

APPROCHE NEUROPSYCHOLOGIQUE DES FONCTIONS EXÉCUTIVES DE L'ENFANT : ÉTAT DES LIEUX ET ÉLÉMENTS DE PROSPECTIVE

Arnaud Roy

John Libbey Eurotext | « [Revue de neuropsychologie](#) »

2015/4 Volume 7 | pages 245 à 256

ISSN 2101-6739

Article disponible en ligne à l'adresse :

<https://www.cairn.info/revue-de-neuropsychologie-2015-4-page-245.htm>

Distribution électronique Cairn.info pour John Libbey Eurotext.

© John Libbey Eurotext. Tous droits réservés pour tous pays.

La reproduction ou représentation de cet article, notamment par photocopie, n'est autorisée que dans les limites des conditions générales d'utilisation du site ou, le cas échéant, des conditions générales de la licence souscrite par votre établissement. Toute autre reproduction ou représentation, en tout ou partie, sous quelque forme et de quelque manière que ce soit, est interdite sauf accord préalable et écrit de l'éditeur, en dehors des cas prévus par la législation en vigueur en France. Il est précisé que son stockage dans une base de données est également interdit.

Approche neuropsychologique des fonctions exécutives de l'enfant : état des lieux et éléments de prospective

A neuropsychological approach to executive functions in children: current state of knowledge and foresight

Arnaud Roy^{1,2}

¹ Université d'Angers, Faculté des lettres, langues, et sciences humaines, Laboratoire de psychologie des Pays de la Loire, Lunam, EA4638, 11, bld Lavoisier, 49045 Angers, France

² CHU de Nantes, Hôpital Femme-Enfant-Adolescent, Centre référent des troubles d'apprentissage et Centre de compétence nantais de neurofibromatose, Nantes, France <arnaud.roy@univ-angers.fr>

Pour citer cet article : Roy A. Approche neuropsychologique des fonctions exécutives de l'enfant : état des lieux et éléments de prospective. *Rev Neuropsychol* 2015 ; 7 (4) : 245-56 doi:10.1684/nrp.2015.0357

Résumé

En l'espace de 30 ans, les travaux consacrés au développement typique et perturbé des fonctions exécutives (FE) de l'enfant ont connu un essor considérable. Ce phénomène s'explique en particulier par les perspectives scientifiques majeures associées à l'étude de ces processus de contrôle de haut niveau et leur rôle déterminant pour approcher le développement psychologique de l'enfant au sens large. Les recherches dans ce domaine ont progressivement conduit à la formalisation de modèles théoriques intégratifs et la mise en perspective de liens fonctionnels étroits avec d'autres concepts essentiels de la psychologie. L'exploration des perturbations des FE et leur description sémiologique dans divers contextes cliniques pédiatriques a également progressé, tandis que les outils d'évaluation se sont à la fois généralisés et diversifiés. Malgré ces progrès considérables, plusieurs insuffisances sont à signaler, que ce soit en termes de modélisation théorique du développement typique, d'expertise clinique ou d'évaluation. Des pistes de recherche complémentaires sont proposées, afin de fournir des repères prospectifs qui soient de nature à améliorer les connaissances relatives à la neuropsychologie des FE de l'enfant dans les prochaines années.

Mots clés : régulation • enfant • contrôle • fonctionnement exécutif • réseaux préfrontaux

Abstract

Studies devoted to the typical and impaired development of executive functions (EF) in children have grown substantially over the last 30 years. This phenomenon can be explained by the major scientific perspectives associated with the study of these high-level control processes. In fact, EF are acknowledged as playing a decisive role in approaching child's psychological development in the broad sense. Research in this field has gradually led to the development of integrative theoretical frameworks and the implementation of close functional relationships between EF and other essential psychology concepts. The clinical definition of EF disorders through several pediatric settings has also progressed, while psychometric tests and/or assessment tools have been widespread and have become diversified. Despite this significant progress, several shortcomings are to report, either in terms of theoretical modeling of typical development, clinical expertise or assessment. Based on these findings, complementary avenues of research are proposed in this paper. They are intended to provide forward-looking expectations that are likely to improve knowledge about child neuropsychology of EF in the next few years.

Key words: regulation • child • control • executive functioning • prefrontal networks

Correspondance :
A. Roy

■ Introduction

Les enjeux scientifiques que représente l'étude des fonctions exécutives (FE) pour la compréhension du développement normal et perturbé des fonctions supérieures de l'enfant sont multiples. Ils transparaissent dans la définition même de ces processus, qui sont apparentés à des aptitudes de contrôle de haut niveau ayant pour vocation la régulation du comportement, son adaptation et son orientation en fonction d'un but précis [1, 2]. L'émergence progressive des FE est de fait un phénomène essentiel pour approcher le développement psychologique de l'enfant, puisqu'elle doit lui permettre d'apprendre à ajuster constamment son comportement en fonction des contingences internes et environnementales. Les liens identifiés entre contrôle exécutif et réussite à l'école, qualité de vie, ou encore santé psychique et physiologique, illustrent cette idée que les FE sont au cœur du développement de l'être humain au sens large (voir [3]).

Les habiletés regroupées derrière le concept des FE se déclinent en divers processus, tels que la planification et la résolution de problèmes, l'abstraction, l'inhibition, la flexibilité cognitive ou encore les capacités de mémoire de travail (MDT). Certains auteurs considèrent (chez l'enfant comme chez l'adulte), que les processus de contrôle « *top down* » que constituent les FE se distinguent selon les contextes dans lesquels ils opèrent [4]. Lorsque la situation sollicite avant tout des ressources de raisonnement logique, sans état émotionnel particulier, on parle de fonctionnement exécutif froid (versant « *cold* » ou « *cool* »), tandis que les contextes impliquant au premier plan une composante affective, émotionnelle et/ou motivationnelle réfèrent au versant affectif (registre « *hot* »).

Les enjeux scientifiques associés à l'étude des FE se retrouvent également à travers le statut développemental particulier des régions préfrontales et de leurs réseaux, siège biologique principal des FE. La maturité tardive du cortex préfrontal, à l'échelle ontogénétique, interroge en effet la nature du développement des différentes facettes des FE, ainsi que leur intrication avec l'environnement et avec les autres aspects du développement psychologique. Cette problématique est à rapprocher des données phylogénétiques montrant une réorganisation fonctionnelle progressive du cerveau depuis les premiers hominidés, qui a contribué à positionner le cortex préfrontal et les FE au cœur de la spécificité de l'être humain. C'est là un point crucial dans la perspective développementale, qui n'est pas sans implication d'un point de vue clinique. En effet, le développement particulier des réseaux préfrontaux et des FE participe du risque élevé de vulnérabilité précoce qui s'associe à leur exposition fréquente en cas de pathologie cérébrale acquise ou neurodéveloppementale. Dans ce contexte, la question des désordres exécutifs chez l'enfant représente un enjeu de santé publique considérable (voir [5]).

Nous proposons dans cet article de synthèse de revenir, dans un premier temps, sur les principaux enseignements issus des travaux conduits dans le domaine des FE de

l'enfant depuis ces trois dernières décennies. Sont abordées successivement les connaissances relatives au développement typique – et à sa modélisation théorique –, les spécificités désormais établies en termes de syndrome dysexécutif pédiatrique, avant de cibler les principales avancées et limites dans le domaine de l'évaluation auprès de cette population. Dans un second temps, sur la base de ces constats, nous proposons plusieurs éléments de prospective afin de promouvoir l'engagement et la structuration des recherches autour des FE de l'enfant dans les années à venir.

■ Près de 30 ans de travaux autour des fonctions exécutives de l'enfant

■ Des études empiriques à la modélisation théorique du développement typique

La question du développement typique des FE et de leur rapport à la maturation physiologique des réseaux préfrontaux représente une problématique de recherche essentielle, notamment car elle contribue à guider l'expertise clinique en cas de développement perturbé. Si plusieurs propositions théoriques spécifiques à l'enfant ont émergé ces dernières années, elles restent par certains aspects insuffisamment étayées, imprécises, voire controversées. Comme l'avait souligné Sevino dès 1998 [6], les travaux alors tout juste émergents consacrés au développement des FE se situaient dans une perspective a-théorique. Les études princeps réalisées dans ce contexte (par exemple, [7, 8]) visaient avant tout à montrer que les FE observaient un développement actif pendant l'enfance, invalidant ainsi le postulat de Golden (voir [5]). Parallèlement, les travaux pionniers réalisés à la même époque chez les nourrissons [9] confirmaient l'idée d'un développement exécutif particulièrement précoce, directement lié à la maturation du cortex préfrontal dorso-latéral.

