

Fonctions exécutives et trouble développemental de la coordination : réflexion théorique et sémiologie clinique

O. COSTINI^{1,2}, C. REMIGEREAU³, D. LE GALL³, A. ROY^{3,4}

RÉSUMÉ : Fonctions exécutives et trouble développemental de la coordination : réflexion théorique et sémiologie clinique

Face à l'essor considérable des travaux portant sur le développement des fonctions exécutives chez l'enfant, leur implication est actuellement envisagée dans de multiples contextes étiologiques. L'hypothèse d'un déficit exécutif a ainsi été formulée dans le trouble développemental de la coordination, essentiellement sur la base de résultats cliniques et expérimentaux. Cet article propose de discuter cette hypothèse et les liens éventuels entre motricité et fonctions exécutives à l'appui d'une analyse critique des chevauchements conceptuels, théoriques et cliniques. Si la littérature interroge l'existence d'un facteur commun, cognitif ou neuronal, les éléments de dissociation possibles sont examinés. Les perspectives cliniques sont finalement dégagées en faveur d'une stratégie d'examen qui permette d'appréhender la spécificité des troubles psychomoteurs, dès lors que la sémiologie associe des troubles des fonctions exécutives.

Mots clés : Fonctions exécutives – Trouble développemental de la coordination – Dyspraxie – Coordination motrice – Comorbidité.

SUMMARY: Executive functioning and developmental coordination disorders: theoretical consideration and clinical semiology

With the explosive development of work on the development of executive functioning in children, its involvement is currently considered in multiple etiological contexts. The assumption that there will be a deficiency in executive function was formulated in developmental coordination disorders (DCD), mainly based on clinical and experimental results. The objective of this article is to discuss this hypothesis and its possible links between motor function and executive functions in support of a critical analysis of theoretical and clinical conceptual overlaps. If literature questions the existence of a common cognitive or neuronal factor, the possible elements of dissociation are considered. The clinical perspectives are finally emerging in favour of a review strategy that identifies the specific aspect of psychomotor disorders when semiology involves executive function disorders.

Key words: Executive functions – Development coordination disorders – Dyspraxia – Motor coordination – Comorbidity.

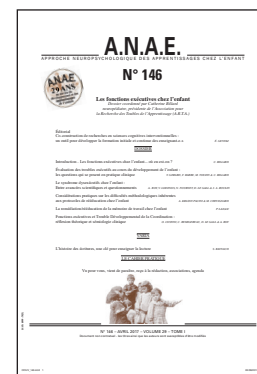
RESUMEN: Funciones ejecutivas y trastorno del desarrollo de la coordinación: reflexión teórica y semiología clínica

Frente al considerable auge de los trabajos que se refieren al desarrollo de las funciones ejecutivas en el niño, en la actualidad se está considerando su implicación en múltiples contextos etiológicos. En el trastorno del desarrollo de la coordinación se ha formulado la hipótesis de un déficit ejecutivo, principalmente sobre la base de resultados clínicos y experimentales. Este artículo propone discutir esta hipótesis y las posibles relaciones entre motricidad y funciones ejecutivas con la ayuda de un análisis crítico de las imbricaciones conceptuales, teóricas y clínicas. Si la literatura plantea la existencia de un factor común, cognitivo o neuronal, se examinarán los posibles elementos de disociación. Por último, se extraen las perspectivas clínicas a favor de una estrategia de examen que permita comprender la especificidad de los trastornos psicomotores, puesto que la semiología asocia trastornos de las funciones ejecutivas.

Palabras clave: Funciones ejecutivas – Trastorno del desarrollo de la coordinación – Dispraxia – Coordinación motora – Comorbilidad.

1. Laboratoire de Psychologie de la Perception, UMR 8242, CNRS, Université Paris-Descartes, Paris, France.
2. Unité fonctionnelle Vision et Cognition, Service de neurologie, Fondation ophtalmologique A. de Rothschild, Paris, 48, avenue Mathurin Moreau, 75019 Paris, France. Email : orianne.costini@gmail.com
3. Université d'Angers, Laboratoire de psychologie des Pays de la Loire, UBL, EA 4638, Angers, France.
4. Centre référent des troubles d'Apprentissage, Centre de compétence nantais de neurofibromatose, Hôpital Femme-Enfant-Adolescent, CHU de Nantes, Nantes, France.

Note de la Rédaction : Parution en décembre 2019 d'une expertise collective de l'Inserm « Trouble développemental de la coordination ou dyspraxie » dont la synthèse est disponible sur : https://www.inserm.fr/sites/default/files/2019-12/Inserm_EC_2019_Dyspraxie_Synthese_0.pdf



Pour citer cet article : Costini, O., Remigereau, C., Le Gall, D. & Roy, A. (2017). Fonctions exécutives et trouble développemental de la coordination : réflexion théorique et sémiologie clinique. A.N.A.E., 146, 63-71.

