l'enfant dyslexique influent de façon évidente sur sa motivation à apprendre, toujours nécessaire pour acquérir de nouvelles connaissances. L'enfant qui réussit se trouve valorisé, gratifié et accepte de s'engager dans d'autres apprentissages, alors que l'enfant vivant précocement des échecs se décourage et n'a plus envie de se retrouver dans des situations d'apprentissage vécues comme dangereuses et dévalorisantes.

On voit pourquoi, du fait de la multiplicité des facteurs intervenant dans l'explication de la nature des troubles de l'enfant dyslexique, des abords très divers ont été développés dans les traitements et notamment dans les rééducations orthophoniques. Ces abords sont déterminés par les hypothèses formulées quant à ce qui est envisagé comme le plus gênant pour l'enfant ou le plus responsable de son incapacité à apprendre.

Le groupe de travail sur les recommandations de l'Anaes avait déjà signalé en 1997, que l'analyse de la littérature sur les troubles du langage écrit chez l'enfant montrait que « l'évaluation de l'efficacité de l'orthophonie était difficile, et que des recommandations étaient fondées sur un faible niveau de preuve scientifique ». Ceci est lié au fait qu'il existe peu d'études longi-

tudinales sur l'évolution naturelle des troubles du langage écrit, peu d'études comparant différentes interventions avec l'absence de soins ou des soins dits « placebo », peu d'études sur des stratégies comparant le nombre total de séances de soins, la durée de ces séances ou leur fréquence. D'où la difficulté pour le médecin d'évaluer précisément l'indication de séances d'orthophonie, si bien qu'il « prescrit en fonction des arguments proposés par l'entourage de l'enfant (parents, enseignants, médecin scolaire, orthophoniste) ».

Les difficultés d'évaluation des rééducations tiennent également à la grande diversité des enfants dyslexiques quant à la nature de leurs troubles, à leur intensité, aux répercussions de ceux-ci sur la vie scolaire et familiale, elles-mêmes dépendantes des compétences cognitives de l'enfant, de sa personnalité et de son comportement, sans oublier l'importance de son environnement social et familial. Il est donc très difficile de faire des groupes de sujets homogènes.

Tous ces éléments et toutes ces facettes du trouble et de l'enfant sont à prendre en compte quand on reçoit un enfant dyslexique pour sa rééducation, et vont orienter la décision du projet thérapeutique.

La rééducation orthophonique ne se fait que sur prescription médicale et il faut qu'au moment de la consultation, la situation de l'enfant soit bien évaluée pour décider en toute connaissance de cause quelles interventions thérapeutiques sont souhaitables, dans quel ordre ou dans quelle association. Il est des cas où l'orthophoniste ne peut travailler seul et où l'intervention d'autres professionnels est nécessaire. C'est notamment le cas quand il existe des troubles associés, nécessitant l'adjonction d'autres traitements.

La rééducation orthophonique d'un enfant présentant un trouble dyslexique a deux objectifs principaux : développer les compétences nécessaires à l'apprentissage du langage écrit et développer les compétences pouvant être utilisées comme stratégies de compensation.

Développement des compétences nécessaires à l'apprentissage du langage écrit

Chez certains enfants, le développement insuffisant ou déviant des compétences ne permet pas l'apprentissage de la lecture.

En particulier, les performances en conscience phonologique et en dénomination rapide influencent la vitesse d'acquisition des premières compétences en lecture (Wagner et coll., 1997). Wolf et coll. (2000) discutent le fait que des déficits dans la vitesse de dénomination d'une part et dans le traitement phonologique d'autre part, sont des déficits distincts et dissociables dans le développement de la parole et du langage. Les enfants avec le double déficit

(déficit phonologique et déficit en vitesse de dénomination) présentent les formes les plus graves de troubles du langage.

La vitesse de dénomination est conceptualisée comme un ensemble complexe de sous-processus attentionnels, perceptifs, conceptuels, mnésiques, phonologiques, sémantiques et moteurs (articulatoires), nécessitant que les temps d'exécution de chaque composant soient rapides. Le déficit en vitesse de dénomination visuelle, qui se traduit par des difficultés dans l'accès rapide aux noms des symboles visuels et dans leur évocation, peut expliquer l'échec dans l'acquisition des compétences d'identification rapide des mots isolés.

Le développement de la procédure d'assemblage nécessite que l'enfant accède à la conscience phonétique, possède les correspondances graphies-phonies, puisse fusionner les sons en syllabes puis en mots avant de pouvoir accéder au sens.

La conscience syllabique est acquise par les enfants de 4-5 ans. La notion de syllabe est vite appréhendée par les jeunes enfants, car les syllabes sont des unités articulatoires, à la différence des phonèmes qui sont eux, coarticulés en syllabes et plus difficilement dissociables en éléments minimaux.

La conscience phonétique se développe au moment de l'apprentissage de la lecture, avec qui elle entretient des relations réciproques. Il faut en effet avoir conscience que les mots sont constitués de sons pour apprendre à lire, mais réciproquement, le fait de découvrir la lecture dans un système alphabétique montre l'existence d'unités phonétiques. C'est donc dans cette réciprocité que se construit la conscience phonétique, et c'est pourquoi elle est toujours à travailler, chez l'enfant dyslexique, avec un support visuel ou autre et en parallèle avec l'apprentissage des conversions graphies-phonies. C'est-à-dire qu'il faut utiliser des supports visuels et/ou kinesthésiques, car leur canal auditif est peu performant.

L'entraînement des habiletés de traitement phonémique intentionnel a des effets positifs sur l'acquisition de la lecture, en particulier quand il est mené conjointement avec l'entraînement à la connaissance des correspondances graphème-phonème (Ehri et coll., 2001). Il faut tenir compte du fait que le travail sur la conscience phonologique implique d'autres processus comme l'attention auditive, la discrimination auditive et la mémoire de travail.

L'apprentissage des conversions graphies-phonies peut être entravé chez l'enfant dyslexique par le fait qu'il n'a pas la conscience du son, qu'il différencie mal le nom de la lettre du son correspondant et qu'il perçoit peu les différences entre les sons (notamment les voisements).

La rééducation nécessite donc l'apport de supports autres qu'auditifs pour différencier les sons, car les entrées auditives sont souvent défaillantes. Il faut utiliser le visuel (gestes Borel, dessins rappelant le bruit du phonème ou la forme de la bouche pendant la production), le kinesthésique (faire sentir les vibrations laryngées ou associer un mouvement corporel). Il faut toujours y

associer la graphie pour fixer l'association lettre-son. Ces techniques aident l'enfant à maîtriser l'intermodalité entre le visuel, l'auditif et l'articulation.

Les compétences de fusion, comme celles de segmentation sont indispensables pour accéder à la lecture et à la transcription par la procédure d'assemblage. Elles nécessitent toute une série de traitements perceptifs auditifs et visuels et une grande quantité d'informations à stocker en mémoire de travail. Mais c'est aussi leur utilisation automatique qui conduira l'enfant vers une lecture moins coûteuse en énergie cognitive, accédant plus facilement au sens, et permettant également la constitution du stock orthographique.

Certains enfants ont des difficultés à mettre en place la procédure d'adressage et ne peuvent donc pas accéder à une lecture fluide et rapide. La reconnaissance des mots par la procédure d'adressage nécessite que l'enfant ait constitué un stock orthographique visuel et que celui-ci soit activé lors de la perception de la forme visuelle du mot en lecture, ou lors de l'évocation de la forme phonologique du mot en transcription. Il faut donc que le stock orthographique existe et qu'il soit facilement accessible. Les représentations sémantiques y sont associées.

Le développement du stock orthographique se fait normalement par automatisation de la procédure d'assemblage qui permet de reconnaître des mots déjà analysés et lus. Or, chez le dyslexique, la fréquence des troubles sur la procédure d'assemblage ne permet pas à l'enfant d'accéder rapidement à ce stockage des représentations visuelles, et donc d'utiliser l'assemblage comme procédure d'auto-apprentissage du lexique orthographique d'entrée. En effet, les décodages sont trop lents et l'enfant ne stocke pas la représentation visuelle globale du mot. C'est pourquoi il est souvent nécessaire de travailler parallèlement à l'assemblage, le développement de ce stock visuel, en s'appuyant sur des indices visuels mais aussi de repérage vocalique ou de longueur, de l'épellation qui oblige l'enfant à porter une attention particulière à chaque lettre du mot, et lui permet de se sensibiliser à la longueur du mot, à repérer les irrégularités, les lettres muettes. Certains enfants sont gênés par la forme visuelle du mot qu'ils analysent mal, alors que l'épellation, qui leur donne des indications auditives, les aide à la mémorisation de la séquence des lettres. Il faut auparavant s'assurer que sa perception et sa mémorisation visuelles sont adéquates.

Développement des compétences pouvant être utilisées comme stratégies de compensation

Ceci n'est possible qu'après examen précis des points forts et des points faibles de l'enfant et des stratégies de lecture qu'il a mises en place. Il est parfois plus bénéfique pour l'enfant de contourner pour un temps ses difficultés, pour lui donner quelques éléments de lecture, valorisants pour lui car ne le

confrontant pas sans cesse à ses incapacités. Il s'agit par exemple de développer un petit lexique orthographique chez un enfant qui ne peut pas mettre en place pour l'instant une procédure d'assemblage, ce qui lui permet d'accéder à une lecture certes limitée, mais fonctionnelle. Cela a surtout pour fonction de le remotiver pour les apprentissages.

Un autre mode de compensation serait de développer une compétence morphologique. Les enfants dyslexiques ont des difficultés bien connues dans le traitement phonologique. Leurs performances de segmentation morphologique, à l'oral, sont aussi globalement inférieures à celles des enfants de même âge et la modification phonologique d'un mot à l'autre, de la même famille, les pénalise (c'est-à-dire quand on ne retrouve pas exactement la forme phonologique de la base, comme dans « sourd/surdité », ou « jardin/jardinier », au contraire des mots dans lesquels la base est totalement préservée sur le plan phonologique comme « coiffe/coiffeur/coiffer »). Toutefois, la différence de performance n'est plus significative si on compare les enfants non plus à ceux de même âge chronologique, mais de même niveau de lecture (Colé et Casalis, 2004).

Elbro et Arnbak (2000) ont mené une expérience d'entraînement à la conscience morphémique, qui s'est avérée bénéfique pour les enfants suivis en tout petits groupes (de un ou deux). Les effets ont été notés en reconnaissance de mots et en compréhension, mais étrangement pas pour les mots complexes morphologiquement. Ceci peut être expliqué par un effet positif sur les concepts de mots en tant qu'unités de signification. Il y a également eu un transfert sur la transcription.

L'entraînement semble donc indépendant des compétences phonologiques, ce qui est une voie de remédiation possible pour l'enfant dyslexique.

On peut donc entraîner les enfants sur la base de la morphologie des mots, en leur faisant reconnaître des mots qui ont une base commune, des intrus qui, bien que partageant des lettres communes, ne sont pas de la même famille. La construction de mots à partir d'une base sera également à entraîner en faisant par exemple découvrir les mots des différentes catégories reliées à cette base : « neige/neiger/enneigé/enneigement/déneiger… ».

La sensibilisation aux affixes, préfixes et suffixes, permettra à l'enfant de mieux identifier les mots et de mieux comprendre la construction de ces mots. Ce repérage de la base en lecture soulagera l'énergie cognitive nécessaire à la reconnaissance du mot, car une partie du mot sera alors identifiée.

La rééducation des compétences de lecture, quel que soit le trouble de l'enfant a pour but d'accéder à la compréhension des textes lus car on sait bien que ces enfants dyslexiques garderont des difficultés dans la lecture, notamment une lenteur, et dans l'orthographe.

La compréhension de la lecture est influencée par la connaissance du contexte, par l'appréciation de la structure du texte, par la capacité à appliquer

des stratégies de compréhension de lecture, par la motivation et l'intérêt, et tout cela en plus des compétences d'identification de mots (Torgesen, 2000). Il se peut donc que les enfants dyslexiques aient des difficultés de compréhension des textes lus.

Les études sur les expériences d'entraînement qui rapportent les meilleurs résultats en compréhension sont celles dans lesquelles les enfants ont eu un enseignement explicite des capacités de décodage phonémique, ainsi que dans les stratégies de compréhension, et qui ont eu beaucoup d'opportunités pour s'engager dans des activités de lecture porteuses de sens, et ce sous haute supervision de l'enseignant (Foorman et coll., 1998).

Les troubles d'acquisition du langage écrit sont souvent complexes de par leur nature, mais aussi de par leurs répercussions, voire de leurs troubles associés.

Aussi, il n'est pas rare que l'orthophoniste ait besoin d'autres compétences professionnelles pour compléter l'aide qu'il apporte à son patient et à sa famille. Mais on connaît bien les difficultés pour amener les familles à consulter d'autres spécialistes pour un avis diagnostique ou des prises en charge complémentaires. D'où la nécessité que les parents sentent une véritable coordination entre tous ces professionnels, un partage de l'information et que tous ces examens ne restent pas lettre morte, mais servent directement à une meilleure prise en charge de leur enfant. C'est pourquoi se créent des réseaux de santé, comme par exemple le réseau troubles des apprentissages sur Paris-Ile de France Sud, pour permettre à la fois de mieux diagnostiquer les troubles, mais aussi d'assurer une prise en charge la plus cohérente possible, avec une information plus précise des parents. Il s'agit d'un réseau de professionnels de toutes les spécialités impliquées dans le diagnostic et le suivi des enfants présentant un trouble des apprentissages (médicaux et paramédicaux, psychologues), qui agit avec le soutien d'une cellule de coordination qui collecte les données, assure un rôle d'expertise en cas de problème diagnostique ou rééducatif, crée les liens entre les différentes parties (enfant, famille, professionnels libéraux et/ou hospitaliers, institution scolaire), coordonne les soins et facilite les liens avec le Centre référent sur les troubles des apprentissages en cas de besoin.

Nous avons tenté de décrire brièvement la complexité et la diversité des aspects de la rééducation orthophonique des enfants porteurs de troubles spécifiques du développement du langage écrit. Nous restons persuadés que la rééducation orthophonique est un art (Touzin, 2004). Toujours en pleine évolution, les techniques rééducatives ont leur importance dans cette rééducation, mais celle-ci ne se limite pas à cela. Elle dépend de la personnalité et de la créativité des rééducateurs, du comportement et de l'adaptation de l'enfant.

L'art de notre profession consiste à sans cesse rechercher le juste équilibre : entre les attentes du rééducateur et les compétences de l'enfant ; entre les

attentes des parents et les possibilités de l'enfant ; entre le visuel, l'auditif, le sémantique et le moteur (articulatoire) ; entre les compétences acquises et les stratégies d'utilisation ; entre la nécessité de la rééducation, celle du travail scolaire et les activités de sa vie d'enfant ; entre la rééducation orthophonique et la pédagogie à l'école ; entre la difficulté d'apprendre et le plaisir d'apprendre. L'orthophoniste se doit de faire dépasser des obstacles à l'enfant, de l'accompagner dans ces apprentissages, sans lui éviter toute confrontation à la difficulté, mais en lui redonnant confiance en ses possibilités.