La multiplication des travaux empiriques depuis la fin des années 1980 a entériné l'idée d'un développement à la fois précoce et prolongé des FE, en miroir du rythme de maturation physiologique des circuits préfrontaux du cerveau. À l'instar des travaux en neuropsychologie de l'adulte, des études factorielles conduites chez l'enfant ont par ailleurs favorisé le principe d'un fractionnement des processus exécutifs (par exemple, [10]). Bien que la nature et le nombre de facteurs soient variables d'une étude à l'autre (voir [11]), ces modélisations incluent généralement l'inhibition et la MDT, telles qu'elles étaient déjà formalisées dans les propositions néo-piagétienne (par exemple, [12]) ou le modèle interactif de Roberts et Pennington [13] ; on retrouve également, quoique de manière plus inconstante, la flexibilité et la planification, telles qu'elles sont classiquement déclinées chez l'adulte. Cette approche modulaire a également été progressivement étayée, depuis une dizaine d'années, par d'autres études factorielles basées

sur les questionnaires de vie quotidienne, en particulier la BRIEF (*Behavioral Rating Inventory of Executive Function* [14]). La structure des FE proposée est à la fois compatible avec les facteurs identifiés dans les études précédentes, mais elle s'en éloigne aussi sensiblement, avec des facteurs composites (régulation comportementale et métacognition) et l'inclusion d'autres processus tels que le contrôle émotionnel ou l'initiation.

Une synthèse récente des études factorielles consacrées à l'enfant [11] indique une prévalence des modèles unitaires pendant la période préscolaire (2-5 ans), suggérant que les FE sont indifférenciées à cet âge. Une différenciation progressive s'opérerait ensuite (à partir de 6 ans environ), caractérisée par l'apparition très progressive des différents facteurs spécialisés et partiellement indépendants tels qu'ils sont identifiés chez l'adulte. Cette individualisation concernerait d'abord l'inhibition et la MDT, puis la flexibilité, dont la différenciation avec l'inhibition ne serait pas consolidée avant la fin de l'adolescence. La planification n'est pas clairement identifiée dans ces calendriers développementaux, et la place de la vitesse de traitement controversée [11, 15].

Cette conception modulaire du développement des FE a récemment conduit à la formulation de deux modèles théoriques spécifiques à l'enfant, pourvus d'une vision hiérarchisée et intégrative des différentes facettes du fonctionnement exécutif. Le modèle de Dennis [16], inspiré de l'adulte, positionne ainsi le contrôle inhibiteur et la MDT au centre du développement exécutif. Ils sont considérés comme des ressources de traitement de capacité limitée, à l'origine de la formation et du contrôle de structures de savoir organisées. Ces dernières permettent d'assurer divers types de lien entre passé et futur, autres et soi, ou encore affect et pensée. Le modèle de Diamond [3] est davantage centré sur les quatre processus exécutifs classiquement distingués chez l'enfant, articulés à travers une ontogenèse hiérarchisée : le contrôle inhibiteur et la MDT sont considérés comme les précurseurs du développement ultérieur de la flexibilité cognitive, puis des FE de plus haut niveau incluant la planification et la résolution de problèmes.

■ Les fonctions exécutives aux interfaces du développement sociocognitif ?

Conformément aux prédictions de ces deux modèles, le développement des FE est supposé se situer aux interfaces du développement sociocognitif de manière plus globale. Des liens étroits sont en particulier envisagés avec la cognition sociale, et notamment la théorie de l'esprit. Ce rapprochement a été favorisé par le constat d'une ontogenèse rapide des capacités de théorie de l'esprit cognitive de premier ordre entre trois et six ans, coïncidant avec celle relevée pour les FE [17]. Plusieurs études empiriques ont confirmé, chez les préscolaires, des relations significatives entre les différentes facettes des FE et la théorie de l'esprit (par exemple, [18]). Les relations identifiées ne préjugent cependant pas des modalités directionnelles de ce lien, pour lequel deux positions théoriques antagonistes

s'affrontent, l'une suggérant que l'émergence des FE contribue au développement des capacités de théorie de l'esprit, et l'autre postulant l'inverse. Quelques arguments solides émergent des rares études longitudinales réalisées chez les préscolaires, montrant que les habiletés exécutives prédisent le développement ultérieur de la théorie de l'esprit et non l'inverse (par exemple, [17]). Le sens de cette relation est retrouvé dans plusieurs modèles théoriques relatifs à l'ontogenèse de la théorie de l'esprit, qui postulent des processus apparentés au contrôle exécutif destinés à sélectionner les contenus mentaux appropriés ou les règles de plus haut niveau en vue de prioriser les représentations pertinentes [19]. Une méta-analyse récente de 102 études représentant près de 10 000 enfants de trois à six ans a aussi montré que les différences interindividuelles au niveau des FE prédisaient le développement ultérieur de la compréhension des fausses croyances – et non l'inverse – [20].

L'implication des FE dans l'acquisition des habiletés pratiques constitue un autre champ de recherche déterminant, non prévu par les modèles intégratifs récents. Outre les relations étroites entre performances motrices et exécutives observées au cours du développement (par exemple, [21]), la nécessité de s'emparer de cette question se justifie à travers le flou conceptuel autour des troubles pratiques chez l'enfant, à l'instar de l'explosion co-occurrence et inflationniste des diagnostics de « dyspraxie » et/ou de trouble d'acquisition de la coordination (TAC), et de la fréquente comorbidité avec le trouble déficitaire de l'attention avec/sans hyperactivité (TDAH) [22]. Si le TAC est plébiscité à travers certaines conférences de consensus et le *Manuel diagnostique et statistique des troubles mentaux* (DSM), sa définition en tant que déficit neuromoteur entraînant des difficultés de coordination motrice et interférant avec la vie quotidienne ou la réussite scolaire, n'en reste pas moins apparentée à un vaste fourre-tout conceptuel (voir [23], pour une revue). L'examen de ses liens avec les FE se justifie à travers le chevauchement théorique et clinique induit par les caractéristiques attribuées à ce trouble neurodéveloppemental spécifique, associant troubles de l'acquisition des gestes complexes au cours de l'apprentissage de tâches motrices nouvelles ou inhabituelles, déficit de la planification/organisation/coordination des actions nouvelles en séquence, déficit de l'exécution et de l'automatisation de gestes volontaires effectués dans un but précis, et permettant une interaction adéquate avec l'environnement. Cette confusion est par ailleurs entretenue par les études indiquant des troubles des FE dans la dyspraxie/TAC, assimilés à la « dyspraxie exécutive », sans que la nature exacte de ces déficits sur la problématique gestuelle ne soit questionnée. S'agit-il, par exemple, d'un trouble central et transversal des FE de haut niveau ou d'une atteinte de l'exécution motrice dans le sens du système de production gestuelle ?

La question du lien conceptuel entre FE et intelligence chez l'enfant continue aussi de faire débat, tout en restant peu étudiée. Contrairement au modèle de Dennis [16] qui n'en parle pas, celui de Diamond [3] postule que la mise en jeu des FE de plus haut niveau (raisonnement

et résolution de problèmes) correspond pleinement à la notion d'intelligence fluide. Cette idée a été développée chez l'adulte, sur la base de l'observation d'une dépendance commune de ces processus aux réseaux préfrontaux et d'une atteinte sélective – mais controversée – de l'intelligence fluide chez certains patients frontaux ([24] *versus* [25]). Les rares travaux empiriques réalisés chez l'enfant, essentiellement d'âge scolaire, ne permettent pas d'entériner clairement l'idée d'une relation privilégiée entre intelligence, notamment fluide, et FE. Dans le cadre du développement typique, les corrélations sont inconstantes selon les études et les épreuves, et sans lien préférentiel avec le registre fluide (par exemple, [26-28]). Certaines études montrent que ce lien prévaut pour la MDT [29]. Ce constat s'écarte des prédictions du modèle de Diamond [3], mais rejoint les travaux initiaux conduits chez l'adulte [30], selon lesquels toutes les FE ne sont pas reliées au quotient intellectuel (QI) de la même manière, en fonction des ressources – exécutives et non exécutives – mobilisées d'une tâche à l'autre. Les arguments provenant de la clinique tempèrent également l'idée d'un lien important entre FE et QI. En effet, plusieurs études ont montré une préservation du QI malgré des troubles sévères des FE, dans l'épilepsie, les accidents vasculaires cérébraux, ou le traumatisme crânien (par exemple, [31, 32]). Cette relative indépendance a été retrouvée dans la déficience intellectuelle [33], par contraste avec les données chez l'enfant présentant un haut potentiel [29]. L'ensemble des données disponibles incitent donc à relativiser le degré d'isomorphisme entre FE et QI, en particulier pour l'intelligence fluide [34], et à préconiser une approche plus nuancée que celle consistant à postuler qu'ils sont superposables [3].