Le rôle déterminant des fonctions exécutives au sein du développement sociocognitif de l'enfant a été souligné par de nombreux travaux théoriques et expérimentaux, dans un contexte typique mais également atypique (pour revue, voir dans ce numéro Roy, Lodenos, Fournet, Le Gall & Roulin, 2017). L'existence d'une perturbation de ces fonctions a ainsi été envisagée dans de multiples contextes étiologiques chez l'enfant, dont les troubles spécifiques du développement moteur. Aussi, cet article propose une revue critique des arguments formulés en faveur de l'hypothèse d'un dysfonctionnement exécutif dans le trouble développemental de la coordination (TDC), considérant que la dyspraxie y est communément assimilée au sein de la littérature. Nous ne reviendrons donc pas ici sur l'analyse épistémologique de ces entités (pour revue, voir Costini et al., 2013 ; Costini et al., 2014), mais rappellerons en revanche les principales caractéristiques du TDC compte tenu de la récente actualisation de ses critères diagnostiques. Les liens éventuels entre motricité et fonctions exécutives seront ainsi interrogés à l'appui d'une analyse critique des chevauchements existants aux niveaux conceptuel, théorique et clinique. Si la littérature envisage l'existence d'un facteur neurocognitif commun, nous proposons d'examiner les éléments de dissociation possibles, pour finalement dégager les perspectives cliniques permettant d'appréhender la spécificité des troubles lorsque la sémiologie associe des perturbations motrices et exécutives.

Le trouble développemental de la coordination : contexte actuel

Tel qu'explicité par le DSM-V, le trouble développemental de la coordination (TDC)¹ est un trouble neurodéveloppemental affectant les compétences de coordination motrice, dont l'acquisition et l'exécution demeurent significativement inférieures au niveau escompté compte tenu de l'âge chronologique de l'enfant et de ses opportunités d'apprentissage (critère A). Les perturbations motrices relevées pénalisent les activités de vie quotidienne, de façon significative et persistante (critère B), les premiers symptômes étant repérés dès la petite enfance (critère C). Ces altérations motrices ne s'expliquent pas par un handicap intellectuel, ou une déficience visuelle, et ne sont pas imputables à une affection neurologique (e.g., paralysie cérébrale, hémiplégie ou dystrophie musculaire ; critère D).

1 ● Anciennement « trouble de l'acquisition de la coordination » (TAC) au sein des versions françaises antérieures du Manuel diagnostique et statistique des troubles mentaux (DSM).

Cette récente actualisation des critères diagnostiques permet d'insister sur la nécessité d'objectiver des troubles durables et persistants sur le plan moteur, en accord avec les préconisations formulées dans le cadre de consensus internationaux (Blank et al., 2012 ; Sugden, Chambers & Utley, 2006). Il s'agit là d'un point essentiel, puisque l'importance du recul évolutif n'était pas signifiée dans les versions antérieures, contribuant très probablement à une persistance des troubles chez 50 à 70 % des enfants uniquement (Blank et al., 2012). En dépit de ces avancées, le diagnostic du TDC conserve une relative opacité quant à la définition des « compétences de coordination motrice », qui sont illustrées par des symptômes (e.g., maladresse, lenteur, imprécision) et non explicitées par des processus psychologiques. Wilson (2004) précise d'ailleurs que « les tests communément utilisés pour évaluer le TDC tendent à ne se baser sur aucune définition stricte de la coordination per se, mais davantage sur le postulat implicite que la coordination motrice ou les habiletés motrices générales existent et peuvent être mesurées » (p. 2 ; traduit de l'anglais). Ces définitions peu précises quant aux processus impliqués laisse donc nécessairement place à un recouvrement avec d'autres déficits non spécifiquement moteurs, et notamment avec les fonctions exécutives. Cet écueil tend à être renforcé par l'absence de spécification des seuils permettant d'objectiver de manière quantitative des troubles, bien que des propositions aient été formulées en ce sens (Blank et al., 2012). De façon additionnelle, il est à noter que la présence de troubles du spectre autistique ne constitue plus désormais un critère d'exclusion au TDC, alors même que des perturbations des FE sont décrites dans cette population clinique (Zelazo & Muller, 2002). En outre, si l'actualisation des critères diagnostiques d'exclusion précise que les perturbations motrices « ne sont pas mieux expliquées par (...) une déficience visuelle », l'origine centrale ou périphérique de cette déficience n'est pas explicitée (e.g., trouble visuel causé par une altération de la rétine vs par un dysfonctionnement des régions occipitales). Cette question est essentielle puisque la présence de déficits visuo-perceptifs et/ou visuo-spatiaux est envisagée comme une étiologie possible du TDC (Rösblad, 2011 ; Tsai et al., 2008 ; Vavre-Douret, 2013), alors même que la littérature souligne les intrications et dissociations possibles entre troubles visuels d'origines centrales et déficits de coordination motrice (pour revue, voir Chokron & Duton, 2016).

En somme, le diagnostic de TDC laisse place à d'importantes comorbidités, rendant relativement obsolètes les notions de spécificité et de sous-types, puisque les troubles dépendront vraisemblablement de l'étiologie

associée (mentionnée ou non au sein des études). Le risque étant alors de renforcer l'hétérogénéité inter- et intra-individuelle, qui constituait déjà l'une des seules caractéristiques consensuelles du TDC (King *et al.*, 2011). L'analyse sémiologique du TDC demeure ainsi majoritairement aspécifique et athéorique, et donc fondamentalement tributaire de la méthode d'examen employée (*i.e.*, mesures, seuils de déficits, etc.). Les répercussions possibles d'autres troubles cognitifs sur les compétences motrices sont rarement interrogées, au détriment d'une approche intégrative des perturbations présentées par les enfants TDC. C'est dans ce contexte qu'un dysfonctionnement des fonctions exécutives a été suggéré comme une des étiologies possibles du TDC, tandis que le statut de ces troubles exécutifs vis-à-vis des altérations motrices reste encore à déterminer.

Déficit exécutif dans le TDC : quels arguments ?