Monique Touzin

Orthophoniste, Unité de rééducation neuropédiatrique, CHU Bicêtre

BIBLIOGRAPHIE

ANAES. Indications de l'orthophonie dans les troubles du langage écrit chez l'enfant. Paris, 1997

COLÉ P, CASALIS S. Morphologie et dyslexie de développement : apports de la recherche. L'état de connaissances. Langage écrit. Signes Éditions, 2004 : 88-95

EHRI LC, NUNES SR, WILLOWS DM, SCHUSTER BV, YAGHOUB-ZADEH Z, SHANAHAN T. Phonemic awareness instruction helps children learn to read : evidence from the National Reading Panel's meta-analysis. *Reading Research Quartely* 2001, **36** : 250-287

ELBRO C, ARNBAK E. The effects of morphological awareness training on the reading and spelling skills of young dyslexics. *Scandinavian Journal of Educational Research* 2000, **44** : 89-111

FOORMAN BR, FRANCIS DJ, FLETCHER JM, SCHATSCHNEIDER C, MEHTA P. The role of instruction in learning to read: Preventing reading failure in at-risk children. *Journal of Educational Psychology* 1998, **90** : 37-55

TORGESEN JK. Individual differences in response to early interventions in reading : the lingering problem of treatment resisters. *Learning disabilities Research & Practice* 2000, **15** : 55-64

TOUZIN M. La rééducation des troubles spécifiques d'acquisition du langage écrit. *In* : Approches thérapeutiques en Orthophonie. Ortho Édition, 2004

WAGNER RK, TORGESEN JK, RASHOTTE CA, HECHT SA, BARKER TA, et coll. Changing causal relations between phonological processing abilities and word-level reading as children develop from beginning to fluent readers : a five year longitudinal study. *Developmental Psychology* 1997, **33** : 468-479

WOLF M, MILLER L, DONNELY K. Retrieval, Automaticity, Vocabulary, Elaboration, Orthography (RAVE-O): A comprehensive, fluency-based reading intervention program. *Journal of Learning Disabilities* 2000, **33** : 375-386

Rencontre-débat du 16 janvier 2007[79]

En ouverture, Christian BRECHOT, directeur général de l'Inserm, salue les participants en remerciant les personnes ayant contribué à l'expertise collective, réalisée sous l'animation de Jeanne ETIEMBLE. La présente réunion de travail illustre la façon dont l'Inserm souhaite dorénavant travailler, au moins pour certaines expertises collectives. Christian BRECHOT juge important qu'il existe une confrontation entre les conclusions émanant de l'expertise et le point de vue de professionnels de terrain.

Introduction : la démarche d'Expertise collective Inserm

Jeanne ETIEMBLE explique que la démarche d'expertise collective consiste à faire le bilan de la littérature internationale sur un sujet donné. Elle répond à une demande formulée par un commanditaire, en l'occurrence le RSI (Régime Social des Indépendants, ex-Canam), dans le cadre d'un programme centré sur la santé de l'enfant. Après l'obésité et les troubles mentaux, la troisième expertise collective, dont il est ici question, porte sur les troubles spécifiques des apprentissages que constituent la dyslexie, la dysorthographie et la dyscalculie. Le groupe d'experts – dont la composition est validée par la Direction générale de l'Inserm – réunit 11 spécialistes et a produit un rapport qui s'articule autour de trois parties : l'analyse de la littérature internationale, la synthèse des travaux des experts et enfin leurs recommandations. Jeanne ETIEMBLE souligne la distinction à opérer entre l'analyse de la littérature internationale réalisée par les experts et un état des lieux des pratiques françaises dans le domaine considéré, qui n'entre pas dans le champ de leur mission et qui relève plutôt des compétences de la Haute Autorité de Santé. L'expertise collective sur les troubles spécifiques des apprentissages chez l'enfant en est aujourd'hui au stade où elle doit être rendue publique et la présente réunion vise à permettre l'expression de tous, notamment afin de dissiper tout malentendu éventuel.

Le thème « dyslexie, dysorthographie et dyscalculie » a été choisi afin de définir un champ d'expertise moins large que l'échec scolaire, pour lequel des

79. Compte-rendu réalisé en temps réel par la société Ubiqus (www.ubiqus.fr)

moyens beaucoup plus considérables auraient dû être mobilisés. Si la dyslexie constitue un sujet fréquemment évoqué, de fausses idées circulent à son sujet. Il semblait donc utile de faire le point sur cette question. La dysorthographie et la dyscalculie, elles, font l'objet d'articles beaucoup moins nombreux. Jeanne ETIEMBLE convient que la dysphasie, trouble spécifique du langage oral, constitue un sujet important, à tel point qu'il aurait justifié une expertise à part entière. La dyspraxie peut faire l'objet du même constat. Cependant, les experts ont choisi de considérer ces deux troubles dans le cadre des « troubles associés » à la dyslexie, la dysorthographie et la dyscalculie.

Claire MELJAC (psychologue, Hôpital Sainte-Anne) note que la dysorthographie, qui est associée à la dyslexie dans la plupart des cas, a été traitée de façon indirecte et est donc bien présente dans l'expertise. En revanche, aucun élément significatif ne se fait jour à propos de la dyscalculie et certains résultats à ce sujet sont loin d'être assurés et elle ne comprend pas pourquoi la dyscalculie figure dans le titre de l'expertise.

Ariel CONTE (CORIDYS) estime que le cadrage de l'expertise restreint à la dyslexie, dysorthographie et dyscalculie risque de limiter son intérêt en termes de santé publique alors même que les statistiques des CHU montrent qu'il existe peu de dyslexie homogène. Les décideurs, ne vont-ils pas avoir une vision étroite des troubles spécifiques des apprentissages ?

Principaux constats de l'expertise collective

Lecture

Liliane SPRENGER-CHAROLLES, (membre du groupe d'experts) rappelle que la finalité de la lecture est la compréhension, ce qui requiert un niveau correct de compréhension orale et un bon niveau d'automaticité dans l'identification des mots écrits. Dans une écriture alphabétique, deux procédures peuvent être mobilisées pour cette identification : une procédure lexicale (l'unité de traitement est le mot) et une procédure sub-lexicale (l'unité de traitement est le graphème, en relation avec le phonème).

Les travaux de recherche ont montré que les enfants utilisent fortement la procédure sublexicale en début d'apprentissage, la réussite de cet apprentissage dépendant de la régularité des relations graphème-phonème, qui sont plus transparentes en espagnol qu'en français et en français qu'en anglais. De fait, les enfants hispanophones parviennent à automatiser les procédures d'identification des mots écrits plus vite et mieux que les francophones, qui eux-mêmes y arrivent plus vite et mieux que les anglophones, la dyslexie se manifestant principalement par un déficit d'automatisation de ces procédures, qui est aggravé quand l'orthographe est peu transparente. De plus, l'ensei-

gnement systématique et précoce dès le début du CP des correspondances graphème-phonème est ce qui aide le plus efficacement les élèves. Enfin, il apparaît aussi que les prédicteurs les plus fiables de l'apprentissage de la lecture sont les capacités d'analyse phonémique et le niveau de connaissance des lettres, auxquelles s'ajoutent les capacités de mémoire à court terme phonologique et de dénomination rapide. Ces prédicteurs permettent de repérer précocement (dès la grande section de maternelle) les enfants susceptibles d'avoir des difficultés d'apprentissage de la lecture, avec une fiabilité élevée.

Orthographe, calcul

Michel FAYOL (membre du groupe d'experts), explique qu'un point essentiel consiste à savoir s'il existerait, pour l'orthographe, des troubles qui ne seraient pas liés à la lecture et pour le calcul, des troubles qui seraient également spécifiques. La langue française constitue un système « inconsistant » en termes de production : son écriture s'avère beaucoup plus difficile que sa lecture. Les entraînements phonologiques auront, là aussi, un impact très favorable sur l'apprentissage des bases de l'orthographe. Une grande part de l'acquisition de l'orthographe lexicale semble également liée à la pratique de la lecture.

Michel FAYOL note le faible nombre d'études disponibles sur les troubles de calcul, de même que l'absence de classification fiable des erreurs. Il en résulte une difficulté à distinguer une évolution normale d'une évolution problématique et des méconnaissances relatives aux associations de troubles. La sensibilité aux modifications de quantités apparaît en tout cas très précocement. C'est l'acquisition du système symbolique de la langue maternelle qui permet la mise en place des conduites de dénombrement. Même s'il existe une définition internationale de la dyscalculie, les critères ne sont pas universellement admis. La dyscalculie pourrait être aussi fréquente que la dyslexie mais apparaît rarement isolée et il n'existe pas de différence entre garçons et filles de ce point de vue.

Pourquoi des troubles si souvent associés ?

Jean-François DEMONET (membre du groupe d'experts), souligne une difficulté à laquelle sont confrontés les chercheurs. Ceux-ci ressentent un malaise, en termes épistémologiques, en raison d'un paradoxe : des aptitudes hautement dépendantes de la culture et des apprentissages scolaires s'avèrent, à la lumière des travaux scientifiques, étroitement liées à des particularités de l'organisation du cerveau humain et à des particularités du génome (voire à des mutations génomiques). Face à ce constat déroutant, Jean-François DEMONET plaide pour un travail multidisciplinaire aujourd'hui difficile en raison de la diversité des points de vue épistémologiques.

Concernant la lecture envisagée sous l'angle des fonctions cognitives, Jean-François DEMONET explique qu'en l'absence d'automatisation des procédures, les individus ayant été dyslexiques dans leur enfance ont besoin, pour décoder un mot, de 150 millisecondes de plus que des individus n'ayant pas été dyslexiques (soit une minute de plus pour la lecture d'une page).

L'écriture présente des difficultés surajoutées par rapport à la lecture, notamment du fait du caractère exhaustif de l'expression écrite : tout doit être écrit ! Par ailleurs, un même son peut correspondre à de très nombreuses formes écrites, ce que l'on désigne par la notion de « non transparence phono-orthographique de la langue française ». Il résulte de ces caractéristiques une charge majeure, pour la mémoire à long terme, de l'apprentissage d'un lexique, particulièrement en langue française.

Le calcul fait appel à un stock plus ou moins large de connaissances en mémoire (tables de multiplication) ou à l'application de règles de calcul permettant de combiner les connaissances en mémoire. L'importance de la charge en mémoire de travail est d'autant plus grande qu'aucune étape de base n'est devenue automatique.

Jean-François DEMONET formule enfin l'hypothèse de l'existence de mécanismes communs à la dyslexie, la dysorthographie et la dyscalculie, qui seraient :

- le défaut de perception des unités de base ;
- le défaut d'automatisation de la conversion entre différents formats ;
- un excès de charge en mémoire de travail.

Il présente ensuite une synthèse des substrats cérébraux de ces fonctions linguistiques, mentionnant également l'importance du cortex frontal pour la mémoire de travail. Il présente la topographie des régions activées dans les situations de lecture, écriture et calcul. La topographie des anomalies microscopiques décrites dans le cerveau de quelques personnes dyslexiques montre que les régions concernées recouvrent celles qui semblent importantes pour les fonctions liées au langage écrit et au calcul.

Approches biologiques *versus* approches sociales

Franck RAMUS (membre du groupe d'experts), revient sur l'opposition parfois invoquée entre les approches biologiques et les approches sociales des trois troubles étudiés. Le rapport de l'Inserm ne reflète aucunement, à ses yeux, une approche exclusivement biologique : ce rapport n'ignore pas les facteurs sociaux et environnementaux (familiaux, psychologiques, pédagogiques) pouvant jouer un rôle dans l'apparition des troubles des apprentissages. Cela dit, même des enfants ne souffrant d'aucun handicap socio-culturel présentent des troubles, par exemple pour l'apprentissage de la lecture, pour lesquels aucune cause sociale primaire ne peut être mise en évidence.

Le chercheur doit donc faire l'hypothèse d'un déficit cognitif, c'est-à-dire d'un problème dans le traitement de certaines informations par le cerveau. Comme le rapport le décrit en détails, il apparaît en fait un déficit majeur, sur le plan phonologique, dans le traitement et la représentation mentale des sons et de la parole.

Ce constat suppose l'existence d'une atteinte du cerveau et les recherches menées sur les cerveaux d'individus dyslexiques confirment l'existence de spécificités chez ces individus. Un faisceau d'indices, parmi lesquels le caractère familial de troubles tels que la dyslexie, plaide pour l'existence de facteurs génétiques (mais pas exclusivement) dans l'explication de ces atteintes du cerveau ; en effet, les chercheurs ont mis en évidence la forme variante de certains gènes, qui conduisent à une mise en place légèrement différente de certaines aires cérébrales jouant un rôle dans la parole et le langage, et recrutées, plus tard, pour l'apprentissage de la lecture, de l'écriture ou du calcul. Pour autant, Franck RAMUS souligne que ce facteur génétique n'est aucunement synonyme de déterminisme : il répond à une logique probabiliste et dépend en partie d'interactions avec des facteurs environnementaux très divers. C'est pourquoi tout paradigme strictement biologique ou strictement social doit être écarté.

Prévention, dépistage et prise en charge

Catherine BILLARD (membre du groupe d'experts), souligne l'intérêt en prévention d'une prise en charge de l'ensemble des enfants présentant des troubles de la lecture. La littérature internationale montre qu'une prise en charge précoce, en milieu scolaire, des enfants présentant des difficultés de décodage permet à 50-75 % des enfants de rejoindre leurs pairs en l'espace de quelques mois. En termes de prévention, la notion « d'enfant à besoins similaires » semble opératoire pour définir cette prise en charge répondant aux critères définis par la littérature scientifique. Le groupe d'experts plaide pour l'évaluation d'une telle démarche en France. Cela suppose de définir des critères de sévérité sur la base desquels sera décidé pour les enfants n'ayant pas tiré bénéfice de la première étape d'associer une réponse de soins à l'accompagnement en milieu scolaire. Les troubles du langage oral définissent une population à risque au sein de laquelle cependant tous les individus ne présenteront pas les troubles étudiés (dyslexie dysorthographie et dyscalculie). La prise en charge préventive des troubles du langage oral ne pose pas de difficulté et elle est définie par les recommandations de l'ANAES. Cependant, d'après la méta-analyse faisant référence dans ce domaine, un programme préventif n'est efficace que s'il associe un travail sur les compétences phonologiques du langage oral et du langage écrit.

Quant à la prise en charge individuelle (en termes de soins) après diagnostic, elle doit définir précisément :

- les axes de rééducation (à travailler de façon intensive et à évaluer) ;

• les conditions d'accès aux soins des personnes défavorisées ;

• une articulation avec les programmes pédagogiques du milieu scolaire, en la personne d'un coordinateur qui aura notamment un rôle crucial d'explication vis-à-vis des parents.

Débat

Félicitant le groupe d'experts pour l'ensemble de son travail, Michel ZORMAN, (CHU de Grenoble) revient sur certaines formulations dans le texte : la question de l'indépendance des troubles vis-à-vis des facteurs d'ordre socioculturel par rapport aux propos de Franck RAMUS reconnaissant l'existence d'interactions entre le biologique et l'environnemental. Concernant « des conditions défavorables de l'environnement » il préférerait le terme de carence éducative ou pédagogique, au titre de laquelle les éléments fondamentaux d'éducation ne seraient pas présents, ce qui peut survenir dans n'importe quel milieu socioculturel. Michel ZORMAN note enfin la présence d'éléments redondants, par exemple dans les études de cas et les études de groupes, au détriment de la lisibilité du rapport. Enfin, il conteste la distinction entre dyslexie phonologique et dyslexie de surface. Tous les dyslexiques phonologiques qu'il suit deviennent en effet, à un certain âge, des dyslexiques de surface. Michel ZORMAN juge indispensable de dissocier les mesures de l'efficacité des deux procédures (lexicale et sub-lexicale) des causes qui peuvent être à l'origine de leur moindre efficacité. Liliane SPRENGER-CHAROLLES souligne que l'étude des causes des troubles requiert en effet un suivi longitudinal des enfants, qui montre généralement la présence de troubles phonologiques.