Enfin, l'émergence des aptitudes de contrôle exécutif peut difficilement s'envisager sans tenir compte du contexte sociodémographique et de l'environnement dans lesquels l'enfant naît et évolue. Par définition (*nouveauté, complexité*), les FE sont individus-dépendantes, contribuant à faire des différents facteurs sociodémographiques et culturels inhérents à chaque enfant des déterminants potentiels du développement exécutif. Paradoxalement, les modélisations théoriques actuellement proposées ne prévoient pas le rôle de ces différents facteurs, ce qui revient aussi à interroger le caractère universel ou pas de ces modèles. Plusieurs données empiriques montrent pourtant un effet significatif du genre et du statut socioéconomique sur le développement des FE (par exemple, [35, 36]), bien que les résultats soient variables selon les tâches utilisées et qu'aucun consensus clair ne ressorte actuellement. L'effet potentiel de ces facteurs sociodémographiques trouve par ailleurs un écho physiologique à travers des différences structurelles ou fonctionnelles identifiées au plan cérébral, en particulier dans les réseaux préfrontaux (par exemple, [37]). En outre, certaines caractéristiques environnementales, comme la qualité des interactions entre l'enfant et ses parents ou les pratiques éducatives, pourraient médier le lien entre ces facteurs sociodémographiques et le développement des habiletés exécutives (voir [38]). L'approche

transculturelle de l'émergence des FE chez l'enfant s'inscrit de manière toute aussi essentielle dans le questionnement du rôle joué par l'environnement, problématique amplifiée par le contexte de la mondialisation. Les travaux émergents dans ce registre favorisent l'idée selon laquelle le développement typique des FE est soumis à l'influence de la culture dans laquelle évolue l'enfant, phénomène que l'on peut retrouver à travers la relation entre FE et réussite scolaire (voir, par exemple, [39]).

Au-delà des enjeux théoriques liés à l'identification de repères développementaux plus précis, ces avancées scientifiques ont aussi contribué à guider l'analyse clinique des perturbations du fonctionnement exécutif dans la population pédiatrique.

■ Syndromes dysexécutifs de l'enfant : une reconnaissance progressive

Depuis les années 1990, le risque de dysfonctionnement exécutif associé à divers contextes pédiatriques s'est progressivement imposé, grâce à la multiplication des recherches conduites en neuropsychologie de l'enfant et l'expertise clinique apportée par la professionnalisation des psychologues dans ce domaine. Cette question est évidemment centrale dans la mesure où elle détermine à la fois la reconnaissance des troubles neuropsychologiques dès le plus jeune âge et leur prise en charge appropriée. Bien qu'il n'existe toujours pas, à l'heure actuelle, de critères diagnostiques précis et consensuels [40], l'accumulation des données cliniques depuis près de trois décennies permet de décrire quelques repères caractéristiques des troubles des FE chez l'enfant.

L'une des idées centrales qui transparait est que les réseaux fronto-sous-corticaux sont particulièrement fragiles pendant la longue période de maturation physiologique qui les caractérise, exposant ainsi les FE à un risque majeur de perturbation en cas d'anomalie cérébrale pendant l'enfance. Cette vulnérabilité précoce, désormais largement admise dans le contexte des lésions acquises précocement [41], se retrouve par extension en cas de développement atypique chez les enfants porteurs de syndromes neurodéveloppementaux. Ce constat vient à l'encontre du principe de plasticité précoce, souvent associé aux travaux de Kennard, qui avait objectivé au milieu du siècle précédent de meilleures capacités de récupération chez de jeunes singes après lésion du cortex moteur et prémoteur, par comparaison avec des animaux plus âgés (*Kennard effect*). Plusieurs observations chez l'homme à la fin du XIX^e siècle ont contribué à alimenter ce concept de plasticité précoce, conduisant à sous-estimer les séquelles neuropsychologiques après une lésion cérébrale chez l'enfant (voir [5]).

Des indices de cette vulnérabilité précoce existaient pourtant dès le milieu du XX^e siècle, à travers l'identification de l'effet dévastateur de lésions périnatales précoces des lobes frontaux chez le patient JP (voir [5], pour une description plus précise). Depuis cette observation essentielle, de nombreuses études empiriques (cas uniques puis

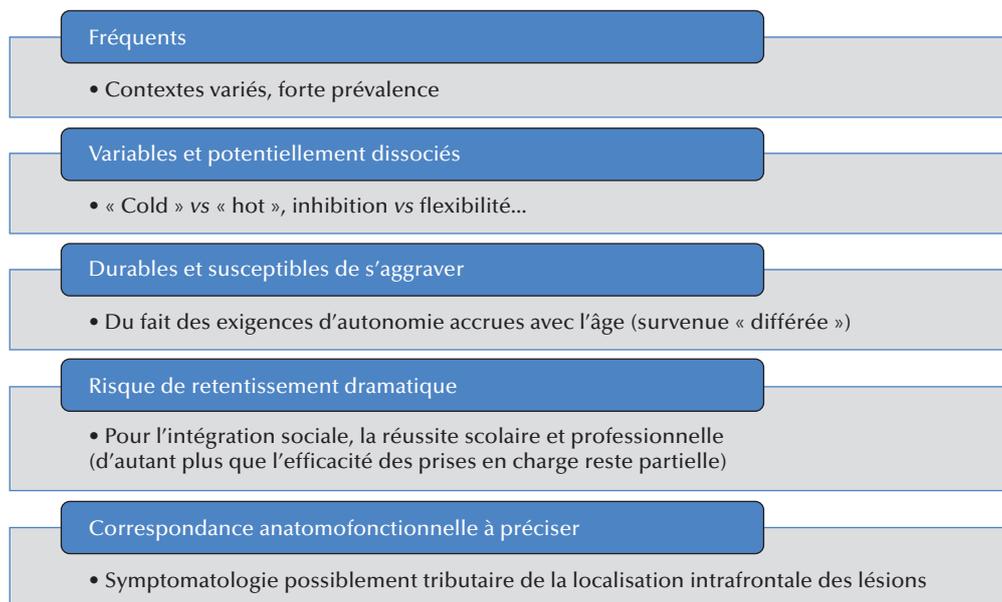


Figure 1. Particularités des troubles des fonctions exécutives chez l'enfant.

progressivement études de groupes) ont permis d'identifier une vulnérabilité précoce des FE dans divers contextes cliniques pour lesquels une atteinte directe ou indirecte des réseaux préfrontaux et/ou de leurs connexions avec le reste du cerveau est suspectée ou avérée. Un dysfonctionnement des différentes facettes des FE est ainsi désormais étayé dans diverses pathologies acquises comme le traumatisme crânien, les tumeurs cérébrales, la paralysie cérébrale ou encore l'épilepsie pédiatrique (par exemple, [42, 43]). Dans le contexte du développement atypique, un dysfonctionnement exécutif fait partie des hypothèses théoriques centrales dans le TDA/H [44] ou le trouble du spectre autistique [45], contribuant à rendre compte d'une partie de la symptomatologie clinique : hyperkinésie, inattention, comportements persévératifs et intérêts restreints, etc. La perturbation des FE et de la mise en place des réseaux préfrontaux est également une piste centrale évoquée pour caractériser le phénotype neuropsychologique des enfants atteints de divers syndromes génétiques tels que la phénylcétonurie [46] ou la neurofibromatose de type 1 [47]. De même, cette hypothèse prévaut chez les anciens prématurés [48] ou les enfants victimes du syndrome d'alcoolisation fœtale [49].