Dans une récente méta-analyse, Wilson, Ruddock, Smits-Engelsman, Polatajko et Blank (2013) constatent que l'étiologie du TDC demeure incertaine face à la multiplicité des hypothèses envisagées, parmi lesquelles figure une altération du fonctionnement exécutif. Au-delà de la récente multiplication des études portant sur ce thème, la question des fonctions exécutives chez les enfants présentant des perturbations motrices et/ou praxiques se justifie par les chevauchements conceptuels, théoriques et cliniques qui peuvent être repérés au sein de la littérature.

Les confusions conceptuelles

Tel que rappelé par Roy (2015), les fonctions exécutives (FE) recouvrent classiquement un ensemble d'habiletés de haut niveau (contrôle) nécessaires à la réalisation d'un comportement dirigé vers un but. Une nette proximité peut donc déjà être repérée avec le concept de geste, en lien avec celui de *praxie*. En effet, les praxies définissent classiquement la capacité à produire une action motrice intentionnelle, orientée vers un but (« *skilled motor acts* » or « *sequences of purposeful motor movements* » pour Dewey, Cantell & Crawford, 2007) et à utiliser des objets (Zoia, Pelamatti, Cuttini, Casotto & Scabar, 2002), permettant ainsi une interaction adéquate avec l'environnement (Cermak, 2011). Au-delà des aspects relatifs à la production gestuelle, certains auteurs précisent qu'il s'agit de la capacité à *planifier*, *organiser* et *exécuter* des mouvements *experts* et *finalisés* (Misiuna & Polatajko, 1995). Il existe ainsi un recouvrement manifeste entre la définition des praxies et celle des FE, contribuant très

probablement au flou conceptuel existant autour des troubles praxiques chez l'enfant. Cette confusion conceptuelle est entretenue par certaines des classifications historiques de la dyspraxie qui décrivent un sous-type de nature dysexécutive. Cermak (1985) suggère par exemple une dyspraxie « de planification primaire », désignant l'incapacité à organiser conceptuellement la séquence de mouvements requise, du fait d'un trouble exécutif non restreint à la sphère motrice et sous-tendu plus globalement par un dysfonctionnement des régions frontales. De façon semblable, Gérard (2005) caractérise la « dyspraxie de type 3 » par des difficultés élémentaires de contrôle exécutif de l'action, associées à des difficultés attentionnelles avec ou sans hyperactivité. Plus récemment, Feige *et al.* (2011) décrivent une « dyspraxie exécutive » qui aurait pour origine un dysfonctionnement exécutif cognitif plus global. Si ces différentes propositions reflètent la fréquente association clinique de troubles moteurs et exécutifs, elles invalident directement la spécificité des perturbations gestuelles, puisqu'elles déterminent un trouble central et transversal des FE qui impacte le geste de façon secondaire. En effet, peut-on encore parler de trouble du geste dans ces contextes, puisqu'il est avant tout la conséquence d'un trouble des FE ? Au-delà de la question des sous-types, cette confusion peut finalement être retrouvée dans la définition même du TDC. Vaivre-Douret *et al.* (2011) y intègrent par exemple la mention d'« *une perturbation de l'action d'un geste intentionnel en raison de dysfonctionnements au niveau de la planification et de la programmation cérébrale du mouvement en amont de l'exécution motrice* » (p. 452). Alors que ces auteurs précisent qu'une perturbation des fonctions exécutives ne peut en aucun cas être spécifique d'un sous-type de dyspraxie, l'introduction d'un trouble de planification motrice ajoute encore aux confusions déjà repérées. En effet, sur la base des propositions théoriques formulées dans la littérature portant sur le TDC, et des outils d'évaluation disponibles, il semble aujourd'hui difficile de déterminer de façon opérationnelle ce qui distingue la planification motrice de la programmation motrice et de la planification exécutive.

Si des éléments théoriques et conceptuels font débat, la revue de la littérature témoigne d'une multiplication des travaux s'intéressant à l'hypothèse d'un dysfonctionnement exécutif chez les enfants TDC. Différents niveaux de perturbation sont considérés d'une étude à l'autre, du dysfonctionnement exécutif global à l'atteinte plus restreinte de certaines composantes exécutives.

Les arguments expérimentaux

Alors même que le TDC est parfois défini comme un trouble de planification motrice (Vaivre-Douret, 2014), certains auteurs objectivent une infériorité significative des performances des enfants TDC dans des tâches de planification exécutive, comparativement à celles d'enfants au développement typique (Asonitou et al., 2012 ; Pratt et al., 2014). Si la pertinence de cette question est évidente, elle reste néanmoins peu développée en regard des nombreuses recherches portant sur les capacités d'inhibition dans le TDC, qui montrent pour la plupart des performances significativement inférieures au groupe contrôle. Des difficultés sont notamment retrouvées dans des tâches expérimentales d'inhibition motrice (telles que la *Simon Task* utilisée par Mandich, Buckolz & Polatajko, 2002 ; ou le paradigme de *Double Jump Reaching* de Ruddock et al., 2015) ou plus cliniques (telle que la tâche de Leonard, Bernardi, Hill & Henry, 2015, qui demande au patient de copier puis inhiber un geste en réponse à celui produit par l'expérimentateur). Cependant, des perturbations sont également relevées dans des tâches où la motricité est supposée réduite (lorsque l'enfant doit répondre en soulignant sa réponse ou en cliquant sur un bouton ; Asonitou, Koutsouki, Kourtessis & Charitou, 2012 ; Michel, Molitor & Schneider, 2016), voire absente (telles que les tâches verbales de type *Stroop* ; Michel, Roethlisberger, Neuenschwander & Roeber, 2011 ; Pratt, Leonard, Adeyinka & Hill, 2014). En outre, intégrant les propositions de Zelazo et Müller (2002), de récents travaux suggèrent que le déficit de contrôle inhibiteur des enfants avec TDC ne se restreint pas au versant cognitif (*cold executive function* en anglais), mais s'étendrait également au versant affectif (*hot executive function* ; pour revue de ces aspects, voir dans ce numéro Roy et al., 2017).