Georges DELLATOLAS (Inserm), estime que les critères diagnostiques des troubles des acquisitions scolaires ne sont pas suffisamment discutés dans la synthèse : les experts ne se prononcent pas quant à la nécessité de les utiliser. Le critère d'interférence avec les performances scolaires, notamment, peut conduire à définir des troubles des apprentissages en fonction des exigences de l'entourage, notamment dans une optique élitiste. Les prévalences mises en avant montrent en tout cas que ces critères ne sont pas utilisés. Jeanne ETIEMBLE observe que ces critères de définition des troubles lorsqu'ils sont appliqués présentent au moins l'intérêt de fournir une base de comparaison des études épidémiologiques. Franck RAMUS convient que les définitions de ces critères ne satisfont personne. Il s'agit cependant de la seule norme internationale pouvant être énoncée.

Bernard GOSSOT (Inspecteur général honoraire de l'Education nationale), note qu'il est indiqué dans la synthèse que « la prévalence de la dyslexie s'établit à un peu moins de 5 % », sans que la population de référence ne soit précisée. L'âge auquel sont repérées les « difficultés en lecture » des enfants n'est pas précisé non plus, imprécisions en conséquence desquelles « l'on voit des

dyslexiques partout ». Catherine BILLARD convient de la nécessité de tenir compte de cette remarque pour éviter une confusion du terme « dyslexique ». Michel ZORMAN estime qu'il est possible d'indiquer que la dyslexie frappe 5 % de la population générale, à partir de la classe de CP. Il propose aussi de préciser (sans s'avancer plus avant dans les proportions) que tous les lecteurs en difficulté ne sont pas dyslexiques. Faisant référence à un rapport qu'il a rédigé en 2005 pour l'Inspection générale des Affaires sociales et l'Inspection générale de l'Education nationale sur les troubles complexes du langage oral et écrit, Bernard GOSSOT note que le nombre d'enfants présentant un véritable trouble complexe du langage oral et écrit est apparu, dans ce travail, extrêmement faible. Le nombre de 5 % semble, de ce point de vue, un seuil très élevé. Jean-François DEMONET demande sur la base de quels critères cette prévalence a été estimée. Bernard GOSSOT précise qu'aucun critère précis n'avait été défini. Des médecins, des psychologues, des associations de parents ont cependant été rencontrés et ces acteurs ont fait part aux auteurs de leur analyse de la situation. Les auteurs se sont également aperçus que le nombre d'enfants, rapporté à la population, était assez faible, quand bien même il était annoncé au départ comme élevé. Jean-Marie DANION souligne la difficulté à obtenir un chiffre précis sur ce point.

Recommandations

Formation

Jeanne ETIEMBLE indique qu'une première recommandation, concernant la formation, tient particulièrement à cœur au groupe d'experts. La formation doit permettre à tous les acteurs de parler le même langage et de se comprendre.

Gérard TOUPIOL (Fédération nationale des Maîtres E, enseignants spécialisés travaillant dans le cadre des réseaux d'aide spécialisés), note que le rapport de synthèse mentionne de nombreux outils qui ne sont pas connus par les professionnels de l'Education nationale. Les réseaux d'aide spécialisés semblent en tout cas les mieux placés pour identifier les élèves et recommander, le cas échéant, un dépistage plus précis des troubles des apprentissages. Jeanne ETIEMBLE signale qu'une commission réunie sous l'égide de la DGS (Direction Générale de la Santé) a publié un rapport aujourd'hui accessible à tous sur le site du Ministère de la santé.

Jeanne-Marie URCUN, (médecin national de l'Education nationale) juge utile de préciser de quels outils l'on parle : il existe des outils de repérage, des outils de diagnostic ou encore des outils de remédiation et les uns ne peuvent pas se substituer aux autres. En tout état de cause, « nul ne peut agir seul » et le travail pluridisciplinaire constitue une exigence. Pour autant, il

ne doit pas s'agir que l'un fasse à la place de l'autre. Claire MELJAC considère qu'un outil auquel l'intervenant ne serait pas formé n'aurait pas de sens. L'étalonnage et les consignes d'utilisation ne peuvent suffire : il doit exister un échange avec une personne connaissant les limites et les finesses d'un outil. Ariel CONTE confirme que l'utilisation des outils dépend largement de la formation, de la culture et des représentations de chacun. En outre, certaines recommandations sont anciennes, il s'agirait de les appliquer.

Scania de SCHONEN observe que les difficultés commencent souvent avec l'ignorance des pédiatres en matière de neurosciences cognitives : ces spécialistes se reposent sur les psychiatres pour identifier d'éventuels troubles cognitifs de l'enfant, alors que les psychiatres ne sont pas mieux formés pour les repérer. Scania de SCHONEN souhaite qu'une cellule soit créée, avec pour mission d'étudier les voies permettant de former les médecins (pédiatres, psychiatres), orthophonistes… aux troubles cognitifs des enfants. Elle préconise aussi la mise en œuvre d'une veille technologique internationale évolutive qui mette à jour les conditions d'utilisation des outils existants.

Anne TERLEZ (Fédération de parents d'élèves PEEP) se dit très sensible à la qualité de l'expertise. Elle estime que les experts « auraient pu aller beaucoup plus loin » dans les recommandations. La PEEP milite pour l'égalité des chances, ce qui suppose notamment de miser sur le dépistage (lequel va plus loin que le repérage). La prise en compte des troubles des apprentissages par les enseignants, la remédiation et le suivi des enfants requièrent la formation (initiale et continue) des professionnels de santé et des professeurs de l'Education nationale. Plus largement, l'urgence est au pragmatisme. Les RASED sont souvent en perdition, faute de moyens. Il en est de même pour la médecine scolaire et les protocoles mis en place ne peuvent être appliqués. L'ouverture des écoles aux professionnels de santé est indispensable et des partenariats doivent être mis en place et tournés vers la recherche de solutions originales. Anne TERLEZ signale enfin une expérience originale mise en œuvre par la PEEP d'Issy-les-Moulineaux, qui a lancé à l'échelle de la commune un dépistage de la dyslexie, pour lequel les professionnels de l'Education nationale ont été spécifiquement formés. La PEEP souhaite que cette action, dont le coût est pris en charge par la commune d'Issy-les-Moulineaux, puisse s'étendre à l'ensemble des Hauts-de-Seine.

Sylviane LEWICK-DERAISON (orthophoniste et représentante de l'UNADREO), se félicite de voir reconnue la place des réseaux dans les recommandations des experts. Elle juge trop vague, toutefois, la formulation proposée. Le réseau d'aide (RASED) constitue un réseau au sein de l'école et les réseaux de santé eux sont extérieurs. Les référents sont également nombreux. Bref, ces notions doivent être clarifiées, sans confusion entre la pathologie et la pédagogie, précision qui conduit Sylviane LEWICK-DERAISON à se démarquer de l'intervenante précédente en considérant qu'il ne s'agit que d'une expérimentation.

Stratégies de prévention

Jeanne ETIEMBLE souhaite en venir à la stratégie de prévention qui pourrait être déployée dès qu'une difficulté est identifiée chez un enfant. La tendance, en France, reste marquée par une prise en charge individuelle. Jeanne ETIEMBLE souhaite entendre les participants sur la façon dont ils envisagent la possibilité d'un travail en réseau autour d'objectifs de prévention.

Faisant référence à 14 études publiées hors de France sur les difficultés de lecture en CP, Michel ZORMAN suggère que le rapport de synthèse fasse référence à ces études, à partir desquelles une expérimentation contrôlée et évaluée pourrait être demandée à l'Education nationale. Jean-Marie DANION considère que ce type de recommandation correspond tout à fait au type de recommandation pour lequel la démarche d'expertise collective peut être légitime. Catherine BILLARD insiste pour que la méthodologie de l'étude détermine s'il s'agit d'un effet spécifique ou d'un effet placebo. Les résultats ne doivent pas s'exprimer seulement en termes de pourcentages d'amélioration significative mais aussi en termes de résultats pour les enfants.

Laurence VAIVRE-DOURET estime qu'une dimension liée aux troubles associés manque actuellement au cadre de la prévention. La psycho-motricité pourrait constituer un moyen de prévention au sein de l'Education nationale, par exemple en mettant en évidence une absence de mise en place de la latéralité. L'Education nationale peut donc avoir, là aussi, un rôle intéressant à jouer.

Jeanne ETIEMBLE constate, notamment à travers l'expérience rapportée par la représentante de la PEEP, la possibilité de mise en œuvre de la recommandation de prévention dont il s'agit ici. Ces expériences devraient pouvoir se multiplier, d'autant plus qu'elles répondent à plusieurs problèmes en même temps, sans rester confinées au domaine de la dyslexie. Pour autant, une telle stratégie ne permettra pas de faire l'économie d'une prise en charge individuelle pour certains enfants. Dès lors, la question résidera dans l'articulation entre la prise en charge individuelle (soins) et la prise en charge pédagogique qui doit se poursuivre à l'école.

Prise en charge individuelle/coordination et articulation entre éducation et soins

Bernard GOSSOT appelle à la distinction des notions de repérage, de dépistage et de diagnostic. Le repérage peut être effectué par les enseignants mais non seuls. Les intervenants des RASED peuvent leur apporter un concours utile sur ce point, notamment à travers la prise en charge, en classe, de petits groupes spécifiques auxquels des personnels extérieurs pourraient être associés : orthophonistes, intervenants des SESSAD… Les médecins et psychologues scolaires, eux, ne sont pas suffisamment présents.

Le dépistage relève du médecin de PMI ou du médecin de santé scolaire. Enfin, le diagnostic relève des centres de référence. Catherine BILLARD précise qu'effectivement entre les centres de référence et les enseignants, il existe des personnes-ressources permettant d'éviter qu'un enseignant n'adresse directement une famille au centre de référence. Celui-ci répond à une vocation de seconde intention, en termes de sévérité ou de résistance du problème.

Frédérique LEFEVRE (Ministère de l'éducation nationale) précise que l'école n'est habilitée qu'à traiter la difficulté scolaire, sur le plan pédagogique. Lorsque l'enseignant ne sait plus quelle réponse pédagogique mobiliser, il peut se tourner vers d'autres acteurs comme les RASED. Frédérique LEFEVRE rappelle aussi que l'école n'est pas un lieu de soin : elle peut participer à la prévention par une réponse pédagogique, comme la loi de 2005 le précise. Michel FAYOL signale que le ministère de l'Education nationale a récemment envisagé l'introduction, en CM1, d'un outil permettant aux enseignants d'effectuer un repérage pouvant être suivi, le cas échéant, par la mise en œuvre d'activités telles que celles évoquées aujourd'hui. Frédérique LEFEVRE précise qu'il existe également des évaluations non obligatoires permettant aux enseignants de mettre en œuvre des réponses pédagogiques.

Bernard GOSSOT se dit en désaccord avec l'idée selon laquelle l'Education nationale serait fermée à toute intervention en son sein relevant d'une logique de soin : si l'école n'est pas un lieu de soins, les personnels de soins peuvent y intervenir pour faciliter l'éducation. Par ailleurs, Bernard GOSSOT signale que le terme d'entraînements pédagogiques risque d'être mal perçu par les enseignants, qui pourraient y voir la marque d'une approche comportementaliste. Catherine BILLARD précise que cette notion « d'entraînement » ne constitue en aucune façon l'action pédagogique principale.

Ariel CONTE note qu'au Canada, au sein de l'école sont présents des orthopédagogues à double compétence. Il souhaite que le clivage entre professionnels de santé et professionnels de l'éducation perde de sa prégnance en France. Il signale par ailleurs que les enveloppes de dotation aux réseaux ne permettent pas à ces derniers de prendre en charge les enfants qui en ont le plus besoin.

Isabelle DABOVILLE, (enseignante référente), précise qu'un dialogue avec les parents peut se traduire par la mise en place d'un projet personnalisé prévoyant l'intervention de services de soin au sein des écoles et l'aménagement du temps scolaire des enfants. Une interrogation demeure toutefois quant à la façon dont les demandes de moyens émergeant dans ce cadre seront traitées par la Commission des droits et de l'autonomie (CDA).

Jean-François DEMONET constate que l'Education nationale redoute de se voir conduite à poser le diagnostic d'une « maladie grave du cerveau ». Il n'en reste pas moins qu'il existe des médecins de l'Education nationale.

S'ils étaient présents en nombre suffisant, ils pourraient jouer le rôle indispensable d'interface et d'orientation pour un trouble qui s'exprime d'abord à l'école. La réponse de soin doit s'articuler avec la réponse pédagogique ; les clivages doivent tomber pour faire place à une interconnexion entre ce qui relève du pédagogique et ce qui relève du sanitaire. Pour cela il faut des moyens et des structures. Le nombre de médecins et de psychologues scolaires, par exemple, devrait s'accroître. Jean-François DEMONET plaide pour la mixité de la prise en charge, que celle-ci soit individuelle ou collective.

Aménagements et adaptations pédagogiques

Ariel CONTE note que tous les aménagements accordés aux dyslexiques le sont au titre du handicap. Mais, le problème réside dans l'organisation pratique de ces aménagements et dans la diversité des pratiques d'un département à un autre. En tant que neurologue, Jean-François DEMONET souligne que l'application du décret n°2005-1617 du 21 décembre 2005 relatif aux aménagements des examens et concours de l'enseignement scolaire et supérieur constitue une difficulté quotidienne et une demande extrêmement fréquente de la part des familles. Hélas, il existe une grande confusion en la matière, y compris parmi les intervenants académiques, notamment compte tenu de la diversité rencontrée dans la gravité des troubles.

Valérie CAPUANO-DELESTRE (bureau de l'ASH, adaptation scolaire et scolarisation des élèves handicapés, au ministère de l'Education nationale), précise que l'aménagement des examens est indépendant du taux de handicap et de sa reconnaissance par les MDPH (Maisons départementales des personnes handicapées). Mais, il existe une difficulté pour les troubles spécifiques des apprentissages en raison du seuil de 50 %, défini comme une condition nécessaire à la reconnaissance du handicap. En revanche, la décision d'aménagements aux examens dépendra de l'Education nationale, de façon indépendante du taux de handicap. Michel ZORMAN souhaite que la compensation accordée, lors des examens aux élèves, ne compense pas un diagnostic mais bien un désavantage social au regard des études qu'ils suivent. Faute d'un tel principe, la compensation bénéficiera à de trop nombreux élèves, auquel cas elle perdra toute pertinence. Jean-François DEMONET précise qu'un diagnostic de dyslexie attestée à un moment donné du cursus ne constitue pas nécessairement en soi un argument suffisant pour justifier la mise en œuvre d'aménagements lors des examens. La compensation des déficits permet en effet dans de nombreux cas la poursuite d'études de haut niveau. La justification d'aménagements des conditions d'examen repose sur la mise en évidence par un examen neuropsychologique approprié de déficits persistants dans la capacité à lire et à comprendre un texte dans un délai conforme à la norme.

Jeanne-Marie URCUN rappelle que la circulaire évoquée concerne tout enfant présentant un trouble de la santé ou un handicap. Les mesures envi-

sageables en application de la circulaire sont liées à la conséquence d'un trouble dans la scolarité et le niveau élevé des performances d'un individu ne doit pas le priver d'aménagements auxquels son handicap lui donne droit. Franck RAMUS estime que la pente visant à compenser un « désavantage social » est glissante. Il suggère plutôt de compenser le handicap, celui-ci étant reconnu comme évolutif : le droit à la compensation peut se justifier à un moment donné et ne plus se justifier plus tard dans le cursus de l'élève.