La convergence des indices dans ces différents contextes a participé d'une certaine reconnaissance des troubles exécutifs chez l'enfant, mais a eu paradoxalement tendance à demeurer relativement cloisonnée aux contextes étudiés, limitant de fait une mise en perspective globale de la symptomatologie clinique propre à la population pédiatrique. Afin de favoriser cette démarche, une réflexion

épistémologique a été engagée, basée sur les progrès scientifiques de ces 25 dernières années dans ce domaine, afin d'approcher la spécificité de l'approche clinique des dysfonctionnements exécutifs de l'enfant [5]. Plusieurs facteurs apparaissent importants à considérer pour favoriser la séméiologie des troubles des FE chez l'enfant : il s'agit de la *dynamique développementale* inhérente à l'approche neuropsychologique chez l'enfant, de la *modélisation théorique* propre au développement exécutif, des *outils d'évaluation* et plus globalement des stratégies d'examen des FE, et enfin de la *lecture clinique* – particulièrement délicate – des perturbations exécutives dans la population pédiatrique. Adossés à cette démarche, plusieurs repères cliniques émergent (synthésisés dans la *figure 1*), qui contribuent à définir la singularité du syndrome dysexécutif chez l'enfant, ou du moins ses contours. Le recoupement de ces indices renforce l'idée générale de vulnérabilité précoce des FE et des réseaux fronto-sous-corticaux évoquée précédemment, indépendamment des contextes étiologiques, bien que ces derniers induisent nécessairement une grande variabilité dans les manifestations cliniques des troubles exécutifs.

Plus récemment, la reconnaissance des troubles exécutifs de l'enfant a également été en partie favorisée en France par une prise en considération plus systématique de leur retentissement potentiel sur la scolarité, faisant ainsi écho à la loi sur le handicap de 2005. Bien qu'émergente, il s'agit d'une perspective essentielle pour favoriser le lien entre clinique et école, que ce soit d'ailleurs en termes de démarche diagnostique ou de prise en charge globale de l'enfant. Une synthèse récente [50] propose ainsi une série

d'indicateurs comportementaux susceptibles d'orienter les enseignants pour repérer les difficultés relevant des différentes facettes des FE classiquement distinguées chez l'enfant. Des éléments de prise en charge sont également proposés, afin de fournir aux personnels de l'éducation des conseils pragmatiques, une fois les difficultés confirmées à l'étage clinique/diagnostique. Cette démarche illustre la dimension pluridisciplinaire qui caractérise par essence l'approche neuropsychologique, *a fortiori* chez l'enfant, et recoupe la démarche par questionnaire préconisée pour approcher les FE chez l'enfant, qui sera ré-abordée plus loin.

■ La multiplication des outils et la généralisation – relative – de l'évaluation

La nécessité d'engager une dynamique de recherche de nature à promouvoir l'évaluation des FE chez l'enfant constitue un enjeu scientifique majeur, dans la mesure où il s'agit d'une étape indispensable pour mieux appréhender le développement normal et perturbé des FE au décours de l'enfance. L'émergence de ce questionnement coïncide avec celle des connaissances en neuropsychologie de l'enfant, en particulier concernant l'évaluation des FE à la fin des années 1990, y compris en France [51, 52].

Deux constats s'imposent, près de 20 ans après ces premières ébauches de réflexion associées à la mesure des FE chez l'enfant. Le premier, encourageant, consiste à signaler l'émergence de nombreux outils psychométriques, désormais disponibles dans la littérature scientifique internationale, et la mise à disposition/commercialisation d'un certain nombre d'entre eux à destination des cliniciens. Pour beaucoup inspirés d'outils existants en neuropsychologie de l'adulte, ils ont fait l'objet d'adaptations ludiques et attrayantes, adaptées à l'enfant, avec parfois un effort d'étalonnage appréciable. Cette généralisation a contribué à l'amplification des études cliniques et développementales consacrées aux FE de l'enfant, telle qu'elle a été évoquée plus haut. La France n'a pas échappé à cette progression, si l'on répertorie la prolifération des outils d'évaluation des FE ayant fait l'objet d'une adaptation auprès des enfants ces dernières années [53].

Le second constat est plus mitigé et englobe plusieurs limites quant à cette progression. Signalons d'abord que l'évaluation de ces processus de haut niveau est encore peu systématisée sur le terrain clinique, du fait probablement des reliquats associés au principe de plasticité précoce et d'une certaine méconnaissance des symptômes dysexécutifs dans la population pédiatrique. De plus, lorsqu'elle est réalisée, les problèmes liés à l'évaluation de ces processus et leur réalité chez l'enfant [54] demeurent inégalement pris en compte. Ainsi, l'évaluation des FE est souvent minimaliste (quelques tests isolés, des scores composites trop grossiers), voire réductionniste (les résultats sont interprétés

comme si les tests étaient purs, reflétant nécessairement ce que l'on recherche), par ailleurs sans confrontation systématique avec des indicateurs de vie quotidienne.

Une autre limite entravant la démarche d'évaluation des FE chez l'enfant concerne – encore et toujours – la validation relative – voire limitée – des outils psychométriques disponibles en France. Ce constat apparaît presque paradoxal quand on considère, malgré tout, la multiplication des tests supposés évaluer les FE de l'enfant diffusés ou commercialisés ces dernières années (voir [53], pour une synthèse des principales limites associées aux tests existant en France). Ces limites concernent en particulier le manque d'étalonnages normatifs conséquents réalisés auprès d'enfants français, incluant la non-prise en compte de certaines variables sociodémographiques élémentaires telles que le niveau d'éducation parental, le paramétrage – étonnamment – inapproprié de certaines épreuves ou encore leur validation clinique parfois lacunaire.

Les progrès évidents dans la mise à disposition d'outils d'évaluation des FE à destination des enfants doivent donc être relativisés, à la fois au niveau de la validation psychométrique même de ces outils (en France en particulier), et quant à leur usage dans le cadre de l'examen neuropsychologique. Au vu des connaissances accumulées ces dernières années, il va sans dire qu'une évaluation appropriée des FE ne saurait se restreindre à l'administration hasardeuse et indifférenciée d'épreuves ou de batteries de tests dont on suppose arbitrairement qu'elles appréhendent globalement les FE. Le risque majeur associé à cette démarche concerne l'identification de faux positifs ou de faux négatifs, dont les conséquences pour la prise en charge des troubles neuropsychologiques de l'enfant sont désastreuses. Par contraste, l'investigation doit précisément s'inscrire dans une stratégie d'examen ancrée dans une démarche hypothético-déductive, et méthodologiquement calibrée pour s'ajuster aux spécificités de la population pédiatrique.

■ Prospective de recherche : quelques pistes

Le prolongement des travaux de recherche engagés autour de la neuropsychologie des FE de l'enfant peut être envisagé dans différentes directions, alliant consolidation et extension des connaissances ainsi que du savoir-faire développés ces dernières décennies. Les enjeux scientifiques et les objectifs généraux associés à cette démarche sont déclinés à travers trois grandes thématiques complémentaires qui sont présentées dans les sections suivantes. Un programme de recherche multicentrique en cours et s'inscrivant dans cette dynamique de recherche est présenté dans un dernier temps, afin d'illustrer les travaux engagés en ce sens en France.

■ Pour une approche intégrative du développement typique

La question de la modélisation théorique des FE et, de manière corrélative, du développement typique des FE ainsi que de leurs déterminants au sens large, représente une question scientifique cruciale pour les années à venir, compte tenu du rôle central des FE et des lobes frontaux dans l'approche de la spécificité du comportement de l'être humain. La place particulière qu'occupent ces régions du cerveau à l'échelle de l'évolution ontogénétique et phylogénétique de notre espèce permet de rappeler les enjeux fondamentaux liés à cette question. Une approche plus intégrative de cette problématique est souhaitable, en ce sens qu'il apparaît essentiel que le développement des FE soit appréhendé sur la base des propositions théoriques et empiriques existantes, incluant les liens supposés avec d'autres concepts proches tels que l'intelligence, les praxies ou la cognition sociale, mais aussi en considérant l'influence potentielle des facteurs sociodémographiques et environnementaux.