S'agissant des capacités de *flexibilité*, les résultats apparaissent plus contrastés. Si des perturbations sont objectivées par certains auteurs (Michel et al., 2010 ; Piek et al., 2007 ; Wang et al., 2011), d'autres n'observent pas de différence significative entre enfants TDC et contrôles (Leonard et al., 2015 ; Michel et al., 2016). Ici encore, la méthode employée varie fortement d'une étude à l'autre, et peut interroger l'incidence de la mobilisation conjointe d'un contrôle inhibiteur ou de la *mémoire de travail* (notamment dans les tâches dites de *shifting*, qui sont dissociées de celles de *fluency* au sein des études anglo-saxonnes). Or, des perturbations en mémoire de travail sont également décrites chez les enfants TDC, au niveau visuel/visuo-spatial (Alloway, 2011 ; Michel et al., 2016 ; Piek et al., 2007) et verbal (Alloway, 2011), bien qu'il existe ici encore des

observations contradictoires (voir par exemple, Michel et al., 2011).

Au total, force est de constater que les résultats demeurent le plus souvent parcelaires et divergents selon les auteurs, en lien avec une analyse qui reste trop souvent incomplète et essentiellement méthode-dépendante. En effet, les méthodes diffèrent d'une étude à l'autre : tâches exécutives et/ou motrices souvent isolées, modalités de réponses hétérogènes (e.g., verbale versus réponse sur clavier versus papier-crayon versus gestuelle), nature des groupes mal étayée (enfants pour lesquels le diagnostic a été établi par des équipes spécialisées versus enfants dits « à risque » repérés en contexte scolaire à partir d'outils limités), comorbidités incluses (par exemple, TDC + TDA/H), etc. En conséquence, si certains travaux proposent l'existence de déficits exécutifs chez les enfants TDC, d'autres permettent d'envisager que les faibles performances relevées sur les tâches exécutives soient médiatisées, au moins en partie, par d'autres variables. Piek et al. (2004) suggèrent par exemple que les déficits exécutifs résultent de la présence d'un diagnostic cooccurrent de TDA/H, ou encore de l'impact d'un trouble plus généralisé du traitement de l'information. Face à cette confusion symptomatologique, les auteurs recommandent ainsi d'appréhender avec précaution les études sur le TDC qui ne contrôlent pas la notion de comorbidité. De même, Blank et al. (2012) précisent que « *le TDA/H, les troubles du spectre autistique ou les troubles des conduites peuvent interférer avec les performances (...) motrices, ainsi qu'avec les activités de vie quotidienne rendant difficile l'évaluation motrice des enfants avec TDC* » (p. 64 ; traduit de l'anglais). Ces réflexions interpellent d'autant plus que l'on constate qu'un diagnostic de TDC est régulièrement proposé de façon concomitante avec d'autres diagnostics, dont le TDA/H (Blank et al., 2012). Cette notion de comorbidité doit donc pouvoir être remise en cause, au profit d'une vision intégrative des profils cognitivo-moteurs et d'une recherche de cohérence globale des troubles. Dans une analyse davantage centrée sur les tâches, Pratt, Leonard, Adeyinka et Hill (2014) soulignent que, si un effet de la contrainte motrice est à suspecter sur les performances exécutives des enfants avec TDC, d'autres facteurs sont à considérer, tels que la complexité des réponses requises, la nature plurifactorielle des tâches, ou encore l'effet d'interaction avec l'âge (en raison des changements dans les relations entre FE et motricité suspectés au cours de la trajectoire développementale). Enfin, de façon relativement inédite, Leonard et al. (2015) ont proposé une batterie d'évaluation exhaustive

des FE à une cohorte d'enfants avec TDC (sans TDA/H ou troubles du spectre autistique associés). Cette étude montre que le groupe TDC obtient des résultats significativement inférieurs aux contrôles sur la majorité des tâches exécutives non verbales uniquement, c'est-à-dire celles impliquant une contrainte visuo-spatiale et/ou motrice. Considérant qu'il s'agit précisément de domaines supposés déficitaires dans le TDC, et en l'absence de déficit significatif dans les tâches exécutives verbales, la nature primaire du déficit exécutif (au sens d'un trouble transversal de haut niveau) peut donc dans ce cas être remise en cause.

Fonctions exécutives et motricité : prospective

Au terme de cette analyse, il apparaît donc que la fréquente cooccurrence de perturbations exécutives chez les enfants TDC est de nature à interroger l'incidence de la méthode employée sur l'expression des troubles, notamment pour en comprendre la spécificité. La question est d'autant plus complexe que ces perturbations surviennent dans un contexte développemental, et demande donc d'envisager également l'existence de relations étroites entre FE et motricité au cours de la mise en place dynamique et graduelle des différents systèmes qui fondent la cognition. Dans la continuité de cette réflexion, Roebers et al. (2014) proposent que les FE jouent un rôle de « variable latente », qui serait susceptible de médiatiser les liens entre les performances motrices et cognitives. Aussi, l'hypothèse d'un facteur commun impliqué à la fois dans le développement cognitif et moteur est discutée dans la littérature. Sur un plan neuro-anatomique, Diamond (2000) suggère que l'étroite association entre le développement moteur et cognitif de l'enfant est sous-tendue par la coactivation du cervelet et du cortex préfrontal (boucles fronto-striato-cérébelleuses). De façon intéressante, cette proposition est intégrée à l'argumentation théorique d'une altération du contrôle prédictif de l'action chez l'enfant TDC (*forward modelling of movement*, ou *internal modeling deficit* ; pour revue voir Wilson et al., 2013), qui impliquerait alors un défaut de couplage entre les aires frontales (i.e., qui sont déterminantes pour la mise en place des FE) et les régions cérébrales postérieures (i.e., qui sous-tendent notamment les habiletés visuo-motrices) (Ruddock et al., 2015). Il est ainsi envisagé qu'un déficit du contrôle prédictif de l'action puisse affecter l'action dans le domaine moteur mais également cognitif (Leonard et al., 2016 ; Rahimi-Golkandan et al., 2014).