Catherine BILLARD demande si un enfant souffrant d'un handicap susceptible d'évoluer peut avoir droit à des aménagements sans être reconnu comme handicapé par la Maison du handicap. Jeanne-Marie URCUN précise que toute demande, sur ce point, doit être adressée à la MDPH. Elle est alors examinée par un médecin désigné par celle-ci. Le médecin rencontre l'enfant et sa famille afin d'envisager les aménagements susceptibles d'être mis en œuvre. La demande d'aménagement est alors transmise au rectorat, qui, dans une très grande majorité de cas, répond favorablement à la demande. Valérie CAPUANO-DELESTRE estime que l'on peut conseiller aux parents de s'adresser aux médecins de l'Education nationale de l'établissement scolaire fréquenté par l'élève. Le passage par la MDPH aura lieu, car il est prévu par la procédure. Celle-ci pourra varier, toutefois, suivant les départements.

Bernard TOPUZ (Direction de l'Enfance et de la Famille de Seine-Saint-Denis) signale que certains parents refusent d'être adressés aux Maisons du handicap en raison d'un trouble qu'ils perçoivent comme passager. Bernard TOPUZ souligne aussi l'existence d'inégalités liées aux premières relations psychologiques dans la petite enfance et la question soulevée plus tôt sur le social se pose de façon similaire pour les facteurs d'ordre psychologique. Jean-Marie DANION considère qu'il existe un risque de « dramatisation » du trouble aux yeux des parents, ce qui plaide à ses yeux pour une rédaction prudente de la recommandation sur ce point. Ariel CONTE confirme que la reconnaissance du handicap constitue un débat récurrent dans toutes les associations. Mais les SESSAD ne pourront être mis en place sans une définition claire du handicap.

Christine GETIN (association TDAH) juge surtout difficiles à vivre les inégalités qui se font jour sur le terrain. Elle plaide aussi pour que l'on accorde un effort particulier à la « psycho-éducation » des parents, notion qu'elle préfère à celle de « guidance » des parents, étant entendu qu'une bonne compréhension du trouble constitue un premier pas vers sa résolution.

Liste des présents : Maria DE AGOSTINI (expert, Epidémiologie Inserm), Rémy BAILLY (Centre Référent du Langage et troubles d'apprentissage, Pitié-Salpétrière), Xavier BLANC (Association les lavandes, Orpierre), Fabienne BONNIN (Centre expertise collective Inserm), Chritian BRECHOT (Directeur général de l'Inserm), Sandrine BROUSSOULOUX (INPES), Catherine BUTIKOFER (Association APEDA/FLA), Valérie CAPUANO-DELESTRE (Ministère de l'EN), Patrick CHANSON (Directeur adjoint Disc Inserm), Michèle CHARNAY (Association APEDYS), Anne-Marie CHARTIER (INRP), Dominique CHAUVIN (Centre Référent Pitié-Salpétrière), Ariel CONTE (Association CORIDYS),

Isabelle DABOVILLE (SE UNSA), Jean-Marie-DANION (Professeur de Psychiatrie, Conseiller du Directeur général Inserm), Georges DELLATOLAS (Inserm), Jean-François DEMONET (expert, Neurologie, Inserm), Dominique DONNET-KAMEL (Chargée de Mission Inserm-association, Disc), Marie-Christine DROCHON (SNMSU-UNSA), Anne-Christine DUPONT (FNO/UNADREO), Jeanne ETIEMBLE (Directrice Centre d'expertise collective Inserm), Michel FAYOL (expert, Laboratoire de Psychologie sociale et cognitive, Université Clermont-Ferrand), Pascale GERBOUIN (Inserm), Christine GETIN (Association TDAH), Bernard GOSSOT (Académie Créteil), Barbara KNOCKAERT (SNUIPP), Anne LAUNOIS (Accompagnement expertises, Disc), Frédérique LEFEVRE (DGESCO), Marie-Thérèse LE NORMAND (expert, Inserm), Sylviane LEWICK-DERAISON (UNADREO), Claire MELJAC (CHS Sainte-Anne-UPPEA), Anne MIGNOT (Bureau de presse Inserm, Disc), Anne-Marie MONTARVAL (Association, APEDA/FLA), Isabelle NOCUS (Université Nantes UFR Psychologie), Anne-Laure PELLIER (Centre expertise collective Inserm), Christine PLOUZENNEC (AFPS), Franck RAMUS (expert, Laboratoire sciences cognitives et psycholinguistique, ENS Paris), Scania de SCHONEN (Université Paris 5), Taraneh SHOJAEI-BROSSEAU (MGEN), Liliane SPRENGER-CHAROLLES (expert, Laboratoire psychologie expérimentale, Boulogne), Anne TERLEZ (PEEP), Gérard TOUPIOL (FNAME), Monique TOUZIN (CHU Bicêtre), Bernard TOPUZ (PMI), Jeanne-Marie URCUN (Médecin Education nationale DGESCO), Laurence VAIVRE-DOURET (Inserm, Hopital Necker), Céline VRIDAUD, (FNAME), Michel ZORMAN (CHU Grenoble),

Liste des excusés : Jean-Claude AMEISEN (Comité d'éthique Inserm), Pierre BAROUILLET (expert, Université Genève), Marc BRODIN (Université Paris), Martine CARAGLIO (Académie de Paris), Claude CHEVRIE-MULLER (Inserm), Philippe CLAUS (Inspection EN), Stanislas DEHAENE (Inserm, CEA), Ghislaine DEHAENE-LAMBERTZ (CNRS), Michel DELEAU (Université Rennes), Agnès FLORIN (Université Nantes), Nicole GENEIX (Observatoire de l'enfance), Nicolas GEORGIEFF (Institut des Sciences Cognitives, Bron), Nathalie GUIGNON (DGS, DREES), Jean-Emile GOMBERT (expert, Université Rennes), Michel HABIB (expert, CHU Marseille), Gisèle JEAN (SNES-FSU), Irène KAHN-BENSAUDE (Ordre des médecins), Brigitte LEFEUVRE (DGS), Jean-Jacques LEMIRE (psychologue scolaire), Philippe MEIRIEU (Université Lyon), Marie-Noëlle METZ-LUTZ (CNRS), Agnès MITTON (CMPP Corbeil Essonnes), Gille MOINDROT (SNUIPP), Dominique MOTHES (SNMSU), Philippe NIEMEC (SE-UNSA), Monique PLAZA (Université Paris), Hélène RABATE (SNPDEN), Jean-Charles RINGARD (Académie Nantes), Patrick ROUMAGNAC (SNIEN-UNSA), Martine SAFRA (Education nationale), Gérard SCHMIT (CHU Reims), Anne TURSZ (CNRS), Sylviane VALDOIS (expert, Université Grenoble), Louis VALLÉE (CHRU Lille), Florence VEBER (Santé Mairie de Paris), Jean-Luc VILLENEUVE (SGEN-CFDT).

L'Inserm et le groupe d'experts remercient tous les participants pour la qualité des débats et remercient également les nombreuses personnalités du secteur de l'Education et de la Santé qui ont adressé des commentaires sur la synthèse et les recommandations. Leur contribution a été prise en compte dans la version finale du document.

Note de lecture

Cette expertise collective argumente d'une part qu'il existe bien des troubles spécifiques des apprentissages scolaires (dyslexie, dysorthographie, dyscalculie) et que ceux-ci doivent être traités en tant que tels au terme d'un diagnostic différentiel pour lequel des outils sont disponibles, d'autre part que les travaux de recherche amont qui les concernent et de recherche et développement sur les modalités de prise en charge et leur évaluation par exemple sont encore très limités. Enfin, ce rapport souligne que l'ensemble des partenaires concernés par cette prise en charge, incluant les familles et les bénéficiaires, a besoin d'une information plus précise et plus largement partagée.

Cette note de lecture est un commentaire qui reprend ces trois points et en analyse certaines implications en termes de structuration du domaine du point de vue de la recherche et de la formation.

Critères et difficultés du diagnostic différentiel

Tout d'abord, il faut savoir gré aux auteurs de poser clairement la question du diagnostic différentiel et d'en indiquer à la fois la nécessité, la possibilité et les limites actuelles.

Aborder la question des troubles spécifiques des apprentissages scolaires (dyslexie, dysorthographie, dyscalculie) contraint en effet à adopter des critères très stricts : écart significatif par rapport à la moyenne pour un domaine alors que les autres domaines sont préservés mais tenir compte de la possible co-morbidité, de la « résistance » du trouble à des prises en charge spécifiques classiques, évaluer des troubles cognitifs associés à des difficultés comportementales mais qui ne sont pas « primaires », enfin exclure des cas qui seraient liés à un retard mental, une déficience sensorielle ou une carence socio-éducative. Lorsque ces contraintes sont mises en œuvre, il ressort qu'un certain nombre de personnes relèvent bien du cadre général des troubles spécifiques des apprentissages scolaires (dyslexie, dysorthographie, dyscalculie).

Les limites à la mise en œuvre d'une démarche rigoureuse de diagnostic différentiel sont à première vue factuelles : d'une part il n'y a pas encore suffisamment de données et d'outils de grande qualité scientifique et technique, en particulier pour les troubles autres que la dyslexie, d'autre part les connaissances acquises et plus largement la culture scientifique et technique associée ne sont pas suffisamment partagées par les partenaires.

Je voudrais insister ici sur la dimension structurelle de ces insuffisances dans un contexte plus général, celui des recherches en direction des personnes handicapées.

Insuffisances de la recherche amont

En ce qui concerne la recherche amont, nous disposons grâce à cette expertise d'un bilan critique de la littérature internationale qui fait clairement apparaître les disparités des connaissances entre les domaines, la dyslexie-dysorthographie étant le trouble le plus et le mieux étudié. Le bilan met aussi en évidence que, même en ce qui concerne la dyslexie, la contribution de la recherche française est limitée même si elle est de très bon niveau alors qu'à l'évidence les études relatives aux particularités de la langue maternelle sont indispensables. La situation des autres troubles est plus critique encore sur ce plan.

Les données relatives à la dyscalculie sont beaucoup plus réduites, la phase de description étant encore loin d'être achevée. Les troubles de l'écriture devraient pouvoir être analysés de façon indépendante des problèmes d'orthographe. Cependant, les études relatives aux dysgraphies sont très peu nombreuses, elles étaient plus importantes en France dans les années 1960, dans un contexte d'études plus larges sur les praxies-dyspraxies qui n'est que très peu traité dans le rapport.

La faiblesse de la production française pose la question de l'initiative et du financement des recherches amont sur les manifestations et les origines des troubles spécifiques des apprentissages scolaires. Mais ceci n'est qu'une partie de la question. En effet, même si les appels d'offre thématisés sont peu nombreux, il n'est pas certain que les projets qui y ont répondu dans le passé aient passé la barre des critères scientifiques de sélection.

Les problèmes de l'aval concernent le développement de stratégies et d'outils de prise en charge des bénéficiaires potentiels ainsi que la pratique systématique de l'évaluation des interventions. Le recensement des outils disponibles pour la dyslexie montre que ceux-ci sont nombreux et hétérogènes en thématique et en qualité, ce qui traduit bien à la fois le gain quantitatif lorsque les recherches sont plus développées, et la variabilité de la pertinence et de la qualité lorsque les recherches, même plus nombreuses, ne sont pas coordonnées.

Par ailleurs, l'expertise fait clairement apparaître les conditions méthodologiques à réunir pour que les analyses en termes d'efficacité d'une intervention soient scientifiquement acceptables. Là encore les connaissances et les savoir-faire scientifiques doivent pouvoir être mobilisés, ce qui a un coût financier direct (le financement de l'étude elle-même) et indirect (celui de la formation des professionnels susceptibles de conduire ces études).

Il y a clairement un besoin de développer globalement l'activité de recherche dans le domaine, mais ce développement ne peut se réduire à la seule question du financement, même contractuel. Un tel financement ne peut avoir un effet structurant que dans le cadre d'une politique de développement qui permette une montée en puissance : une thématisation forte et visible sur une durée suffisante, un financement récurrent pour des projets de qualité, et une issue professionnelle possible pour les jeunes docteurs débordant le cadre des emplois publics. Ceci implique des partenariats entre les grands organismes de recherche, les universités, les écoles professionnelles, en particulier celles qui emploient des docteurs, et les associations.

De l'information à la formation

Le rapport d'expertise distingue deux grandes modalités du partage de l'information scientifique et technique. La première est la diffusion de l'information. Elle est particulièrement importante pour la fonction de repérage des difficultés d'apprentissages scolaires. Il s'agit de sensibiliser les familiers de l'enfant (parents, médecins, enseignants…) et plus largement le grand public à l'existence de troubles spécifiques des apprentissages scolaires (dyslexie, dysorthographie, dyscalculie) afin d'apporter dès que possible une offre de prise en charge adaptée.

Ceci suppose non seulement une analyse des informations les plus pertinentes à mettre en avant, mais aussi une coopération avec des professionnels de la communication qui contribuent à rendre le message assimilable au mieux par les personnes visées.

La seconde modalité est celle de la formation. Il s'agit là d'un problème difficile car il se situe à deux niveaux dans un contexte inter-institutionnel complexe. À un premier niveau, il implique en effet que la formation initiale des professionnels de la prise en charge pédagogique ou rééducative… (IUFM, écoles d'orthophonie, de psychomotricité…) comporte un minimum d'information contextualisée sur les troubles spécifiques de la lecture, de l'orthographe, du calcul… et que la formation continue des enseignants et des professionnels de la rééducation les confronte régulièrement avec des apports nouveaux de telle sorte que soit réduit le délai entre la production des connaissances scientifiques et leur utilisation dans le domaine.

À un second niveau, la question est celle de la formation des cadres scientifiques, techniques et institutionnels susceptibles de contribuer à la production de connaissances nouvelles, de promouvoir leur diffusion à travers la formation, leur transfert vers les pratiques professionnelles afin d'assurer des expérimentations innovantes dans les meilleures conditions.

Le niveau le plus susceptible de permettre cette formation polyvalente est sans doute celui du Master (et après lui des études doctorales) qui peut offrir

une formation à la recherche et à l'intervention, en couplant de façon souple formation initiale et continue autour d'un profil de compétence professionnelle et de recherche.

La coopération inter-institutionnelle est requise là aussi entre universités, écoles professionnelles et associations.

Les troubles spécifiques des apprentissages scolaires (dyslexie, dysorthographie, dyscalculie) sont éligibles aux différents aspects de la politique nouvelle du handicap. C'est dans un tel contexte qu'il conviendrait de faire avancer leur prise en compte scientifique et technique à travers les implications qui viennent d'être soulignées.

Michel Deleau

Professeur en psychologie du développement
Université de Rennes

Note de lecture

L'expertise Inserm intitulée « Dyslexie, dysorthographie, dyscalculie » bilan des données scientifiques » constitue une synthèse des connaissances actuelles sur les troubles dits spécifiques de la lecture, de l'écriture et du calcul, traités du point de vue de la psychologie cognitive, des neurosciences (neuropsychologie, neurobiologie et génétique, épidémiologie), ainsi que des pratiques de rééducation et de leur évaluation. Elle s'appuie presque exclusivement sur les travaux de recherche publiés dans la littérature scientifique internationale indexée, mais mentionne ponctuellement les points de vue des sciences cliniques dont les théories et travaux sont diffusés dans des publications soumises à des critères d'évaluation différents.

L'introduction définit d'emblée l'enjeu de l'expertise dans le champ pédagogique et rééducatif : l'objectif est, sur la base des connaissances scientifiques actuelles de leurs causes et de leurs mécanismes, de favoriser la reconnaissance des troubles spécifiques tels que la dyslexie, la dysorthographie, la dyscalculie (repérage, dépistage, diagnostic) et de d'améliorer leur situation en développant des dispositifs pédagogiques et de soins adaptés.