Il s'agit plus particulièrement (i) *d'interroger la structure des FE telle qu'elle est envisagée dans les modèles intégratifs récents* [3, 16], dont l'architecture fonctionnelle et les prédictions divergent. À l'instar des études factorielles disponibles (par exemple, [8, 10, 15]), des contradictions persistent quant aux processus identifiés : la flexibilité cognitive n'est par exemple pas envisagée dans le modèle de Dennis [16] et la vitesse de traitement questionnée en tant que facteur indépendant [15] ou dénominateur commun des FE [11]. La dimension affective/motivationnelle propre au versant « hot » des FE [55] n'est par ailleurs que partiellement prévue par les deux modèles intégratifs récents. Dennis [16] aborde cette dimension à travers le « lien émotionnel », incluant notamment la prise de décision affective et la régulation émotionnelle. Seul ce dernier concept est repris par Diamond [3], en termes d'autorégulation. Dans les deux cas, ces dimensions chaudes sont sous la dépendance plus globale du contrôle inhibiteur. Enfin, les études basées sur des questionnaires proposent une structure factorielle différente [14], qui n'a jusqu'à présent pas fait l'objet de comparaison particulière avec les modèles précédents.

Un autre enjeu (ii) réside dans *la confrontation des calendriers développementaux des différentes facettes des FE et l'étude de leurs relations mutuelles*. D'après les modèles intégratifs récents présentés précédemment, l'inhibition et la MDT conditionneraient le développement des autres aspects exécutifs, tels que la flexibilité [3] et la planification [3, 16]. La flexibilité émergerait de manière indépendante tardivement, vers la fin de l'enfance, alors que la planification resterait entièrement tributaire des processus précédents. Les prédictions théoriques issues de ces modèles sont à étayer plus précisément, en s'appuyant sur des données empiriques plus consistantes, à la fois dans le cadre du développement typique et atypique.

Il apparaît également important (iii) de *déterminer plus précisément le rôle des FE dans le développement socio-cognitif de l'enfant*, au sens large. Si les processus exécutifs semblent médiatiser l'émergence de la théorie de l'esprit cognitive [20], les prédictions des modèles intégratifs sont divergentes : Diamond [3] prévoit que la flexibilité est impliquée dans la théorie de l'esprit, tandis que Dennis [16] évoque l'inhibition et la MDT. De plus, l'étude de cette relation n'a pas été étendue à la théorie de l'esprit affective et aux processus inférentiels plus complexes (deuxième ordre). Le rôle des FE dans le développement des habiletés praxiques reste également méconnu, alors que l'analyse de ce lien est justifié par le chevauchement théorique et clinique induit par certains symptômes identifiés dans la dyspraxie et le TAC (par exemple, [56]). Enfin, l'idée d'une relation privilégiée postulée entre FE et intelligence [3] demeure particulièrement controversée, alors que les implications cliniques sont déterminantes. Cette relation supposée a, par exemple, conduit certains auteurs à préconiser de ne pas tenir compte du QI (en termes de covariant) dans l'étude du développement atypique des FE [57], alors que dans le même temps, certaines épreuves exécutives destinées aux enfants sont étalonnées sur la base de ce même critère [27].

Enfin (iv), *un examen plus systématique doit être engagé en ce qui concerne l'effet des facteurs socio-démographiques, environnementaux et culturels, sur le développement exécutif*. Cette problématique, pourtant essentielle puisqu'elle interroge le caractère universel ou pas des modélisations des FE, a été jusqu'à présent relativement peu explorée et n'est pas prise en considération dans les propositions théoriques récentes [3, 16]. Alors que les données physiologiques montrent que le développement cérébral est influencé par le genre et le niveau d'éducation parental [37, 58], l'impact fonctionnel sur les aptitudes exécutives reste modéré et controversé (par exemple, [35]). La prise en compte de variables psychosociologiques plus précises, telles que les pratiques éducatives et la nature/qualité des interactions parents-enfant, constitue une piste de travail prometteuse (par exemple, [38]). Enfin, les travaux émergents suggérant que le développement des FE est influencé de manière complexe par l'environnement culturel [39], l'étude de ce facteur doit être systématisée et approfondie.

■ Vers une expertise clinique affinée

Plusieurs orientations complémentaires et articulées entre elles peuvent être esquissées autour de la séméiologie des troubles des FE chez l'enfant, avec en ligne de mire une réflexion à engager sur les critères diagnostiques, actuellement inexistantes [40]. Les enjeux et les objectifs de recherche principaux qu'il apparaît important de promouvoir dans cette perspective clinique se situent à différents niveaux.

Il convient d'abord (i) de *préciser/affiner les profils de dysfonctionnement exécutif dans la population*

pédiatrique. Si les troubles des FE sont désormais couramment identifiés dans divers contextes neurodéveloppementaux et acquis, les dissociations objectivées entre le versant « hot » et « cold » (par exemple, [59, 60]), ou au sein même du versant cognitif (par exemple, [61]), laissent présager d'une symptomatologie variable et complexe. Une analyse différentielle des profils dysexécutifs selon les contextes cliniques est de nature à identifier des spécificités – et d'éventuels invariants – utiles pour l'exploration diagnostique et la prise en charge. Cette démarche implique aussi de tenir compte de la variabilité intrinsèque à une pathologie donnée, à l'instar de la sévérité du traumatisme crânien [42] ou du taux de phé dans la phénylcétonurie [46]. Enfin, les patterns de dissociations doivent permettre de contribuer à valider ou invalider l'architecture fonctionnelle des modèles théoriques [3, 16].

Un autre objectif fondamental consiste à (ii) appréhender plus précisément le caractère durable du syndrome dysexécutif, ainsi que son retentissement sur la vie sociale et scolaire de l'enfant. Plusieurs arguments incitent à considérer que les troubles exécutifs sont chroniques, voire qu'ils s'aggravent, du fait des exigences d'autonomie accrue avec l'avancée en âge (notion de « *delayed onset* » [59]). Cette question reste cependant méconnue et mérite, dans l'idéal, un suivi longitudinal des patients. Les répercussions des troubles exécutifs pour l'intégration scolaire et sociale demeurent également mal identifiées (voir [31] pour une revue d'études de cas). Leur impact en particulier sur la question de la qualité de vie des enfants (et des proches) constitue un enjeu majeur particulièrement peu étudié, même si certains travaux ont examiné de manière plus globale les conséquences des troubles neuropsychologiques sur la qualité de vie (voir par exemple, [62]).

Explorer l'effet des troubles des FE sur le développement sociocognitif (iii) constitue un autre enjeu de recherche. Compte tenu des liens plus ou moins étroits supposés entre le développement des FE et celui de la théorie de l'esprit, des praxies et de l'intelligence (notamment fluide), il est attendu que le syndrome dysexécutif se répercute sur ces différentes dimensions. Les rares travaux développés pour le moment auprès de populations cliniques sont controversés, incitant à interroger plus systématiquement les liens unissant ces concepts, à travers leurs perturbations mutuelles dans les divers contextes cliniques.

Il s'agit enfin (iv) *d'initier une approche transculturelle des désordres exécutifs chez l'enfant*. Dans le prolongement des données développementales évoquées dans l'axe précédent, la recherche des invariants caractéristiques des syndromes dysexécutifs d'une culture à l'autre offre l'opportunité de différencier ce qui relève de la maladie de ce qui peut être attribué à l'environnement de l'enfant. Les biais culturels observés dans le cadre du développement exécutif typique, qui interagissent avec le type d'évaluation (comportementale *versus* basée sur la performance), mais aussi selon le point de vue (parents *versus* enseignant), le genre ou encore le rapport à la réussite

scolaire [39], témoignent de la nécessité d'intégrer ces différentes variables, à terme, afin de disposer d'une vision plus exhaustive et nuancée.

■ À la recherche d'un socle d'outils valides et innovants

Le fait d'améliorer la méthodologie d'investigation des FE chez l'enfant constitue un élément déterminant de prospective, dans la mesure où cette démarche conditionne l'exploration du développement typique de ces processus, ainsi que leurs modalités de perturbation. Il est donc essentiel de promouvoir des épreuves et des stratégies d'examen des FE fiables et mieux adaptées à l'univers pédiatrique, susceptibles de combler les carences existantes, en particulier en France, en tenant compte des modélisations théoriques et des préconisations issues de la littérature internationale. Compte tenu de la nature plurielle des FE et de la variabilité clinique des manifestations liées à leur perturbation, le champ de recouvrement assuré par ces outils doit s'inscrire dans une dynamique plus globale et systématique qu'elle ne l'est aujourd'hui.