S'agissant de l'étude des relations entre les fonctions motrices et exécutives chez l'enfant tout-venant, un champ de recherche émergent concerne le développement des habiletés dites de « planification motrice » (Pennequin et al., 2010 ; pour une revue voir Rosenbaum et al., 2012). Dans ce contexte, plusieurs travaux empiriques suggèrent l'idée d'une réorganisation des habiletés motrices entre 6 et 8 ans chez l'enfant tout-venant. Cette dernière modifierait les trajectoires développementales des compétences de planification motrice, évaluées par exemple à l'aide du paradigme d'état de confort final (Thibaut & Toussaint, 2010 ; Wunsch et al., 2013). S'il est établi que cette capacité à anticiper la saisie confortable d'un objet évolue jusqu'à l'âge de 12 ans, sous la dépendance de processus sensori-moteurs et cognitifs, il reste ici encore à déterminer la nature de ces processus et la mesure dans laquelle ils impactent le développement de cette planification motrice. En effet, les performances recueillies avec divers paradigmes expérimentaux varient selon le nombre d'étapes séquentielles de manipulation, le degré de précision requis, la familiarité avec la tâche, la motivation, etc. (Wunsch et al., 2013), incitant à davantage interroger l'influence potentielle de facteurs exécutifs, qui se développent de manière concomitante durant l'enfance. Aussi, les résultats expérimentaux obtenus dans ce champ d'étude demeurent partiels et contradictoires. Gonzalez et al. (2014) ont par exemple mis en évidence un lien significatif mais indirect entre des mesures de *grasping* (c'est-à-dire de saisie d'objet) et les scores de performances exécutives à l'inventaire d'évaluation comportemental des FE (BRIEF ; Gioia, Isquith, Guy & Kenworthy, 2000). En revanche, Fernandes et al. (2016) ne retrouvent pas de corrélation significative entre les épreuves exécutives qu'ils proposent (inhibition et mémoire de travail) et celles de coordination motrice et d'agilité. Si les liens formulés entre FE et motricité dans le contexte développemental trouvent donc des éléments de justification, ils ne nient pas pour autant la présence d'éléments de dissociations entre ces fonctions. Dans le champ du développement atypique, Van Swieten et al. (2010) formulent ainsi l'hypothèse d'une altération spécifique de la « planification motrice » (i.e., épreuve de rotation de bâton) chez des enfants TDC, en l'absence de perturbation exécutive relevée à la Tour de Londres (selon les normes de la NEPSY). Il est néanmoins à noter que cette dernière mesure constitue une variable contrôle de l'étude, qui n'a pas été proposée au groupe contrôle. Malgré l'implication concomitante de fonctions motrices et cognitives dans les deux tâches proposées (anticiper et déplacer les boules de la Tour versus rotation du bâton), les auteurs proposent ainsi que ces épreuves sol-

licitent des processus différents. Ils suggèrent notamment que les épreuves de planification exécutive nécessitent des stratégies de résolution de problèmes et attentionnelles plus complexes (niveau d'abstraction supérieur) que les épreuves de planification motrice, qui impliquent uniquement un choix restreint entre deux postures de saisie d'objet. Ils précisent d'ailleurs que si les singes ne démontrent pas de compétences particulières de planification exécutive, ils présentent en revanche des habiletés de planification motrice comparables à celles de l'homme (présence de l'état de confort final). Cette possible dissociation entre capacités de planification motrice et fonctions exécutives a également été étudiée dans le cadre du développement typique par Wunsch *et al.* (2016). Ces auteurs ont administré trois épreuves de planification motrice (*i.e.*, saisie pour un transport, une rotation ou selon la taille d'un bâton) et trois épreuves exécutives (Tour de Hanoï, Test d'attention du D2 et subtest des Cubes des échelles de Wechsler) à 217 enfants âgés de 3 à 10 ans. En dépit de quelques limites méthodologiques (*e.g.*, versions différentes de certaines épreuves selon l'âge des enfants), les résultats ne révèlent globalement pas de corrélation significative entre les performances de planification motrice et celles des FE, rejoignant ainsi les résultats précédemment décrits de Van Swieten *et al.* (2010). Toutefois, les auteurs soulignent que les résultats obtenus (*i.e.*, association vs dissociation de performance) dépendent en partie du choix des tâches utilisées, notamment pour appréhender les facteurs exécutifs : modalité verbale vs motrice des épreuves, processus évalué (planification, flexibilité, inhibition), choix des variables considérées (score de réussite, temps...).