La synthèse des connaissances en psychologie cognitive, neurosciences et épidémiologie est exhaustive, actualisée, critique et très clairement présentée dans le document de synthèse, traitant également largement des modèles du développement normal de ces apprentissages. Les recommandations concernent principalement les champs professionnels de l'éducation, de la pédagogie et de la rééducation orthophonique, domaines qui sortent de notre champ de compétence directe. Sa démarche qui consiste à fonder les pratiques sur les connaissances actuelles est parfaitement justifiée, dans un domaine où coexistent des pratiques diverses, appuyées sur des théorisations parfois spéculatives ou obsolètes.

L'expertise me paraît devoir être discutée à deux niveaux distincts. Le premier est celui de la validité propre des données qui y sont résumées, synthétisées et articulées. Le second concerne la réception de l'expertise par le pédopsychiatre, et ses implications pour sa pratique.

En premier lieu, le choix de se référer principalement à la littérature scientifique internationale indexée, conformément aux critères scientifiques internationaux des sciences objectives et expérimentales, dicte la nature des modèles et théories présentés. De fait, les troubles du développement du langage écrit et du calcul sont devenus un objet privilégié des recherches en psychologie expérimentale, neuropsychologie et neurosciences, et l'expertise donne accès à une somme d'informations sur les mécanismes de ces troubles,

de grand intérêt pour tout intervenant qui s'y trouve confronté, quelle que soit son identité professionnelle.

En revanche, ce choix écarte les travaux des sciences humaines et des sciences cliniques en psychiatrie et psychopathologie. Or, comme toujours en psychiatrie et psychologie, il existe pour les mêmes objets d'étude deux champs de connaissance correspondant à deux perspectives méthodologiques : l'une fondée sur l'approche objective expérimentale, l'autre fondée sur l'approche clinique intersubjective. La première correspond aux sciences cognitives, aux neurosciences et à l'épidémiologie ; dans la seconde s'inscrivent la psychopathologie clinique et les sciences de l'éducation.

Historiquement, rappelons que les troubles des apprentissages ont suscité depuis plusieurs décennies des convergences, des confrontations, et parfois des oppositions, entre tenants des approches éducatives, psychopathologiques et neurologique. Ils ont été l'objet de nombreux travaux de psychopathologues cliniciens, psychanalystes ou non, ainsi que de chercheurs en sciences de l'éducation. Cette approche n'est pas seulement historique mais actuelle, et ces courants de recherche se poursuivent dans d'autres systèmes de recherche et de diffusion des connaissances que ceux retenus ici. En effet, les troubles des apprentissages sont, comme le développement lui-même, un objet d'étude et de pratique pluridisciplinaire, à la croisée des sciences expérimentales et des sciences humaines, et il est fondamental que cette pluridisciplinarité soit prise en compte par une démarche visant à rassembler les connaissances les concernant.

De fait, plusieurs de ces auteurs sont cités dans un chapitre de la partie II de l'ouvrage, qui fait référence aux approches psychoaffectives, psychanalytiques et cliniques qui s'attachent aux facteurs environnementaux ainsi qu'à la vie psychique de l'enfant dans son ensemble. La synthèse évoque ce point de vue et plaide pour une complémentarité des approches psychologique clinique et objective neuro-cognitive.

Cependant, l'objet de l'expertise est clairement présenté dès l'avant-propos comme concernant exclusivement les troubles « dits spécifiques » des apprentissages (dyslexie, dysorthographie, dyscalculie), selon la classification internationale des malades (CIM). Cette définition exclut les troubles liés à un déficit sensoriel , mais aussi l'échec scolaire, les troubles associés à un retard développemental global (QI<70, ce qui est discutable), les facteurs environnementaux (pédagogie inadaptée, niveau socioculturel insuffisant, diversité linguistique) et les « troubles mentaux avérés ». Cette perspective justifie la manière dont l'expertise est conduite, notamment ses choix théoriques. La démarche est donc cohérente, à condition d'accepter le concept de « trouble spécifique des apprentissages ». Or, c'est sans doute ce point qui interroge le psychiatre d'enfant, en pratique comme en théorie.

Cette remarque nous conduit donc au second niveau de discussion, du point de vue de la pédopsychiatrie, qui n'est d'ailleurs pas représentée (sauf erreur de ma part) dans le groupe d'experts et d'auteurs.

Soulignons d'abord que le problème des « troubles des apprentissages » se pose au psychiatre d'enfant le plus souvent dans un contexte psychopathologique et psychiatrique avéré, et non sous la forme d'un « trouble spécifique » : association avec les troubles envahissants du développement (TED), plus souvent les états limites et « dysharmonies » psychotiques ou d'évolution (ou *Multiplex Developmental Disorders* MDD), les troubles névrotiques et conduites d'échec et d'évitement de la scolarité et des apprentissages (dites souvent encore « phobies scolaires »), des états d'inhibition sans déficit intellectuel, les troubles anxieux, les troubles de l'humeur…

Il faut alors se demander en quoi les données et recommandations de l'expertise sont pertinentes pour le pédopsychiatre, autrement bien sûr qu'à l'étape du dépistage et de l'orientation qui le concerne au même titre que d'autres professionnels de l'enfance et du développement.

Un premier objectif de la diffusion de l'expertise, tout à fait justifié, est en effet de faciliter le repérage des troubles « spécifiques » des apprentissages scolaires (dyslexie, dysorthographie, dyscalculie) par les pédopsychiatres. Ceux-ci doivent connaître l'existence de ces troubles développementaux particuliers, qui ne relèvent pas de la psychopathologie à laquelle ils ont été majoritairement formés.

Un second objectif est de permettre aux pédopsychiatres de connaître ces déficits cognitifs parce qu'ils peuvent entraîner des troubles psychopathologiques secondaires, dont ils devront assurer le traitement.

Ces objectifs sont tout à fait fondés mais ils ne résument pas l'intérêt et les implications de l'expertise pour la pédopsychiatrie.

C'est en effet le plus souvent l'absence de spécificité (l'existence d'une composante psychopathologique quelle qu'elle soit) d'une difficulté d'apprentissage qui justifie réellement l'intervention du pédopsychiatre « généraliste » (je ne parle pas de ceux d'entre nous qui se spécialisent dans cette clinique de l'apprentissage au sein de pôles de référence spécifiques pluridisciplinaires). La question est alors de savoir si les données de l'expertise : compréhension des mécanismes cognitifs en jeu et donc recommandations pour la prise en charge, s'appliquent à ces situations auxquelles la pédopsychiatrie répond plus souvent par des pratiques empiriques que par des rééducations fondées sur les connaissances neuropsychologiques.

La réponse doit être nuancée selon le contexte clinique psychiatrique des « troubles des apprentissages ». Tous n'impliquent probablement pas en effet des anomalies intrinsèques des mécanismes cognitifs de la lecture, de l'écriture ou du calcul.

Un premier type de trouble des apprentissages rencontré en clinique, largement décrit par les cliniciens, psychologues ou psychiatres, se réfère au modèle du symptôme névrotique, c'est-à-dire à des inhibitions plus ou moins

ponctuelles ou étendues des apprentissages, dues à des états intentionnels, c'est-à-dire à des stratégies inconscientes qui perturbent le fonctionnement cognitif du fait d'effets de sens propres au sujet, au contexte et à son histoire. Ce modèle est souvent opposé à tort à celui de dysfonctionnement des mécanismes cognitifs : c'est l'opposition stérile « symptôme/déficit », qui oppose de manière artificielle logique ou causalité intentionnelle (le sens d'une inhibition, lorsque le trouble d'apprentissage correspondant à un refus ou un évitement inconscient) et logique ou causalité mécaniste ou de production (une anomalie des processus cognitifs). Une anomalie cognitive est un mécanisme, et non une cause. Les deux démarches sont distinctes mais ne se contrarient pas, ni ne s'excluent. Elles sont complémentaires, et l'expérience clinique démontre qu'il existe des troubles des apprentissages de nature « fonctionnelle », réversibles, sans anomalies structurelles des processus cognitifs mis en jeu, sensibles aux approches psychothérapiques individuelles et familiales. L'anomalie de performance n'est pas liée alors à une altération de la compétence. Le déterminisme du trouble est dans ces cas environnemental et psychologique, et l'on se trouve clairement en dehors du champ des « troubles spécifiques des apprentissages ». Soulignons qu'il faut cependant veiller en pédopsychiatrie à ne pas exclure ceux-ci, de manière dualiste, au nom de l'existence de troubles fonctionnels et d'un déterminisme premier environnemental et « psycho-affectif » pour certaines difficultés d'apprentissage. Il faut veiller à ne pas exclure les déterminismes cognitif, génétique et neurobiologique également présents. Un intérêt de l'expertise est d'attirer l'attention du clinicien sur le poids spécifique du déterminisme neuro-cognitif dans certains troubles du développement.

Le second type correspond à des troubles des apprentissages associés à des troubles développementaux étendus de type TED, MDD (en termes cliniques, états limites, troubles graves de la personnalité, dysharmonies), ou à des états psychopathologiques (troubles anxieux, troubles de la personnalité, troubles de l'humeur). La question posée est la suivante : la nature des processus sous-jacents aux troubles des apprentissages est-elle ici analogue, du point de vue des anomalies des mécanismes neurocognitifs, à ce qui est connu pour les « troubles spécifiques » ? Car dans ces situations, le déficit de performance est lié à des anomalies des compétences. Cette question a des implications importantes pour la prise en charge de ces enfants qui associe toujours pratiques de soin et de rééducation (comme pour les dyslexies).

En fait, on voit que le problème en pédopsychiatrie est de concevoir la pluralité des déterminismes distincts mais co-existants : déterminisme environnemental, déterminisme psychologique (qui implique la régulation émotionnelle, les modalités d'attachement, les représentations de soi et la conscience de soi, le « narcissisme », la production de plaisir par le fonctionnement cognitif, la régulation de l'humeur), déterminisme génétique et neurobiologique. Tous sont susceptibles d'infléchir le développement d'une compétence, comme l'apprentissage de la lecture, et tous interagissent. D'où

la nécessité de pratiques pluralistes associant approches psychothérapiques et rééducatives ou pédagogiques. On peut donc proposer un modèle pluridéterministe, tel qu'il s'impose globalement en psychiatrie, et un gradient entre causalité environnementale et psychologique prédominante (produisant des anomalies acquises), et causalité génétique et biologique prédominante prédisposant à des anomalies innées, ces deux causalités interagissant le plus souvent. Une perspective dimensionnelle et polyfactorielle pluricausale est plus pertinente en psychiatrie qu'une perspective catégorielle et monofactorielle qui semble inspirer la définition des troubles « spécifiques » des apprentissages scolaires (dyslexie, dysorthographie, dyscalculie). La difficulté tient au fait que ces différentes causalités peuvent toutes induire dans les pathologies psychiatriques des anomalies cognitives et neurobiologiques, comme l'a bien montré la recherche en psychopathologie cognitive : troubles dépressifs, troubles anxieux et troubles psychotiques s'accompagnent également d'anomalies cognitives et neuropsychologiques plus ou moins réversibles. La clinique psychiatrique se prête aux différentes lectures psychologique, cognitive et neurobiologique ou neuropsychologique.

L'implication du niveau cognitif, accessible à l'approche neuropsychologique, diffère cependant selon le contexte étiologique : anomalies cognitives innées et plus ou moins réversibles s'il est principalement génétique (comme c'est le cas pour les « troubles spécifiques »), anomalies cognitives acquises et réversibles pour les troubles psychopathologiques réactionnels, et probablement anomalies à la fois innées et acquises, plus ou moins réversibles, pour les troubles sévères du développement (TED, MDD) dont le déterminisme associe facteurs génétiques et environnementaux.

On soulignera ici une relative inadéquation entre la perspective psychopathologique, qui prend en compte facteurs environnementaux et psychologiques, et les postulats sous-jacents à la notion de trouble spécifique des apprentissages. Correspond-elle à une radicale hétérogénéité des troubles des apprentissages observés en psychiatrie et des « troubles spécifiques » des apprentissages ? Auquel cas la discussion s'arrêterait ici : les modèles diffèrent parce que leurs objets seraient différents.

La place du pédopsychiatre dans la prise en charge, comme dans la compréhension du trouble, est donc interrogée. Son rôle doit-il être réduit ici à une simple contribution au diagnostic ou dépistage de la dyslexie, dysorthographie et dyscalculie, et au-delà à la prise en charge éventuelle de troubles psychologiques seulement secondaires à ces troubles ? Ou bien le pédopsychiatre est-il concerné par les troubles des apprentissages au même titre que par les autres troubles du développement constituant la psychopathologie de l'enfant ?

Il s'agit donc de savoir si les « troubles spécifiques des apprentissages » sont, de par leur déterminisme et/ou leur nature, hétérogènes à celle-ci. Or, la lecture de l'expertise témoigne d'une certaine ambiguïté sur ce point, c'est-à-

dire quant aux relations entre troubles spécifiques des apprentissages, et psychopathologie ou facteurs psychologiques. D'une part il est rappelé que les travaux actuels insistent sur la causalité génétique et biologique des troubles spécifiques ; de l'autre est suggéré un modèle polyfactoriel combinant facteurs constitutionnels et facteurs environnementaux pour les troubles spécifiques eux-mêmes conformément aux modèles actuels de la pathologie psychiatrique. Certains travaux rapportés dans l'expertise évoquent également des déterminismes communs aux différents troubles développementaux, ainsi que l'association non exceptionnelle d'une dyslexie à un trouble psychiatrique. Le paragraphe consacré aux facteurs génétiques est également informatif, mais aussi nuancé et critique, posant bien les limites d'un déterminisme génétique des comportements, de même que celles d'une causalité cérébrale des anomalies cognitives. Le rôle des facteurs environnementaux est également régulièrement soulevé. L'ambiguïté soulignée tient donc moins à l'expertise qu'au cadre préalablement et implicitement posé qui soutient le concept de « trouble spécifique ».

Corrélativement, se pose la question des critères qui selon la définition de la classification internationale (CIM-10) permettent d'écarter l'existence d'un trouble psychopathologique associé. Or ici une certaine ambiguïté inhérente à l'objet apparaît à nouveau. Il est rappelé que les troubles spécifiques des apprentissages ne peuvent être attribués à une « pathologie psychiatrique avérée ». Mais l'expertise précise que « le caractère spécifique des troubles des apprentissages (…) n'implique pas qu'ils soient monofactoriels ou isolés ». La distribution des troubles dits spécifiques dans tous les milieux socio-culturels « infirme les seules explications sociologiques et pédagogiques (…) par ailleurs, certaines difficultés d'apprentissages (de ce point de vue non spécifiques) peuvent s'inscrire dans une psychopathologie avérée ou dans des interactions précoces perturbées ».

Bien sûr est en cause également la définition du psychopathologique. Si la psychopathologie est réduite à l'existence de troubles patents, son exclusion est facile. Il en va différemment si elle est définie comme une dimension associée à celle du trouble instrumental. La question cruciale est donc de savoir si la psychopathologie est exclue parce qu'elle n'existe pas, où parce qu'elle n'est pas vue. Le même problème se pose pour les facteurs socio-culturels et pédagogiques : comment définir objectivement un environnement satisfaisant pour un enfant (un environnement défavorable est un critère d'exclusion), ou une méthode pédagogique inadaptée (qui est également un critère d'exclusion) ? Sans doute rencontre-t-on ici une difficulté en partie liée à l'écart entre la méthodologie de la recherche objective qui conditionne la définition de facteurs d'exclusion, et la méthode clinique qui tient compte de la complexité de l'objet.