Un premier enjeu méthodologique a trait à la nécessité de (i) *favoriser la mise à disposition d'outils ludiques adaptés à l'univers pédiatrique, et dont la fiabilité est éprouvée à partir d'études normatives* [27, 51]. Il s'agit d'encourager – davantage – le développement de dispositifs standardisés (au niveau du matériel et des procédures d'administration et de cotation), bénéficiant d'informations relatives à leur fidélité et à leur validité, y compris clinique. L'étalonnage implique la prise en compte plus systématique des facteurs sociodémographiques, à minima le genre et le niveau socioculturel, en cas d'effet significatif à ces niveaux. Cette dimension impose également de progressivement tenir compte de l'évolution constante de l'environnement dans lequel l'enfant évolue, en particulier des évolutions technologiques auxquelles il est confronté (à travers, par exemple, le numérique).

Il est par ailleurs souhaitable de (ii) *garantir des stratégies d'examen spécifiques à l'enfant, ce qui induit qu'elles soient théoriquement guidées par les modèles intégratifs disponibles* [3, 16]. Bien qu'il n'existe pas de consensus quant à la définition des multiples facettes du fonctionnement exécutif, l'inhibition, la MDT, la flexibilité et la planification constituent des processus clés à considérer dans ce contexte, dans la mesure où ils sont régulièrement déclinés dans les principales modélisations de l'enfant et de l'adulte, ainsi qu'au travers des études cliniques.

De plus, il apparaît indispensable de (iii) *considérer plus systématiquement la dimension plurifactorielle inhérente à l'évaluation des FE* en proposant des conditions d'évaluation variées et modulées, de manière à tenir compte des processus de « bas niveau », et ainsi approcher la spécificité des processus exécutifs engagés dans les tâches [2, 63]. Dans le même ordre d'idée, l'analyse plus nuancée de la pluralité des processus exécutifs mobilisés à l'échelle d'une même tâche implique également de considérer

plusieurs indicateurs et non exclusivement un score composite global [51].

Favoriser une approche comportementale des FE au plus près de la vie quotidienne de l'enfant doit également être systématisé (iv), sur la base de questionnaires et/ou des tâches se rapprochant de certaines situations de vie, en complément des tests classiques basés sur la performance [64]. La convergence limitée constatée entre les questionnaires de vie quotidienne et les tests basés sur la performance, chez l'enfant comme chez l'adulte, constitue un argument important pour considérer qu'ils reflètent une « réalité » différente des FE de l'enfant, dont les particularités restent à préciser [65]. Les enjeux liés à cette question sont intimement liés à l'approche qualitative qui anime la démarche clinique au travers de l'entretien, de l'anamnèse, ou encore de l'analyse du comportement pendant l'examen [51].

Enfin, il convient (v) *d'élargir le spectre de l'évaluation au-delà des aspects cognitifs classiques*, et inclure en particulier les situations impliquant une composante affective ou motivationnelle particulière, en phase avec la différenciation des aspects « froids » et « chauds » des FE (voir par exemple [66], pour l'évaluation de la prise de décision affective). De même, les liens privilégiés avec la cognition sociale et certaines dimensions gestuelles et/ou praxiques justifient de promouvoir la mise au point de tâches adaptées à ces registres, pour lesquels la disponibilité d'outils standardisés s'avère encore limitée.

■ Étude multicentrique des fonctions exécutives de l'enfant : le projet FEE

Le projet fonctions exécutives de l'enfant (FEE) est né de la volonté de promouvoir l'évaluation des FE chez l'enfant à l'échelon national, compte tenu du peu d'outils disponibles ou adaptés à cette population, et ainsi favoriser la reconnaissance des troubles et leur prise en charge. Conformément aux propositions théoriques récentes soutenant une conception plurielle mais interdépendante des FE [3, 16], les principaux processus ciblés par le projet correspondent à la planification, l'inhibition, la flexibilité, et la MDT, apparentés au versant cognitif des FE [55]. Le choix de se focaliser sur ces processus s'appuie aussi sur les travaux empiriques et cliniques, considérant régulièrement ces différentes facettes du fonctionnement exécutif [8, 15]. La conceptualisation du projet vise en outre à tenir compte des contraintes relatives aux stratégies d'examen et aux mesures exécutives. Afin de répondre au mieux à ces objectifs, le projet FEE a été imaginé dans un souci de regards croisés et complémentaires intégrant à la fois :

- différentes filières de la psychologie ;
- des cliniciens et universitaires ;
- des spécialistes de l'enfant et de l'adulte.

Un groupe d'étude susceptible d'assurer une dynamique de recherche cosmopolite et intégrative a été constitué, avec une coordination générale partagée entre l'université

d'Angers (Arnaud Roy, Didier Le Gall) et l'université de Savoie (Jean-Luc Roulin, Nathalie Fournet).

Suite à l'activation d'un réseau de professionnels spécialisés chez l'enfant intéressés par la démarche, une réunion préliminaire associant plusieurs professionnels a été organisée à l'occasion des Journées internationales des lobes frontaux et des fonctions exécutives (Angers) en 2008. L'enthousiasme suscité à cette occasion a conduit à l'organisation d'un workshop à Angers les 11 et 12 juin 2009, permettant d'officialiser le lancement du groupe FEE et d'acter l'implication des partenaires. Plus de 70 cliniciens participent désormais à ce programme de recherche. Ils exercent dans plusieurs institutions réparties sur le territoire national et accueillant des enfants présentant diverses pathologies neurodéveloppementales ou acquises (centres hospitaliers – pédiatrie, pédopsychiatrie –, centres de rééducation fonctionnelle, centres de référence/compétence). Afin de disposer d'une expertise collective reconnue et cohérente, plusieurs spécialistes ont été sollicités pour assurer la coordination de chacun des contextes cliniques inclus dans le projet FEE. Leur rôle était de déterminer les critères d'inclusion de ces groupes respectifs et de favoriser la cohérence scientifique du projet.

Le croisement des domaines d'expertise des professionnels impliqués dans le projet a permis d'aboutir à une série de 12 tests d'évaluation des FE adaptés à la population pédiatrique, regroupés selon les quatre processus exécutifs qu'ils sont supposés mesurer préférentiellement. Afin d'associer mesures directes et de vie quotidienne, un questionnaire à destination des parents et de l'enseignant a également été adapté en français. La batterie est composée d'épreuves existantes chez l'enfant ou l'adulte, qui ont été modifiées pour les ajuster au mieux à la population pédiatrique ; les autres sont des tâches expérimentales inédites. Des épreuves sollicitant des ressources verbales et d'autres plutôt non verbales ont été délibérément panachées, d'une part, afin de tenir compte de l'influence des processus de bas niveau sur la variance des scores exécutifs et, d'autre part, de manière à disposer d'épreuves exploitables en cas de troubles phasiques, visuospatiaux ou praxiques.

L'étalonnage et la validation de la batterie, qui doivent se terminer à l'horizon 2017, sont prévus auprès d'un millier d'enfants sains âgés de 6 à 16 ans et plus de 200 patients issus d'une quinzaine de contextes médicaux. En plus de l'âge, le genre, le niveau d'étude et le statut socioéconomique des parents ont été pris en compte, afin d'étudier l'influence possible de ces variables démographiques sur le développement exécutif. Deux mesures d'intelligence cristallisée et fluide sont également administrées, dans l'optique d'explorer plus systématiquement les liens de ces concepts avec le fonctionnement exécutif. Plusieurs dizaines de mémoires de recherche de master et une dizaine de thèses de doctorat en Neuropsychologie ont été effectuées ou sont en cours

de réalisation dans le contexte du projet FEE, et cinq workshops internationaux ont été organisés. La publication des normes françaises de l'inventaire comportemental des FE de l'enfant (BRIEF [67, 68]), constitue le premier aboutissement de ce travail multicentrique. Enfin, une dynamique transculturelle a été engagée, en particulier avec la Tunisie, ayant récemment abouti à la diffusion de premières données développementales auprès de cette population [69].