La nature des liens entre motricité et fonctions exécutives reste donc à ce jour encore peu consensuelle, en lien avec les nombreuses disparités observées entre les études, qu'elles soient menées dans le contexte du développement typique ou atypique. L'un des principaux écueils repérés tient à la diversité des méthodologies employées, ce qui revient à produire autant d'observations que d'observateurs. Intégrant ces limites, le recours à des référentiels théoriques comme support d'analyse des troubles apparaît indispensable, tant pour la recherche que pour la pratique clinique. Aussi, la notion de spécificité demande de rechercher la cohérence et la constance du trouble dans les manifestations cliniques observables, afin de confronter les hypothèses formulées quant aux processus sous-jacents perturbés.

S'agissant de l'utilisation d'outils, et afin d'examiner plus en détail les liens possibles entre FE, motricité et épreuves de vie quotidienne,

il serait pertinent d'apprécier, au-delà des résultats quantitatifs, les performances qualitatives des enfants. Par exemple, pour distinguer FE et production motrice, il apparaît nécessaire d'examiner si la mise en séquence d'une activité est problématique pour l'enfant, en regard du déplacement/ manipulation des objets : est-ce que le nombre d'étapes à réaliser dans l'épreuve impacte les patterns de résultats ? Est-ce que la manipulation des objets est maladroite (chute des objets, difficultés à insérer les boules de la Tour de Londres sur leurs supports, etc.) ? En outre, à l'image des doubles dissociations fonctionnelles observées en neuropsychologie adulte entre des altérations sémantiques, exécutives et techniques, une analyse sémiologique comparative doit être envisagée afin de déterminer si diverses atteintes cognitives (*e.g.*, déficit d'anticipation motrice/simulation motrice, trouble sensoriperceptif, dysfonctionnement exécutif) peuvent se répercuter de manière différentielle sur l'utilisation d'objets de vie quotidienne. En effet, des dissociations ont déjà pu être relevées chez l'adulte dans des activités de vie quotidienne selon les déficits sous-jacents identifiés : trouble des FE, perturbation de dextérité manuelle (lésions sous-corticales ou antérieures) ou défaut de raisonnement technique (lésion pariétale gauche). Par exemple (respectivement), dans des épreuves d'utilisation multitâche d'outils telles que faire du café, une désorganisation des différentes étapes de l'action à réaliser (*e.g.*, mettre de l'eau dans la cafetière, insérer un filtre avant de mettre du café...) peut être distinguée d'un problème de saisie/manipulation des différents objets, ou encore des utilisations d'objets ne tenant pas compte des propriétés physiques des matériaux (Baumard *et al.*, 2017 ; Goldenberg *et al.*, 2007).

Considérant les outils mis à disposition du clinicien pour apprécier l'existence de perturbations praxiques et/ou de coordination motrice, l'implication potentielle des FE ne doit pas être ignorée. En effet, si cette implication peut être envisagée *de facto* en lien avec le caractère souvent nouveau et inhabituel de l'épreuve, la mise en œuvre des FE a été suggérée dans un ensemble de tâches motrices. Rigoli *et al.* (2012) montrent par exemple l'existence de liens significatifs entre les performances de coordination motrice obtenues au M-ABC 2, et les performances obtenues dans des épreuves d'inhibition et, dans une moindre mesure, de flexibilité à la NEPSY 2. Ce résultat invite à considérer que les capacités d'inhibition (contrôle de l'interférence) puissent impacter la qualité de l'équilibre et des coordinations. La mise en œuvre d'une composante exécutive (d'origine frontale) est également envisagée pour les tâches d'imitation de postures digitales

(Goldenberg, 2014), qui constitue l'un des seuls outils cliniques normés pour évaluer les praxies idéomotrices chez l'enfant (e.g., subtest Imitation de position de mains de la NESPY 2). De façon plus évidente encore, l'impact des FE est également à considérer dès lors que l'épreuve engage une organisation de l'activité. La question se pose ainsi lorsqu'un déficit est observé dans des tâches de séquences motrices, telles que les subtests *Séquences motrices manuelles* ou *Tapping* (partie Séquence) de la NESPY 2 (Korkman, Kirk & Kemp, 2012). Elle est également essentielle lorsque l'on considère la copie de Figure de Rey (Rey, 1959), qui constitue l'une des épreuves phares pour tester l'hypothèse étiologique d'une dyspraxie pour nombre de praticiens. Or, dans cette tâche pourtant multifactorielle par nature, les performances apparaissent particulièrement sensibles à un déficit exécutif, et notamment à la mise en place d'une stratégie organisationnelle efficace. En effet, une copie déstructurée impacte nécessairement la qualité des productions, et donc le score quantitatif, pouvant conduire à une interprétation erronée en faveur d'un trouble dit visuo-constructif et/ou visuo-spatial. Cette fréquente confusion peut néanmoins être aisément contournée par une méthode d'examen différenciée, telle que développée par le programme de recherche multicentrique FEE (Fonctions exécutives de l'enfant, Roy, Roulin, Le Gall & Fournet, en cours). Il s'agit de proposer, à la suite d'une copie classique, une seconde phase de copie selon une procédure de structuration du dessin par étapes. Cette copie programmée permet ainsi de dissocier cliniquement (voir par exemple, Roy et al., 2010) ce qui relève de l'activité perceptive ou motrice, des processus de planification, selon l'effet de facilitation de la copie observé (i.e., calcul d'un différentiel entre le score de copie programmée et le score de copie classique). L'implication des fonctions exécutives a également été suggérée dans les activités d'écriture manuscrite, en lien avec les contraintes d'organisation temporo-spatiales qu'elles engagent (Roseblum, 2015). Cette notion est importante puisque Blank et al. (2012) rappellent qu'un déficit d'écriture sans autres troubles graphomoteurs ou de motricité fine ne justifie pas un diagnostic de TDC.