La notion de comorbidité réintroduit la psychopathologie à travers de nombreuses associations entre trouble spécifique des apprentissages et trouble psychopathologique. La dyslexie constitue un facteur de risque élevé pour

d'autres troubles. Le paragraphe « troubles comportementaux et émotionnels associés » réintroduit ainsi une dimension psychopathologique des troubles dits spécifiques, dont il apparaît difficile d'affirmer la nature secondaire sinon de manière tautologique, en se référant à la définition préalable de ceux-ci (« spécificité »). En fait, ici aussi s'oppose une perspective catégorielle, pour laquelle la relation entre trouble des apprentissages et troubles psychopathologiques (anxiété, troubles des conduites, dépression) ne peut être que causale et linéaire, les premiers causant les seconds, et une perspective dimensionnelle qui éclaire la dimension psychopathologique de tout troubles des apprentissages.

Il semble qu'un modèle causal linéaire monocausal (la question de l'origine est régulièrement posée) ne permette pas de prendre en compte ici les différentes dimensions ensemble, comme si prise en compte des processus cognitifs et des logiques psycho-affectives et environnementales s'excluaient mutuellement en tant que causes exclusives. Il en résulte une tendance à subordonner de manière réductrice la psychopathologie au fonctionnement cognitif (elle serait la conséquence du trouble des apprentissages), pour contester la subordination inverse et tout aussi réductrice des troubles des apprentissages aux facteurs psychologiques. Or l'une et l'autre démarches méconnaissent la nature des interrelations réciproques entre fonctionnement psychique et développement des apprentissages. Il reste à dégager les implications méthodologiques de cette interrelation pour une démarche de recherche.

En conclusion, l'expertise apporte des informations précieuses sur les mécanismes cognitifs et la compréhension neuropsychologique de certains troubles des apprentissages, et en déduit des recommandations pertinentes. Elle concerne différemment les chercheurs, neuropsychologues, orthophonistes, pédagogues et pédopsychiatres. Elle est d'un grand intérêt pour la reconnaissance et la compréhension de la dyslexie, dysorthographie et dyscalculie. Pour le pédopsychiatre, elle soulève, à partir des apprentissages, le problème général de l'intégration de la dimension neurocognitive et de ses mécanismes propres dans la clinique psychopathologique, notamment à travers la prise en compte pour certains troubles des apprentissages d'un déterminisme peu sensible aux facteurs environnementaux et psychologiques au moins à l'origine, déterminisme irréductible donc à une causalité psychologique ou environnementale. Mais cette autonomie est relative, et un modèle polyfactoriel ou pluridéterministe reste nécessaire pour comprendre ce qui est présenté ici comme associations ou comorbidité.

L'expertise interroge enfin l'intervention du pédopsychiatre dans la prise en charge de ce type de troubles (dyslexie, dysorthographie et dyscalculie). Elle l'invite à prendre en compte les données des recherches expérimentales et des neurosciences sur le développement, mais aussi à intégrer celles-ci à la psychopathologie clinique, sans opposer prise en compte des mécanismes

cognitifs et prise en compte du sens de la conduite, pratiques de rééducation et de psychothérapies au sens large.

Nicolas Georgieff
Professeur de psychiatrie
Institut des Sciences Cognitives, Bron

Note de lecture

Spécialiste de l'histoire et de la philosophie de l'éducation et, plus particulièrement, des doctrines et pratiques pédagogiques, j'ai lu ce rapport avec grand intérêt, mais il va de soi que ce travail ne se situe absolument pas dans mon champ de recherche et relève d'une épistémologie qui m'est largement étrangère. Les remarques qui suivent sont donc des interrogations externes, d'un point de vue que je crois légitime, mais qui est, à l'évidence, très décalé par rapport à celui des auteurs de ce texte qui ont fait un travail considérable.

À ce que je peux savoir, le rapport de l'Inserm est assez largement inspiré du rapport commandé par le *National Institute of Child Health and Human Development, intitulé National Reading Panel* (2000). Compte tenu de l'importance internationale de ce dernier texte, on comprend que l'Inserm ait souhaité travailler sur les questions qu'il soulève. Il a, pour cela, repris de très nombreuses recherches anglophones, les recherches francophones étant, semble-t-il, assez rares (à l'exception, peut-être, du Québec où la spécification de TGA – troubles graves d'apprentissage – existe depuis vingt ans et mériterait, sans aucun doute, une étude précise quant à ses effets). L'utilisation d'un modèle anglophone pose donc déjà la question de l'importance du contexte culturel, sociologique et pédagogique, ainsi que de la transposition possible d'observations dans des domaines où les comparaisons sont assez difficiles (comme celui de l'apprentissage de langues aux caractéristiques très différentes les unes des autres). On peut s'interroger sur le petit nombre des recherches françaises et sur ses raisons ; on peut également se demander s'il n'aurait pas été utile de procéder à une comparaison de travaux anglophones et francophones sur des questions précises où ils existent dans les deux champs. Cela aurait peut-être éclairé le lecteur sur les conditions de transférabilité de ces travaux ainsi que sur les différences qu'ils révèlent.

Je note également que, dans l'équipe du *National Reading Panel*, comme dans celle qui a rédigé le rapport de l'Inserm, il ne semble pas y avoir de chercheurs venus des sciences sociales (sociologie, sciences de l'éducation), de l'histoire, de la philosophie et de la pédagogie. Je regrette cette absence qui, à mes yeux, compromet le caractère interdisciplinaire affiché de cette étude. S'agissant d'un travail qui touche des problèmes de société importants et de recommandations qui ont des conséquences fortes sur les projets et méthodes en matière d'éducation, cela me paraît dommageable. Certes, l'épistémologie de la recherche gagne en homogénéité et les résultats en lisibilité, mais on peut craindre que cela soit au détriment de la prise en compte de la complexité des situations. On peut craindre aussi que cette épistémologie présuppose ce qu'elle trouve, comme cela est légitime dans une démarche

scientifique, mais comme cela peut être inquiétant dans une démarche qui se veut prospective et, surtout, prescriptive.

Plus précisément, il me semble que l'ensemble du travail néglige trois dimensions importantes à mes yeux : la dimension sociologique, la dimension de psychologie clinique et la dimension pédagogique. Sur le plan sociologique, les chercheurs indiquent que les enfants étudiés sont issus de tous les milieux sociaux (sans préciser s'il s'agit d'échantillonnages équilibrés) : il me semble que cela n'est pas suffisant pour affirmer que la variable sociale n'a aucun effet sur les troubles des apprentissages scolaires ; des recherches systématiques de corrélation auraient pu être engagées pour valider ou invalider ce qui reste une hypothèse de travail. Sur le plan de la psychologie clinique, on s'interroge sur la situation des enfants dans leur famille et leur fratrie, sur l'impact des trajectoires individuelles, en particulier en ce qui concerne les situations d'intégration culturelle difficile, sur l'existence de cas isolés et significatifs dans des contextes donnés… Une approche de ces différents éléments permettrait peut-être de nuancer certaines catégorisations, de moduler certains diagnostics et de présenter des typologies de « scénarios » plutôt que des typologies de pathologies. Sur le plan pédagogique, enfin, je suis surpris que les pratiques scolaires soient considérées, de fait, comme sans aucune importance sur les troubles des apprentissages scolaires. Cela signifie-t-il que tout se joue en amont et que la pédagogie n'a aucune importance ni dans la construction des difficultés, ni dans leur résolution ? Je ne peux pas, bien évidemment, imaginer que les chercheurs se rallient à une telle position, je crois, plutôt qu'il s'agit d'une posture épistémologique qui neutralise méthodologiquement des phénomènes qu'elle a décidé de ne pas étudier. Mais n'y a-t-il pas un danger alors à considérer ses résultats comme susceptibles de servir de base à des prescriptions, sachant que, justement, ces prescriptions sont contenues dans la posture épistémologique elle-même et qu'elles seront donc individuelles, cognitives et thérapeutiques, trois caractéristiques fortes qu'on ne trouve en aval que parce qu'on les a postulées en amont ? Au bout du compte, en dépit des précautions oratoires du rapport, ce dernier ne tient que si l'on sépare les causes biologiques des causes pédagogiques et sociales des « difficultés d'apprentissage ». Bien évidemment, je ne conteste nullement l'objectivité des recherches présentées (garanties par la méthode expérimentale), mais je m'interroge sur leur validité et, encore plus, sur leur légitimité à permettre de faire des prescriptions.

L'histoire de la pédagogie est, sur cette question, très éclairante : les travaux scientifiques y sont toujours mobilisés en raison de ce que, précisément, ils portent des solutions axiologiquement acceptables dans leur épistémologie de référence. Ainsi ont fonctionné, pour rester dans un passé récent, la psychosociologie, l'approche psychanalytique et la psychologie génétique piagétienne. À cet égard – et c'est ce qui est regrettable à mon avis – les auteurs du rapport font bien de la pédagogie alors qu'ils laissent entendre qu'ils n'en font point : ils proposent une vision de l'éducation et des pratiques éducati-

ves susceptibles, à leurs yeux, de contribuer au développement et aux apprentissages des enfants cohérentes avec leur méthodologie de recherche… Mais ils font ces propositions sans les interroger du point de vue axiologique et pédagogique. C'est une pédagogie qui s'ignore comme telle. Et qui se présente de telle manière qu'elle décourage systématiquement (et scientifiquement) toute critique.

De quelle pédagogie s'agit-il ? Il s'agit d'un modèle qui s'inscrit dans toute une histoire des idées éducatives depuis un siècle (on peut en dater l'apparition au Plan Dalton en 1905), celui de l'éducation comme « remédiation individuelle cognitive ». Ce courant a été fécond et a produit de nombreux « systèmes pédagogiques » : des travaux ont été menés sur leurs effets et leurs résultats sont très contrastés et polémiques (c'est le cas, en particulier, des outils d'éducabilité cognitive). Il n'est pas question de le rejeter complètement. En revanche, il est possible de l'interroger sur plusieurs plans : 1) la remédiation érigée en principe pédagogique absolu renvoie toujours à une recherche des causes en amont qui, le plus souvent, conduit au biologique, parce que ce dernier est, tout simplement, aujourd'hui « l'amont absolu » (ce n'était pas le cas dans une société animiste ou religieuse) ; 2) cette « biologisation » clairement exprimée ou euphémisée conduit systématiquement à l'élaboration de typologies dont les effets d'assignation et d'enfermement sont bien connus par ailleurs ; l'histoire montre que ces typologies sont toujours remises en question et que c'est par leur subversion que les pratiques pédagogiques progressent ; 3) la considération des troubles sous l'angle exclusivement endogène (à partir de « troubles primaires dont l'origine apparaît indépendante de l'environnement socioculturel ») a pour conséquence systématique de négliger toutes les interactions sociales, familiales, des pairs, dans les institutions éducatives ; 4) en procédant ainsi, on paralyse ou discrédite toute inventivité et toute recherche rigoureuse sur ces interactions, en particulier, dans l'acte pédagogique ; j'ai montré, pour ma part, le caractère radicalement hétérogène des « solutions » efficaces en pédagogie, au regard de l'analyse des causes des difficultés ; 5) au bout du compte, c'est toujours la pathologisation de la difficulté scolaire qui se profile, avec un dessaisissement des enseignants et un surinvestissement des personnels de santé très spécialisés ; 6) dans le cas d'espèce, cette pathologisation se réduit à une approche cognitive qui, malgré ses dénégations, isole un segment dans l'individu quand elle prétend le traiter dans sa globalité ; 7) cet isolement permet de faire passer au second plan de graves dysfonctionnements sociaux qui sont ainsi exonérés de toute responsabilité ; 8) dans la conjoncture actuelle, cette démarche se traduit par la chaîne « repérage–dépistage–diagnostic–prise en charge » ; il est à craindre que cela corresponde à une dérive de notre société qui, au lieu de mettre en place des situations susceptibles de favoriser les apprentissages, propose un marché du « soutien » et de la « remédiation » qui, à terme, devrait être médicalisé et remboursé par les mutuelles de santé ; 9) cela provoquera inévitablement une marginalisation des sujets ainsi traités et renforcera les forces centrifuges déjà à l'œuvre dans notre société.

Ainsi sommes-nous en face d'une conjonction préoccupante entre une approche purement fonctionnaliste et catégorielle des apprentissages et le paradigme individualiste et libéral qui régit nos sociétés. En réifiant les difficultés survenues à un moment donné de l'histoire d'un enfant (et qui peuvent disparaître assez vite, comme en attestent plusieurs études que j'ai pu mener, sans que des remédiations cognitives individuelles aient été mises en place), on crée une entité sociale qui risque de transformer le symptôme en réalité durable. La « nomination » même des troubles, consubstantielle à la catégorisation, produit, dans le champ social, des formes de communication stigmatisantes quand elle ne génère pas simplement, par un effet d'« aspiration » des comportements, ce qu'elle prétend décrire. Tout cela va dans le sens de l'objectivation du sujet et de la marchandisation de son éducation… En tant que pédagogue, il me semble, au contraire, particulièrement important de repérer en quoi l'éducation peut demeurer un facteur de résistance à cette réification : la pédagogie dont je me réclame insiste, en effet, sur l'éducation comme élaboration de situations permettant l'émergence d'un sujet. Et de « sujet », il n'est pas question dans ce rapport de l'Inserm (à cet égard, il me paraît en retrait par rapport à de multiples travaux effectués en médecine où l'implication du sujet et de son histoire dans sa propre guérison est mise en évidence).

Bien évidemment, il n'est pas question, pour autant, de nier l'intérêt de ces recherches et de ces résultats : il faut néanmoins, à mes yeux, les manipuler avec beaucoup de précautions. Je préconiserais, pour ma part, de constituer toujours, pour examiner les troubles d'apprentissage, des équipes pluridisciplinaires comportant des spécialistes issus des sciences sociales, des historiens, des philosophes et des pédagogues. Cela devrait être le cas aussi bien pour les expertises au plus haut niveau que dans la considération des problèmes concrets sur le terrain. C'est, d'ailleurs, la condition pour que les praticiens, légitimement réfractaires au discours applicationniste et scientiste, puissent être partie prenante du travail contre les « troubles spécifiques des apprentissages scolaires » et pour la réussite de tous les enfants.

Philippe Meirieu

Professeur en sciences de l'éducation
Université Lumière-Lyon 2

Réponse du groupe d'experts à la note de lecture de Philippe Meirieu

Pour cette expertise collective intitulée « Dyslexie, dysorthographie, dyscalculie, bilan des données scientifiques » menée sous l'égide de l'Inserm, la recherche bibliographique a été effectuée dans les bases documentaires scientifiques internationales dans lesquelles tous les champs disciplinaires sont représentés. Elle a permis de recueillir, comme pour toutes les autres expertises collectives quel que soit le sujet traité principalement, des travaux en langue anglaise y compris les travaux émanant d'équipes françaises dont les publications sont soumises aux critères standards d'évaluation. Des publications issues du rapport commandé par le *National Institute of Child Health and Human Development* sont référencées dans trois chapitres de l'expertise.

Les experts ont été recrutés sur la base de leurs publications dans le domaine de l'expertise c'est-à-dire les troubles « spécifiques » des apprentissages (dyslexie, dysorthographie, dyscalculie) défini avec le commanditaire. Les disciplines suivantes étaient représentées : psychologie, neuropédiatrie, neurologie, épidémiologie, sciences cognitives, psycholinguistique, neuro-cognition.

La confusion entre difficultés d'apprentissages et troubles « spécifiques » des apprentissages (définis selon les normes internationales) est fréquente et parfois même exploitée pour permettre des digressions hors sujet. Pour éviter tout malentendu sur le travail effectué par les experts, le choix a été fait d'intituler l'ouvrage « dyslexie, dysorthographie, dyscalculie, bilan des données scientifiques » termes plus précis que « troubles spécifiques des apprentissages scolaires ».