Conclusion

Les connaissances dans le champ des FE de l'enfant ont connu, depuis une trentaine d'années, une avancée considérable, comme en témoigne l'expansion des travaux de recherche dans ce domaine. Ces progrès ont favorisé la mise à disposition d'outils évaluatifs variés et de plus en plus adaptés aux enfants, lesquels ont alimenté la réflexion théorique autour du développement typique, tout en contribuant à l'émancipation de l'hypothèse de vulnérabilité précoce des réseaux frontaux et à la reconnaissance des troubles. La structuration interactive des travaux autour de chacune de ces dimensions constitue un point d'ancrage solide pour accompagner les transitions de cette thématique en plein essor, qui se situe aux interfaces des différents champs disciplinaires de la psychologie et illustre l'intérêt de regards croisés. La complémentarité avec la neuropsychologie de

l'adulte apparaît dans ce contexte capitale, non pas dans une logique d'assimilation ou de transposition « brute », mais en vue d'enrichir et d'interroger mutuellement les référentiels théoriques, méthodologiques et cliniques.

Plus globalement, les perspectives qui s'associent à l'étude du comportement de l'enfant à travers le prisme du contrôle exécutif s'inscrivent dans une dimension anthropologique, dont les horizons de recherche devront s'ajuster aux mutations sociétales et idéologiques du monde dans lequel l'enfant évolue. Les champs d'application sont multiples, dans la mesure où le périmètre conceptuel des FE coïncide avec diverses problématiques contemporaines essentielles, telles que l'autonomie et la dépendance, la norme et sa transgression, ou le libre arbitre. autant de dimensions déterminantes pour une multitude de questions relevant de la santé, de l'éducation, voire de la justice. Autrement dit, et à l'instar des axes de réflexion proposés par le récent rapport « *Brain waves* » de la *Royal Society of London for the Improvement of Natural Knowledge*, la problématique des FE de l'enfant se trouve au centre du débat sur l'utilisation des neurosciences par les sociétés modernes. ■

Liens d'intérêts

l'auteur déclare ne pas avoir de lien d'intérêt en rapport avec cet article.

Références

- Luria AR. *Higher cortical functions in man*. New York: Basic Books, 1966.
- Seron X, van der Linden M, André P. Le lobe frontal : à la recherche de ses spécificités fonctionnelles. In : van der Linden M, Seron X, Le Gall D, André P, éd. *Neuropsychologie des lobes frontaux*. Marseille: Solal, 1999, p. 33-88.
- Diamond A. Executive functions. *Ann Rev Psychol* 2013 ; 64 : 135-68. doi: 10.1146/annurev-psych-113011-143750.
- Zelazo PD, Müller U. Executive functions in typical and atypical development. In : Goswami U, éd. *Handbook of childhood cognitive development*. Oxford: Blackwell, 2002, p. 445-69.
- Roy A, Le Gall D, Roulin JL, et al. Les fonctions exécutives chez l'enfant : approche épistémologique et sémiologie clinique. *Rev Neuropsychol* 2012 ; 4 : 487-97. doi: 10.1684/nrp.2012.0242.
- Sevino O. *Les fonctions exécutives chez l'enfant : développement, structure et évaluation*. Thèse de doctorat non publiée. Université de Genève, 1998.
- Passler MR, Isaac W, Hynd G. Neuropsychological development of behavior attributed to frontal lobe functioning in children. *Dev Neuropsychol* 1985 ; 1 : 349-70. doi: 10.1080/87565648509540320.
- Welsh MC, Pennington BF, Groisser DB. A normative-developmental study of executive function: a window on prefrontal function in children. *Dev Neuropsychol* 1991 ; 7 : 131-49. doi: 10.1080/87565649109540483.
- Diamond A. De l'intention à l'action : le cortex préfrontal et le développement cognitif précoce. In : Metz-Lutz MN, Demont E, Seegmuller C, et al, éd. *Développement cognitif et troubles des apprentissages*. Marseille: Solal, 2004, p. 13-35.
- Lehto JE, Juujärvi P, Kooistra L, et al. Dimensions of executive functioning: evidence from children. *Br J Dev Psychol* 2003 ; 21 : 59-80. doi: 10.1348/02615100332116462.
- Lee K, Bull R, Ho RM. Developmental changes in executive functioning. *Child Dev* 2013 ; 84 : 1933-53. doi: 10.1111/cdev.12096.
- Pascual-Leone J. *Cognitive style and cognitive development : a general psychological integration*. Thèse de doctorat non publiée. Université de Genève, 1969.
- Roberts RJ, Pennington BF. An interactive framework for examining prefrontal processes. *Dev Neuropsychol* 1996 ; 12 : 105-26. doi: 10.1080/87565649609540642.
- Gioia GA, Isquith PK, Guy SC, et al. *Behavior rating inventory of executive function (BRIEF)*. Lutz: Psychological Assessment Resources, 2000.
- Anderson P. Assessment and development of executive function during childhood. *Child Neuropsychol* 2002 ; 8 : 71-82.
- Dennis M. Prefrontal cortex: typical and atypical development. In : Risberg J, Grafman J, éd. *The frontal lobes: development, function and pathology*. New York: Cambridge University Press, 2006, p. 128-62.
- Hughes C. Finding your marbles: does preschoolers' strategic behavior predict later understanding of mind? *Dev Psychol* 1998 ; 34 : 1326-39. doi: 10.1037/0012-1649.34.6.1326.
- Carlson SM, Moses LJ, Claxton LJ. Individual differences in executive functioning and theory of mind: an investigation of inhibitory control and planning ability. *J Exp Child Psychol* 2004 ; 87 : 299-319. doi: 10.1016/j.jecp.2004.01.002.
- Frye D, Zelazo PD, Palfai T. Theory of mind and rule-based reasoning. *Cog Dev* 1995 ; 10 : 483-527. doi: 10.1016/0885-2014(95)90024-1.
- Devine RT, Hughes C. Relations between false belief understanding and executive function in early childhood: a meta-analysis. *Child Dev* 2014 ; 85 : 1777-94. doi: 10.1111/cdev.12237.
- Ruddock SR, Hyde CE, Piek JP, et al. Executive systems constrain the flexibility of online control in children during goal-directed reaching. *Dev Neuropsychol* 2014 ; 39 : 51-68. doi: 10.1080/87565641.2013.855215.
- Blank R, Smits-Engelsman B, Polatajko H, et al. European Academy for Childhood Disability (EACD): recommendations on