Conclusion

En somme, cette revue de la littérature ainsi que les observations issues de la pratique clinique montrent qu'un déficit exécutif peut entraver les performances motrices, notamment en lien avec les caractéristiques de la tâche, et incitent donc à questionner dans certains cas la validité du diagnostic de TDC. La recherche de cohérence des troubles, et

donc de spécificité, impose alors de suivre une démarche hypothético-déductive sur l'origine des perturbations. Cette démarche se doit d'être guidée par un référentiel théorique, afin de construire une évaluation qui autorise une approche par soustraction processuelle. Considérant le caractère toujours multicomposite des épreuves, le clinicien doit pour cela faire varier les tâches et les conditions (e.g, proposer une tâche exécutive sans contrainte motrice), de façon à pouvoir dissocier le trouble de son lieu d'expression. Dans la continuité, l'expertise pluridisciplinaire est bien entendu absolument indispensable. Cette démarche intégrative du fonctionnement de l'enfant revient finalement à dépasser le concept de comorbidité, en ne se limitant pas à une interprétation a posteriori d'une juxtaposition de symptômes. L'enjeu est fondamental puisque la juste identification des profils cognitivomoteurs, mais également de l'expression qualitative des symptômes dans les activités de vie quotidienne, est nécessaire à la mise en place de stratégies de prise en charge et d'adaptations pédagogiques individualisées, les besoins spécifiques de l'enfant TDC différant de celui présentant un syndrome dysexécutif.

RÉFÉRENCES

- Alloway, T. P. (2011). A comparison of working memory profiles in children with ADHD and DCD. *Child Neuropsychology*, 17 (5), 483-494.
- American Psychiatric Association. (2013). *Diagnostic and statistical manual of mental disorders, fifth edition (DSM-5)*. Washington, DC: American Psychiatric Association.
- Baumard, J., Lesourd, M., Remigereau, C., Jarry, C., Etcharry-Bouyx, F., Chauviré, V., Osiurak, F. & Le Gall, D. (2017). Tool use in neurodegenerative diseases: Planning or technical reasoning? *Journal of Neuropsychology*. DOI: 10.1111/jnp.12121
- Blank, R., Smits-Engelsman, B., Polatajko, H. & Wilson, P. (2013). European Academy for Childhood Disability (EACD): Recommendations on the definition, diagnosis and intervention of developmental coordination disorder (long version). *Developmental Medicine and Child Neurology*, 54 (1), 54-93.
- Cermak, S. A. (1985). Developmental dyspraxia. In E.A. Roy (Ed.), *Neuropsychological studies of apraxia and related disorders* (pp. 225-248). Amsterdam: Elsevier.
- Chokron, S. & Dutton, G. N. (2016). Impact of Cerebral Visual Impairments on Motor Skills: Implications for Developmental Coordination Disorders. *Frontiers in Psychology*, 7 (oct), 1-15.
- Dewey, D., Cantell, M. & Crawford, S. G. (2007). Motor and gestural performance in children with autism spectrum disorders, developmental coordination disorder, and/or attention deficit hyperactivity disorder. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 13 (2), 246-56.
- Diamond, A. (2000). Close interrelation of motor development and cognitive development and of the cerebellum and prefrontal cortex. *Child Development*, 71 (1), 44-56.
- Diamond, A. (2013). Executive functions. *Annual Review of Psychology*, 64, 135-68.
- Feige, M., Thevenon, C., Jaffres, M., Maba, L., Gonzalez-Monge, S. & Vaillot-Pol, N. (2011). Peut-on parler de dyspraxie exécutive ? Réflexions à partir de situations cliniques. *Approche neuropsychologique des apprentissages chez l'enfant*, 111, 43-50.
- Fernandes, V. R., Ribeiro, M. L. S., Melo, T., De Tarso Maciel-Pinheiro, P., Guimarães, T. T., Araújo, N. B., Ribeiro, S. & Deslandes, A. C. (2016). Motor coordination correlates with academic achievement and cognitive function in children. *Frontiers in Psychology*, 7 (mar), 1-8.
- Gérard, C.L. (2005). Le concept de dyspraxies. In C.L. Gérard & V. Brun (Eds.), *Les Dyspraxies de l'enfant* (pp. 15-24). Paris : Masson.