Les travaux menés en France sur la dyslexie sont importants en nombre et en qualité. On peut regretter qu'ils soient moins nombreux en ce qui concerne la dysorthographie ou la dyscalculie mais plusieurs équipes, notamment à l'Inserm, s'intéressent à ce sujet. Des collaborations internationales caractérisent généralement des disciplines comme la neuro-imagerie ou la génétique. Dans ces domaines, la question de la transférabilité des données ne se pose pas. Les travaux en sciences de l'éducation et en sciences sociales concernant la dyslexie, la dysorthographie et la dyscalculie et qui présentent des résultats dépendants du contexte linguistique ont été analysés dans plusieurs chapitres de cette expertise.

La confusion qui transparaît dans le propos de Philippe Meirieu entre des difficultés d'apprentissage dont les causes peuvent être *sociologiques*, *pédagogi-*

ques ou psychologiques et des troubles tels que la dyslexie, la dysorthographie et la dyscalculie pose question car ces derniers ne peuvent pas être considérés et pris en charge de la même manière que des difficultés temporaires d'apprentissages.

L'objectif du travail réalisé par les experts, à travers ce bilan des connaissances, est d'informer les parents, les enseignants, les éducateurs et les professionnels de santé qu'il n'y a aucun bénéfice à vouloir « médicaliser » des difficultés temporaires d'apprentissage qui ne sont pas reconnues comme des troubles « spécifiques » des apprentissages. Le terme « spécifiques » signifie ici, selon la classification internationale des maladies de l'OMS, qu'il s'agit de troubles d'origine neuro-developpementale souvent sévères, persistants et qui vont nécessiter non seulement une prise en charge individuelle mais des aménagements et adaptations scolaires pour permettre aux élèves de surmonter leur handicap tout au long de leur scolarité (primaire, secondaire et universitaire) y compris au moment des examens et des concours. Un décret récent concerne cet aspect.

Même si les travaux analysés par les experts indiquent bien que la dyslexie se rencontre dans tous les milieux sociaux, cela ne signifie pas que « *la variable sociale* » n'a aucun effet sur les troubles des apprentissages scolaires, fussent-ils des troubles « spécifiques ». Un milieu familial stimulant au plan psycho-éducatif est en effet une chance pour un enfant atteint de dyslexie de pouvoir mieux et plus rapidement surmonter son handicap.

Le texte de Philippe Meirieu présente l'intérêt de pointer le paradoxe clairement énoncé par Jean-François Demonet lors de la réunion du 16 janvier : comment admettre que « des aptitudes hautement dépendantes de la culture et des apprentissages scolaires s'avèrent, à la lumière des travaux scientifiques, étroitement liées à des particularités de l'organisation du cerveau humain, voire à des particularités du génome ». Est-ce à dire pour autant que l'influence d'un facteur génétique signe un déterminisme ? Il est évident que non puisque le fait est probabiliste et que la résultante est dépendante de l'interaction avec les facteurs environnementaux. Ainsi, il n'y a pas de paradigme exclusivement biologique ou de paradigme exclusivement environnemental (sociologique, pédagogique, psychologique…).

Le propos de Philippe Meirieu « *la nomination » même des troubles, consubstantielle à la catégorisation, produit, dans le champ social, des formes de communication stigmatisantes quand elle ne génère pas simplement, par un effet d'« aspiration » des comportements, ce qu'elle prétend décrire* » ne correspond pas à l'expérience des représentants des associations de familles plusieurs fois rencontrés au cours de l'expertise. Tous ceux qui ont vécu de près la souffrance générée par un trouble spécifique d'apprentissage savent que « nommer » le trouble est le meilleur moyen de le surmonter. Le groupe d'experts, composé de chercheurs mais aussi de cliniciens en contact avec les familles et les enfants en consultation, souligne dans les recommandations la

nécessité de reconnaître, diagnostiquer et prendre en charge (soin et pédagogie) des troubles tels que la dyslexie, la dysorthographie et la dyscalculie parce qu'il en va de l'intérêt de l'enfant pour la poursuite de ses apprentissages scolaires et de son intégration sociale. Renoncer à considérer certains troubles des apprentissages comme un « handicap » sévère peut-être une attitude inappropriée pour les enfants et leur famille, et également déstabilisante pour certains enseignants. Ces derniers qui, loin de se démobiliser face aux problèmes d'apprentissage, apprennent de mieux en mieux à intégrer dans leur pratique quotidienne ce handicap et ses mécanismes.

En aucun cas « l'éducation » n'est conçue dans l'expertise sur le modèle de la remédiation individuelle cognitive. Elle est au contraire conçue comme la prise en compte des particularités de chaque enfant, de ses difficultés propres, conduisant à la mise en place en première intention de mesures pédagogiques adaptées, visant à éviter le recours systématique à la médicalisation. La remédiation individuelle cognitive ne concerne que les enfants résistants aux actions pédagogiques. Mais là encore, cette remédiation ne peut être conçue qu'en interaction avec la mise en place de mesures pédagogiques sur le lieu de l'école. Pour la plupart des cliniciens, des éducateurs, des chercheurs et des familles cette situation de « résistance » appelle à prendre en charge l'enfant avec les acquis de la connaissance scientifique. C'est pour répondre à cet objectif que le groupe d'experts a réalisé sans *a priori* cette synthèse de la littérature scientifique destinées à apporter un éclairage scientifique utile (nécessaire mais non suffisant) aux décideurs selon le principe même de l'expertise collective Inserm.

La partie III de l'expertise témoigne du fait que la recherche vise moins à identifier des causes en amont que des mécanismes explicatifs, et ne conduit pas au biologique seul mais aux interactions entre le biologique et les facteurs environnementaux, dans le sens large de ce terme. L'expertise plaide en particulier pour la mise en place d'expérimentations pédagogiques. Ces expérimentations peuvent être particulièrement novatrices et efficaces dès lors qu'elles mettent à profit une meilleure compréhension des mécanismes sous-tendant les troubles. En faisant le point sur l'état actuel des connaissances scientifiques sur ces mécanismes, l'expertise présente également l'intérêt de susciter des recherches à visée applicative.

Les recommandations formulées par le groupe d'experts ne peuvent en aucun cas être considérées comme des « *prescriptions* ». Elles sont des propositions issues d'une analyse de la littérature scientifique, littérature dont les insuffisances, les manques et les limitations sont énumérées tout au long du travail. Elles doivent être remises dans un contexte d'opérationnalité, débattues avec l'ensemble des professionnels concernés et les représentants des associations de patients et de la société civile, de façon à ce que tous les points de vue et toutes les postures épistémologiques puissent être pris en considération avant qu'une quelconque *« prescription »* puisse être valablement édictée. C'est dans cet esprit et pour amorcer cette deuxième étape que

la synthèse et les propositions de recommandations de l'expertise ont fait l'objet de discussions élargies lors des rencontres-débats du 5 juillet 2006 et du 16 janvier 2007 avec des représentants des professionnels concernés, des associations de patients, des chercheurs et cliniciens et que les commentaires de ces participants sont joints à l'expertise.

Annexes

ANNEXE 1

Expertise collective Inserm

Éléments de méthode

L'Expertise collective Inserm[80] apporte un éclairage scientifique sur un sujet donné dans le domaine de la santé à partir de l'analyse critique et de la synthèse de la littérature scientifique internationale. Elle est réalisée à la demande d'institutions souhaitant disposer des données récentes issues de la recherche utiles à leurs processus décisionnels en matière de politique publique. L'Expertise collective Inserm doit être considérée comme une étape initiale, nécessaire mais le plus souvent non suffisante, pour aboutir aux prises de décision. Les conclusions apportées par les travaux d'expertise collective contribuent, mais ne peuvent se substituer, au débat des professionnels concernés ou au débat de société si les questions traitées sont particulièrement complexes et sensibles.

L'Expertise collective Inserm peut être complétée, à la demande d'un commanditaire, par une expertise « opérationnelle » qui s'intéresse à l'application des connaissances et recommandations en tenant compte de facteurs contextuels (programmes existants, structures, acteurs, formations…). Ce type d'expertise sollicite la participation d'acteurs de terrain susceptibles de répondre aux aspects de faisabilité, de représentants d'administrations ou institutions chargées de promouvoir les applications dans le domaine concerné, d'experts ayant participé aux expertises, de représentants d'associations de patients. La mise en commun de cultures et d'expériences variées permet une approche complémentaire à l'expertise collective dans un objectif d'opérationnalité. De même, différents travaux (recommandations de bonnes pratiques, audition publique…) conduits sous l'égide de la Haute autorité de santé (HAS) peuvent faire suite à une expertise collective Inserm.

L'expertise collective est une mission de l'Inserm depuis 1994. Une soixantaine d'expertises collectives ont été réalisées dans de nombreux domaines de la santé. L'Institut est garant des conditions dans lesquelles l'expertise est réalisée (exhaustivité des sources documentaires, qualification et indépendance des experts, transparence du processus).

Le Centre d'expertise collective Inserm organise les différentes étapes de l'expertise depuis la phase d'instruction jusqu'aux aspects de communication du rapport avec le concours des services de l'Inserm. L'équipe du Centre d'ex-

80. Label déposé par l'Inserm

pertise collective constituée d'ingénieurs, de chercheurs et d'un secrétariat assure la recherche documentaire, la logistique et l'animation des réunions d'expertise, et contribue à la rédaction scientifique et à l'élaboration des produits de l'expertise. Des échanges réguliers avec d'autres organismes publics (EPST) pratiquant le même type d'expertise collective ont permis de mettre en place des procédures similaires.

Instruction de la demande

La phase d'instruction permet de définir la demande avec le commanditaire, de vérifier qu'il existe bien une littérature scientifique accessible sur la question posée et d'établir un cahier des charges qui précise le cadrage de l'expertise (état des lieux du périmètre et des principales thématiques du sujet), sa durée et son budget à travers une convention signée entre le commanditaire et l'Inserm.

Au cours de cette phase d'instruction sont également organisées par l'Inserm des rencontres avec les associations de patients pour prendre connaissance des questions qu'elles souhaitent voir traitées et des sources de données dont elles disposent. Ces informations seront intégrées au programme scientifique de l'expertise. Pour certains sujets, un échange avec des partenaires industriels s'avère indispensable pour avoir accès à des données complémentaires inaccessibles dans les bases de données.

Mise en place d'un comité de suivi et d'une cellule d'accompagnement de l'expertise

Un comité de suivi constitué de représentants du commanditaire et de l'Inserm est mis en place. Il se réunit plusieurs fois au cours de l'expertise pour suivre la progression du travail des experts, évoquer les difficultés éventuelles rencontrées dans le traitement des questions, veiller au respect du cahier des charges et examiner d'éventuels nouveaux éléments du contexte réglementaire et politique utiles pour le travail en cours. Le comité est également réuni en fin d'expertise pour la présentation des conclusions de l'expertise avant l'établissement de la version finale du rapport.

Pour les expertises traitant de sujets sensibles, une cellule d'accompagnement est également mise en place qui réunit des représentants de la Direction générale de l'Inserm, du conseil scientifique, du comité d'éthique de l'Inserm, du département de la communication, des chercheurs en sciences humaines et sociales et des spécialistes d'histoire des sciences. Cette cellule a pour rôle de repérer au début de l'expertise les problématiques susceptibles d'avoir une forte résonance pour les professionnels concernés et pour la société civile et de suggérer l'audition de professionnels des domaines connexes, de représentants de la société civile et d'associations de patients. En bref, il s'agit de

prendre la mesure de la perception que les différents destinataires pourront avoir de l'expertise. Avant la publication de l'expertise, la cellule d'accompagnement porte une attention particulière à la façon dont la synthèse et les recommandations sont rédigées incluant si nécessaire l'expression de différents points de vue. En aval de l'expertise, la cellule a pour mission de renforcer et d'améliorer la diffusion des résultats de l'expertise en organisant par exemple des colloques ou séminaires avec les professionnels du domaine et les acteurs concernés ou encore des débats publics avec les représentants de la société civile. Ces échanges doivent permettre une meilleure compréhension et une appropriation de la connaissance issue de l'expertise.

Réalisation de la recherche bibliographique

Le cahier des charges, établi avec le commanditaire, est traduit en une liste exhaustive de questions scientifiques correspondant au périmètre de l'expertise avec l'aide de scientifiques référents du domaine appartenant aux instances de l'Inserm. Les questions scientifiques permettent d'identifier les disciplines concernées et de construire une arborescence de mots clés qui servira à une interrogation systématique des bases de données biomédicales internationales. Les articles et documents sélectionnés en fonction de leur pertinence pour répondre aux questions scientifiques constituent la base documentaire qui sera transmise aux experts. Il sera demandé à chacun des membres du groupe de compléter tout au long de l'expertise cette base documentaire.

Des rapports institutionnels (parlementaires, européens, internationaux…), des données statistiques brutes, des publications émanant d'associations et d'autres documents de littérature grise sont également repérés (sans prétention à l'exhaustivité) pour compléter les publications académiques et mis à la disposition des experts. Il leur revient de prendre en compte, ou non, ces sources selon l'intérêt et la qualité des informations qu'ils leur reconnaissent. Enfin, une revue des principaux articles de la presse française est fournie aux experts au cours de l'expertise leur permettant de suivre l'actualité sur le thème et sa traduction sociale.

Constitution du groupe d'experts

Le groupe d'experts est constitué en fonction des compétences scientifiques nécessaires à l'analyse de l'ensemble de la bibliographie recueillie et à la complémentarité des approches. L'Expertise collective Inserm étant définie comme une analyse critique des connaissances académiques disponibles, le choix des experts se fonde sur leurs compétences scientifiques, attestées par leurs publications dans des revues à comité de lecture et la reconnaissance par leurs pairs. La logique de recrutement des experts fondée sur leur compétence

scientifique et non leur connaissance du terrain est à souligner, dans la mesure où il s'agit d'une source récurrente de malentendus lors de la publication des expertises.

Les experts sont choisis dans l'ensemble de la communauté scientifique française et internationale. Ils doivent être indépendants du partenaire commanditaire de l'expertise et de groupes de pression reconnus. La composition du groupe d'experts est validée par la Direction générale de l'Inserm.

Plusieurs scientifiques extérieurs au groupe peuvent être sollicités pour apporter ponctuellement leur contribution sur un thème particulier au cours de l'expertise.

Le travail des experts dure de 12 à 18 mois selon le volume de littérature à analyser et la complexité du sujet.

Première réunion du groupe d'experts

Avant la première réunion, les experts reçoivent un document explicatif de leur mission, le programme scientifique (les questions à traiter), le plan de travail, la base bibliographique de l'expertise établie à ce jour ainsi que les articles qui leur sont plus spécifiquement attribués selon leur champ de compétence.

Au cours de la première réunion, le groupe d'experts discute la liste des questions à traiter, la complète ou la modifie. Il examine également la base bibliographique et propose des recherches supplémentaires pour l'enrichir.

Analyse critique de la littérature par les experts

Au cours des réunions, chaque expert est amené à présenter oralement son analyse critique de la littérature sur l'aspect qui lui a été attribué dans son champ de compétence en faisant la part des acquis, incertitudes et controverses du savoir actuel. Les questions, remarques, points de convergence ou de divergence suscités par cette analyse au sein du groupe sont pris en considération dans le chapitre que chacun des experts rédige. Le rapport d'analyse, regroupant ces différents chapitres, reflète ainsi l'état de l'art dans les différentes disciplines concernées par le sujet traité. Les références bibliographiques utilisées par l'expert sont citées au sein et en fin de chapitre.

Synthèse et recommandations

Une synthèse reprend les grandes lignes de l'analyse de la littérature et en dégage les principaux constats et lignes de force. Certaines contributions d'intervenants extérieurs au groupe peuvent être résumées dans la synthèse.