- the definition, diagnosis and intervention of developmental coordination disorder. *Dev Med Child Neurol* 2012;54:54-93. doi: 10.1111/j.1469-8749.2011.04171.x.
23. Costini O, Roy A, Faure S, et al. La dyspraxie développementale : actualités et enjeux. *Rev Neuropsychol* 2013;5:200-12. doi: 10.1684/nrp.2013.0272.
24. Duncan J, Burgess P, Emslie H. Fluid intelligence after frontal lobe lesions. *Neuropsychol* 1995;33:261-8. doi: 10.1016/0028-3932(94)00124-8.
25. Damasio AR, Anderson SW. The frontal lobes. In : Heilman KM, Valenstein E, eds. *Clinical Neuropsychology*, 3rd ed. New York : Oxford University Press, 1993, p. 409-60.
26. Ardila A, Pineda D, Rosselli M. Correlation between intelligence test scores and executive function measures. *Arch Clin Neuropsychol* 2000;15:31-3. doi: 10.1016/S0887-6177(98)00159-0.
27. Emslie H, Wilson C, Burden V, et al. *Behavioural Assessment of Dysexecutive Syndrome for Children (BADS-C)*. Bury St Edmunds : Thames Valley Test Company, 2003.
28. Welsh MC, Pennington BF, Groisser DB. A normative-developmental study of executive function: a window on prefrontal function in children. *Dev Neuropsychol* 1991;7:131-49. doi: 10.1080/87565649109540483.
29. Arffa S. The relationship of intelligence to executive function and non-executive function measures in a sample of average, above average, and gifted youth. *Arch Clin Neuropsychol* 2007;22:969-78. doi: 10.1016/j.acn.2007.08.001.
30. Seidenberg M, Giordani B, Berent S, et al. IQ level and performance of the Halstead-Reitan Neuropsychological Test battery for older children. *J Consult Clin Psychol* 1983;51:406-13.
31. Eslinger PJ, Flaherty-Craig C, Benton AL. Developmental outcomes after early prefrontal cortex damage. *Brain Cogn* 2004;55:84-103. doi: 10.1016/S0278-2626(03)00281-1.
32. Hernandez MT, Sauerwein HC, Jambaqué I, et al. Deficits in executive functions and motor coordination in children with frontal lobe epilepsy. *Neuropsychol* 2002;40:384-400. doi: 10.1016/S0028-3932(01)00130-0.
33. Willner P, Bailey R, Parry R, et al. Evaluation of executive functioning in people with intellectual disabilities. *J Intellect Dis Res* 2010;54:366-79. doi: 10.1111/j.1365-2788.2010.01249.x.
34. Burgess GC, Braver TS, Gray JR. Exactly how are fluid intelligence, working memory, and executive function related? Cognitive neuroscience approaches to investigating the mechanisms of fluid cognition. *Behav Brain Sci* 2006;29:128-9. doi: 10.1017/S0140525X0625903X.
35. Ardila A, Rosselli M, Matute E, et al. The influence of the parents' educational level on the development of executive functions. *Dev Neuropsychol* 2005;28:539-60.
36. Catale C, Willems S, Lejeune S, et al. Parental educational level influence on memory and executive performance in children. *Europ Rev App Psychol* 2012;62:161-71. doi: 10.1016/j.erap.2012.04.003.
37. Lawson GM, Duda JT, Avants BB, et al. Associations between children's socioeconomic status and prefrontal cortical thickness. *Dev Sci* 2013;16:641-52. doi: 10.1111/desc.12096.
38. Bernier A, Carlson SM, Whipple N. From external regulation to self-regulation: early parenting precursors of young children's executive functioning. *Child Dev* 2010;81:326-39. doi: 10.1111/j.1467-8624.2009.01397.x.
39. Thorell LB, Veleiro A, Siu AF, et al. Examining the relation between ratings of executive functioning and academic achievement: findings from a cross-cultural study. *Child Neuropsychol* 2013;19:630-8. doi: 10.1080/09297049.2012.727792.
40. Korkman M. Executive functions in children: assessment, development, and disorders. *Rev Neuropsychol* 2000;10:471-87.
41. Anderson V, Spencer-Smith M, Wood A. Do children really recover better? Neurobehavioural plasticity after early brain insult. *Brain* 2011;134:2197-221.
42. Levin HS, Hanten G. Executive functions after traumatic brain injury in children. *Pediatr Neurol* 2005;33:79-93. doi: 10.1016/j.pediatrneurol.2005.02.002.
43. Roy A. A more comprehensive overview of executive dysfunction in children with cerebral palsy: theoretical perspectives and clinical implications. *Dev Med Child Neurol* 2013;55:880-1. doi: 10.1111/dmcn.12225.
44. Barkley RA. Attention-deficit/hyperactivity disorder, self-regulation, and time: toward a more comprehensive theory. *J Dev Behav Pediatr* 1997;18:271-9.
45. Gillet P. *Neuropsychologie de l'autisme chez l'enfant*. Marseille : De Boeck - Solal, 2013.
46. Christ SE, Huijbregts SC, de Sonnevill LM, et al. Executive function in early-treated phenylketonuria: profile and underlying mechanisms. *Mol Genet Metabol* 2010;99:S22-32. doi: 10.1016/j.ymgme.2009.10.007.
47. Roy A, Barbarot S, Charbonnier V, et al. Examining the frontal subcortical brain vulnerability hypothesis in children with Neurofibromatosis type 1: are T2-weighted hyperintensities related to executive dysfunction? *Neuropsychol* 2015;29:473-84. doi: 10.1037/neu0000151.
48. Mulder H, Pitchford NJ, Hagger MS, et al. Development of executive function and attention in preterm children: a systematic review. *Dev Neuropsychol* 2009;34:393-421. doi: 10.1080/87565640902964524.
49. Mattson SN, Crocker N, Nguyen TT. Fetal alcohol spectrum disorders: neuropsychological and behavioral features. *Neuropsychol Rev* 2011;21:81-101. doi: 10.1007/s11065-011-9167-9.
50. Lodenos V, Alix E. Fonctions exécutives : quelle réalité scolaire ? *Developpements* 2015;7:41-57.
51. Anderson V. Assessing executive functions in children: biological, psychological, and developmental considerations. *Neuropsychol Rehab* 1998;8:319-49. doi: 10.1080/71375568.
52. Mazeau M. *Dysphasie, troubles mnésiques, syndrome frontal chez l'enfant atteint de lésions cérébrales précoces : du trouble à la rééducation*. Paris : Masson, 1997.
53. Roy A. Les fonctions exécutives chez l'enfant : des considérations développementales et cliniques à la réalité scolaire. *Developpements* 2015;7:13-40.
54. Roy A, Gillet P, Lenoir P, et al. Les fonctions exécutives chez l'enfant : évaluation. In : Hommet C, Jambaqué I, Billard C, Gillet P, eds. *Neuropsychologie de l'enfant et troubles du développement*. Marseille : Solal, 2005, p. 149-83.
55. Zelazo PD, Müller U. Executive functions in typical and atypical development. In : Goswami U, éd. *Handbook of childhood cognitive development*. Oxford : Blackwell, 2002, p. 445-69.
56. Pratt ML, Leonard HC, Adeyinka H, et al. The effect of motor load on planning and inhibition in developmental coordination disorder. *Res Dev Disab* 2014;35:1579-87. doi: 10.1016/j.ridd.2014.04.008.
57. Dennis M, Francis D, Cirino PT, et al. Why IQ is not a covariate in cognitive studies of neurodevelopmental disorders? *J Inter Neuropsychol Soc* 2014;15:331-43. doi: 10.1017/S1355617709090481.
58. Belfi AM, Conrad AL, Dawson J, et al. Masculinity/femininity predicts brain volumes in normal healthy children. *Dev Neuropsychol* 2014;39:25-36. doi: 10.1080/87565641.2013.839681.
59. Anderson SW, Damasio H, Tranel D, et al. Long-term sequelae of prefrontal cortex damage acquired in early childhood. *Dev Neuropsychol* 2000;18:281-96. doi: 10.1207/S1532694202Anderson.
60. Eslinger PJ, Biddle KR. Adolescent neuropsychological development after early right prefrontal cortex damage. *Dev Neuropsychol* 2000;18:297-329. doi: 10.1207/S1532694203Eslinger.
61. Aarnoudse-Moens CSH, Duivenvoorden HJ, Weisglas-Kuperus N, et al. The profile of executive function in very preterm children at 4 to 12 years. *Dev Med Child Neurol* 2012;54:247-53.
62. Bobet R, Dellatolas G. La qualité de vie de l'enfant avec épilepsie. In : Jambaqué I, éd. *Épilepsies de l'enfant : troubles du développement cognitif et socio-émotionnel*. Marseille : Solal, 2008, p. 173-99.
63. Denckla MB. Research on executive function in a neurodevelopmental context: application of clinical measures. *Dev Neuropsychol* 1996;12:5-15. doi: 10.1080/87565649609540637.
64. Chevignard M, Soo C, Galvin J, et al. Ecological assessment of cognitive functions in children with acquired brain injury: a systematic review. *Brain Inj* 2012;26:1033-57. doi: 10.3109/02699052.2012.666366.
65. Toplak ME, West RF, Stanovich KE. Practitioner review: do performance-based measures and ratings of executive function assess the same construct? *J Child Psychol Psych Alli Disc* 2013;54:131-43. doi: 10.1111/jcpp.12001.

66. Roy A, Lancelot C. La prise de décision affective chez l'enfant. *Rev Neuropsychol* 2013 ; 5 : 106-18. doi: 10.1684/nrp.2013.0260.
67. Fournet N, Roulin JL, Monnier C, et al. Multigroup confirmatory factor analysis and structural invariance with age of the Behavior Rating Inventory of Executive Function (BRIEF) - French version. *Child Neuropsychol* 2014;22:1-20. doi: 10.1080/09297049.2014.906569.
68. Roy A, Fournet N, Roulin JL, et al. *BRIEF – inventaire d'évaluation comportementale des fonctions exécutives, adaptation française [Behavior rating inventory of executive function]*. Paris: Hogrefe France Éditions, 2013.
69. Bellaj T, Salhi I, Le Gall D, et al. Development of executive functioning in school-age Tunisian children. *Child Neuropsychol* 2015 ; Published online <http://dx.doi.org/10.1080/09297049.2015.1058349>.