Cette synthèse est plus spécifiquement destinée au commanditaire et aux décideurs dans une perspective d'utilisation des connaissances qui y sont présentées. Son écriture doit donc tenir compte du fait qu'elle sera lue par des non scientifiques.

Dès la publication du rapport, cette synthèse est mise en ligne sur le site Web de l'Inserm. Elle fait l'objet d'une traduction en anglais qui est accessible sur le site du NCBI/NLM (*National Center for Biotechnology Information* de la *National Library of Medecine*) et Sinapse (*Scientific INformAtion for Policy Support in Europe,* site de la Commission Européenne).

À la demande du commanditaire, certaines expertises collectives s'accompagnent de « recommandations ». Deux types de « recommandations » sont formulés par le groupe d'experts. Des « principes d'actions » qui s'appuient sur un référentiel scientifique validé pour définir des actions futures en santé publique (essentiellement en dépistage, prévention et prise en charge) mais qui en aucun cas ne peuvent être considérés comme des recommandations « opérationnelles » dans la mesure où les éléments du contexte économique ou politique n'ont pas été pris en compte dans l'analyse scientifique. Des « axes de recherche » sont également proposés par le groupe d'experts pour combler les lacunes de connaissances scientifiques constatées au cours de l'analyse. Là encore, ces propositions ne peuvent être considérées comme des recherches « prioritaires » sans une mise en perspective qu'il revient aux instances concernées de réaliser.

Lecture critique du rapport et de la synthèse par des grands « lecteurs »

Pour certaines expertises traitant de sujets sensibles, une note de lecture critique est demandée à plusieurs grands « lecteurs » choisis pour leurs compétences scientifiques ou médicales, exerçant des fonctions d'animation ou d'évaluation dans des programmes de recherche français ou européens ou encore participant à des groupes de travail ministériels. De même, le rapport et la synthèse (et recommandations) peuvent être soumis à des personnalités ayant une bonne connaissance du « terrain » et susceptibles d'appréhender les enjeux socioéconomiques et politiques des connaissances (et propositions) qui sont présentées dans l'expertise.

Présentation des conclusions de l'expertise et mise en débat

Un séminaire ouvert à différents milieux concernés par le thème de l'expertise (associations de patients, associations professionnelles, syndicats, institutions…) permet une première mise en débat des conclusions de l'expertise. C'est à partir de cet échange que peut être établie la version finale du document de synthèse intégrant les différents points de vue qui se sont exprimés.

ANNEXE 2

Centres référents pour les troubles du langage

Régions	Établissements
Alsace	Unité d'évaluation des troubles d'apprentissage Strasbourg Hôpitaux universitaires de Strasbourg Responsable : Dr A. de Saint Martin Rattachement : Service de Pédiatrie 1 (Pr Fischbach) Site : CHU Hautepierre Avenue Molière 67098 Strasbourg cedex Téléphone : 03 88 12 83 28 Fax : 03 88 12 83 30
Aquitaine	Centre de référence des troubles spécifiques du langage Bordeaux Responsable : Dr M. Husson/Dr Pedespan Rattachement : CHU Bordeaux Département de pédiatrie médicale Site : Hôpital Pellegrin-Enfants Place Amélie Raba Léon 33076 Bordeaux cedex Téléphone : 05 56 79 59 36 Fax : 05 56 79 60 54
Auvergne	Unité d'évaluation des troubles du développement Clermont-Ferrand Responsable : Dr J. Geneste Rattachement : CHU de Clermont-Ferrand Site : Groupe hospitalier Saint-Jacques Service de psychiatrie de l'enfant et l'adolescent BP 69 63003 Clermont-Ferrand cedex 1 Téléphone : 04 73 75 19 50/19 52 Fax : 04 73 75 19 51
Basse-Normandie	Centre audition et langage, et troubles des apprentissages Caen Responsable : Dr MJ. Penniello-Valette Rattachement : CHU Caen Site : CHRU de Caen Service de pédiatrie B Avenue Georges-Clémenceau 14033 Caen cedex

Régions	Établissements
	Téléphone : 02 31 27 25 77 Fax : 02 31 27 25 81 Centre Audition et Langage Caen Responsable : Pr Valdazo Rattachement : CHU Caen Site : CHU Côte de Nacre Service : Service ORL CHU Côte de Nacre 14033 Caen cedex Téléphone : 02 31 06 46 40 Fax : 02 31 06 49 16
Bourgogne	Dijon Responsable : Pr Huet CHU de Dijon Service de pédiatrie et génétique médicale 1 boulevard Jeanne d'Arc BP 77908 21079 Dijon cedex Téléphone : 03 80 29 34 14
Bretagne	Rennes Responsable : Dr Allaire/Dr Pialoux Rattachement : CHRU de Rennes Service MPR enfants 2 rue Henri Guillou 35033 Rennes cedex 9 Téléphone : 02 99 28 95 33 Fax : 02 99 28 42 05 Brest Responsable : Dr S. Peudenier Rattachement : CHU de Brest Service pédiatrie et génétique médicale 2 avenue Foch 29609 Brest cedex Téléphone : 02 98 22 36 57
Centre	Réseau DYS 45 Orléans Responsable : Dr C. Boisseau/Dr Bentata Rattachement : CHR Orléans Site : Hôpital Porte Madeleine 1, rue Porte Madeleine 45032 Orléans cedex 1 Téléphone : 02 38 74 44 61 Centre référent des troubles du langage et des apprentissages Tours Responsable : Dr MA. Barthez

Régions	Établissements
	Rattachement : CHRU Tours Site : Hôpital Clocheville Service de neurologie pédiatrique 49, boulevard Béranger 37044 Tours Téléphone : 02 47 47 47 57 Fax : 02 47 47 82 50
Champagne-Ardenne	Centre régional de référence sur les troubles spécifiques du développement du langage oral et écrit Reims Responsables : Pr J. Motte/Pr G. Schmit Rattachement : CHU Reims Site : American Memorial Hospital Service de pédiatrie A 47, rue Cognacq-Jay 51092 Reims cedex Téléphone : 03 26 78 88 70 Fax : 03 26 78 91 62
Franche-Comté	Centre de référence des troubles d'apprentissage de l'enfant du langage oral/écrit Besançon Responsable : Dr D. Amsellem Rattachement : CHU de Besançon Site : CHU Saint-Jacques Service de pédiatrie 2 place Saint-Jacques 25000 Besançon Téléphone : 03 81 21 84 29
Haute-Normandie	Rouen Responsables : Dr Marret/Dr Charollais Rattachement : CHU Rouen Site : CHU Charles Nicolle 1 rue de Germont 76000 Rouen Téléphone : 02 32 88 01 03/80 99 Fax : 02 32 88 86 33 Le Havre Responsable : Dr J. Boulloche Rattachement : CH du Havre Site : Hopital Flaubert Service de neuropédiatrie BP 24 76083 Le Havre cedex Téléphone : 02 32 73 36 30 Fax : 02 32 73 35 51

Régions	Établissements
Ile-de-France	Unité de psychopathologie de l'enfant et de l'adolescent Paris Responsable : Dr E. Lenoble Rattachement : Centre Hospitalier Sainte Anne (CHSA) Site : Centre Hospitalier Sainte Anne (CHSA) Service de psychologie et psychiatrie de l'enfant et de l'adolescent - 6e secteur de psychiatrie infantojuvénile 1, rue Cabanis 75014 Paris Téléphone : 01 45 65 80 69 Centre de Garches Garches Responsable : Pr P. Azouvi Rattachement : AP-HP Site : Hôpital Raymond Poincaré Service de médecine physique et réadaptation de l'enfant 104, boulevard Raymond Poincaré 92380 Garches Téléphone : 01 47 10 79 16/79 10/76 58 Fax : 01 47 10 79 15 Centre du langage d'Avicenne Bobigny Responsable : Pr MR. Moro Rattachement : AP-HP Site : Hôpital Avicenne Service de psychopathologie de l'enfant et de l'adolescent Bâtiment Claude Bernard - Porte 3 - 1er étage 125, rue de Stalingrad 93009 Bobigny cedex Téléphone : 01 48 95 53 74 Unité de rééducation neuropédiatrique Le Kremlin Bicêtre Responsable : Dr C. Billard Rattachement : AP-HP Site : CHU Bicêtre Unité de rééducation neuropédiatrique 78, rue du Général Leclerc 94275 Le Kremlin Bicêtre Téléphone : 01 45 21 22 90/24 89 Unité de langage et de neuropsychologie Responsables : Pr Billette de Villemeur/Pr Ponsot Rattachement : AP-HP Site : Hôpital Trousseau Service de neuropédiatrie 26, avenue du Dr Arnold Netter 75012 Paris Téléphone : 01 44 73 66 37

Régions	Établissements
	Centre référent des troubles du langage et des apprentissages Responsable : Pr B. Golse Rattachement : AP-HP Site : Hôpital Necker Enfants malades Service de pédopsychiatrie 149-161, rue de Sèvres 75015 Paris Téléphone : 01 44 49 46 44 Fax : 01 44 49 47 10 Centre de référence des troubles du langage du service de psychopathologie de l'enfant et de l'adolescent de l'hôpital Robert Debré Responsables : Dr MF. Le Heuzey/Pr MC. Mouren-Simeoni/Dr CL. Gerard/ Dr S. Franc Rattachement : AP-HP Site : Hôpital Robert Debré Service de psychopathologie de l'enfant et de l'adolescent 48, boulevard Sérurier 75019 Paris Téléphone : 01 40 03 22 67/22 63 Fax : 01 40 03 22 97 Service de psychiatrie de l'enfant et de l'adolescent Responsables : Pr Philippe MAZET/Dr David COHEN Rattachement : AP-HP Site : CHU Pitié-Salpêtrière 47, bd de l'Hôpital 75651 Paris cedex 13 Téléphone : 01 42 16 23 63/23 33 Fax : 01 42 16 23 31
Languedoc-Roussillon	Centre référent pour l'analyse des outils du langage Montpellier Responsable : Pr B. Echenne Rattachement : CHU Montpellier Site : Hôpital Gui de Chauliac Service neuropédiatrie 34295 Montpellier Téléphone : 04 67 33 72 23/01 82 Fax : 04 67 33 77 33 Unité de neuropsychologie et analyse des troubles du langage Montpellier Responsable : Dr R. Cheminal Rattachement : CHU de Montpellier Site : Hôpital Gui de Chauliac Service de neuropédiatrie 80, avenue Augustin Fliche 34295 Montpellier cedex 5 Téléphone : 04 67 33 01 89 Fax : 04 67 33 77 33

Régions	Établissements
Limousin	Centre de référence des troubles de l'apprentissage Limoges Responsable : Pr C. Laroche Rattachement : CHU Limoges Site : CHU Dupuytren Département de pédiatrie médicale 2 avenue M.L. King 87042 Limoges cedex 1 Téléphone : 05 55 05 68 80 Fax : 05 55 05 67 97
Lorraine	Nancy CHU de Nancy Pr Vidailhet
Midi-Pyrénées	Centre d'évaluation des troubles de langage et des difficultés d'apprentissage chez l'enfant Toulouse Responsable : Dr Y. Chaix Rattachement : CHU Toulouse Site : Hôpital des enfants 330 avenue de Grande-Bretagne TSA 70034 31059 Toulouse cedex 9 Téléphone : 05 34 55 87 05 Fax : 05 34 55 87 10 Centre référent du Piémont pyrénéen Tarbes Responsable : Dr JC. Netter Site : Centre hospitalier de Tarbes Service de pédiatrie et néonatologie Boulevard de Lattre de Tassigny BP 1330 65013 Tarbes cedex 9 Téléphone : 05 62 51 54 26 Fax : 05 62 51 58 41
Nord - Pas-de-Calais	Centre d'expertise des troubles des apprentissages pour la région NPC Lille Responsables : Pr L. Vallee/Dr MP. Lemaitre Rattachement : CHRU Lille/GHICL Lille Site : Hôpital Roger Salengro Service de neurologie pédiatrique 59037 Lille cedex Téléphone : 03 20 44 40 57 Fax : 03 20 44 53 93
Pays de la Loire	Centre de référence des troubles spécifiques pour l'apprentissage du langage Nantes Responsable : Pr Beauvillain de Montreuil Rattachement : CHU Nantes Site : Hôtel Dieu - Hôpital Mère Enfant

Régions	Établissements
	Service ORL 1, place Alexis Ricordeau 44093 Nantes cedex 1 Téléphone : 02 40 08 43 09 Fax : 02 40 08 34 77
Picardie	Centre de référence régional des troubles du langage et des apprentissages Amiens Responsable : Pr P. Berquin Rattachement : CHU Amiens Site : Hôpital Nord Département de pédiatrie Place Victor Pauchet 80054 Amiens Téléphone : 03 22 66 87 32 Fax : 03 22 66 82 94
Poitou-Charentes	CMPEA Poitiers Responsable : Dr J. Uze Rattachement : CH Henri Laborit 7 allée Martin Luther King 86000 Poitiers Téléphone : 05 49 01 62 30 Fax : 05 49 01 40 20
Provence-Alpes-Côte d'Azur	Marseille Responsable : Pr Mancini Rattachement : CHU Marseille Site : Hôpital Timone Service de neurologie pédiatrique 264 rue Saint Pierre 13385 Marseille cedex 5 Téléphone : 04 91 38 68 07 Fax : 04 91 38 68 09 Nice Responsable : Dr C. Richelme Rattachement : CHU Nice Site : Hôpital de l'Archet 2 Unité de neuropédiatrie BP 3079 06202 Nice cedex 3 Téléphone : 04 92 03 60 80/93 03 Fax : 04 92 03 60 81
Rhône-Alpes	Centre de dépistage et de référence des troubles des apprentissages scolaires Grenoble Responsable : Dr A. Joannard Rattachement : CHU Grenoble Site : Hôpital de La Tronche

Régions	Établissements
	Département de pédiatrie BP 217 38013 Grenoble cedex 09 Téléphone : 04 76 76 92 98 Fax : 04 76 76 58 30 Centre d'évaluation des troubles du langage Saint-Étienne Responsable : Dr G. Damon Rattachement : CHU Saint-Étienne Site : Hôpital Nord Service de pédiatrie Niveau -1 / Secteur mère-enfant 42055 Saint-Étienne cedex Téléphone : 04 77 82 80 38/82 91 Service d'exploration fonctionnelle – ORL Lyon Responsables : Pr L. Collet / Dr I. Soares-Boucaud Rattachement : Hospices Civils de Lyon (HCL) Site : Hôpital Édouard Herriot Place d'Arsonval 69003 Lyon Téléphone : 04 72 11 05 17 Fax : 04 72 11 05 04 Service de neuropédiatrie de l'enfant Responsable : Dr O. Revol Rattachement : Hospices Civils de Lyon (HCL) Site : Hôpital Pierre Wertheimer Unité 502 59 Boulevard Pinel 69394 Lyon cedex 03 Téléphone : 04 72 35 74 57/75 94 Fax : 04 72 35 73 43 Service de pédiatrie/Unité de neurologie Pierre Bénite Responsables : Pr M. David / Dr C. Rousselle Rattachement : Hospices Civils de Lyon (HCL) Site : Centre Hospitalier Lyon Sud 69405 Pierre Bénite cedex Téléphone : 04 78 86 14 95 Fax : 04 78 86 57 16
Dom Réunion	Unité référente des troubles des apprentissages Saint-Denis Responsable : Dr S. Burlot Rattachement : Hôpital d'enfants Site : Hôpital d'enfants 60, rue Bertin BP 840 97476 Saint-Denis cedex Téléphone : 02 62 90 87 06/87 79 Fax : 02 62 90 87 79

Imprimé par JOUVE, 11, boulevard de Sébastopol, 75001 PARIS
N° 409001U — Dépôt légal : Février 2007