- Gioia, G. A., Isquith, P. K., Guy, S. C. & Kenworthy, L. (2000). *Behavior Rating Inventory of Executive Function (BRIEF)*. Lutz: Psychological Assessment Resources.
- Goldenberg, G. (2014). Apraxia: The cognitive side of motor control. *Cortex*, 57, 270-274.
- Goldenberg, G., Hartmann-Schmid, K., Sürer, F., Daumüller, M. & Hermsdörfer, J. (2007). The impact of dysexecutive syndrome on use of tools and technical devices. *Cortex*, 43 (3), 424-435.
- Gonzalez, C. L., Mills, K. J., Genee, I., Li, F., Piquette, N., Rosen, N. & Gibb, R. (2014). Getting the right grasp on executive function. *Frontiers in Psychology*, 5 (apr), 285.
- King, B. R., Harring, J. R., Oliveira, M. A & Clark, J. E. (2011). Statistically characterizing intra- and inter-individual variability in children with Developmental Coordination Disorder. *Research in Developmental Disabilities*, 32 (4), 1388-98.
- Korkman, M., Kirk, U. & Kemp, S. (2012). *Bilan neuropsychologique de l'enfant. Seconde édition : NEPSY-II*. Paris : Éditions du Centre de psychologie appliquée.
- Leonard, H. C. (2016). The impact of poor motor skills on perceptual, social and cognitive development: The case of developmental coordination disorder. *Frontiers in Psychology*, 7 (mar), 1-4.
- Leonard, H. C., Bernardi, M., Hill, E. L. & Henry, L. A. (2015). Executive functioning, motor difficulties, and developmental coordination disorder. *Developmental Neuropsychology*, 40 (4), 201-215.
- Mandich, A., Buckolz, E. & Polatajko, H. (2002). On the ability of children with developmental coordination disorder (DCD) to inhibit response initiation: The Simon effect. *Brain and Cognition*, 50, 150-162.
- Michel, E., Roethlisberger, M., Neuenschwander, R. & Roebers, C. M. (2011). Development of cognitive skills in children with motor coordination impairments at 12-month follow-up. *Child Neuropsychology*, 17 (2), 151-172.
- Michel, E., Molitor, S. & Schneider, W. (2016). Differential changes in the development of motor coordination and executive functions in children with motor coordination impairments. *Child Neuropsychology*, 7049 (Sept), 1-26.
- Missiuna, C. & Polatajko, H. (1995). Developmental dyspraxia by any other name: are they all just clumsy children? *The American Journal of Occupational Therapy*, 49 (7), 619-27.
- Piek, J. P., Dyck, M. J., Nieman, A., Anderson, M., Hay, D., Smith, L. M., Mcco, M. & Hallmayer, J. (2004). The relationship between motor coordination, executive functioning and attention in school aged children. *Archives of Clinical Neuropsychology*, 19 (8), 1063-76.
- Pennequin, V., Sorel, O. & Fontaine, R. (2010). Motor planning between 4 and 7 years of age: Changes linked to executive functions. *Brain and Cognition*, 74 (2), 107-111.
- Pratt, M. L., Leonard, H. C., Adeyinka, H. & Hill, E. L. (2014). The effect of motor load on planning and inhibition in developmental coordination disorder. *Research in Developmental Disabilities*, 35 (7), 1579-87.
- Rahimi-Golkhandan, S., Piek, J. P., Steenbergen, B. & Wilson, P. H. (2014). Hot executive function in children with developmental coordination disorder: Evidence for heightened sensitivity to immediate reward. *Cognitive Development*, 32, 23-37.
- Rahimi-Golkhandan, S., Steenbergen, B., Piek, J. P., Caeyenberghs, K. & Wilson, P. H. (2016). Revealing hot executive function in children with motor coordination problems: What's the go? *Brain and Cognition*, 106, 55-64.
- Remigereau, C., Roy, A., Costini, C., Barbarot, S., Bru, M. & Le Gall, D. (2017). Praxis skills and executive function in children with neurofibromatosis type 1. *Applied Neuropsychology: Child*. DOI: 10.1080/21622965.2017.1295856
- Rey, A. (1959). *Test de copie d'une figure complexe*. Manuel. Paris : Éditions du Centre de psychologie appliquée.
- Rigoli, D., Piek, J. P., Kane, R. & Oosterlaan, J. (2012). An examination of the relationship between motor coordination and executive functions in adolescents. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 54 (11), 1025-1031.
- Roebers, C. M., Röthlisberger, M., Neuenschwander, R., Cimeli, P., Michel, E. & Jäger, K. (2014). The relation between cognitive and motor performance and their relevance for children's transition to school: a latent variable approach. *Human Movement Science*, 33, 284-97.
- Rösblad, B. (2011). Visual perception in children with developmental coordination disorder. In S.A. Cermak & D. Larkin (Eds), *Developmental Coordination Disorder* (pp. 104-116). Albany, NY: Delmar/Thompson Learning.
- Rosenblum, S. (2015). Do motor ability and handwriting kinematic measures predict organizational ability among children with developmental coordination disorders? *Human Movement Science*, 43, 201-215.
- Rosenbaum, D. A., Chapman, K. M., Weigelt, M., Weiss, D. J. & Van Der Wel, R. (2012). Cognition, action, and object manipulation. *Psychological Bulletin*, 138 (5), 924-46.
- Roy, A. (2015). Approche neuropsychologique des fonctions exécutives de l'enfant : état des lieux et éléments de prospective. *Revue de neuropsychologie*, 7 (4), 245-256.
- Roy, A., Lodenos, V., Fournet, N., Le Gall, D. & Roulin, J.-L. (2017). Le syndrome dysexécutif chez l'enfant : Entre avancées scientifiques et questionnements. *Approche Neuropsychologique des Apprentissages chez l'Enfant*, 146, 000-000.
- Roy, A., Roulin, J.-L., Charbonnier, V., Allain, P., Fasotti, L., Barbarot, S., Stalder, J.-F., Terrien, A. & Le Gall, D. (2010). Executive dysfunction in children with neurofibromatosis type 1: A study of action planning. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 16, 1056-63.
- Ruddock, S., Piek, J., Sugden, D., Morris, S., Hyde, C., Caeyenberghs, K. & Wilson, P. (2015). Coupling online control and inhibitory systems in children with developmental coordination disorder: Goal-directed reaching. *Research in Developmental Disabilities*, 36, 244-55.
- Shaheen, S. (2013). Motor assessment in pediatric neuropsychology: Relationships to executive function. *Applied Neuropsychology: Child*, 2 (2), 116-124.
- Sugden, D. A., Chambers, M. & Utley, A. (2006). *Leeds Consensus Statement 2006: Development coordination disorder as a specific learning difficulty*. Swindon, UK: ESRC Research Seminar Series. Retrieved from [http://www.dcd-uk.org/consensus.html].
- Thibaut, J. P. & Toussaint, L. (2010). Developing motor planning over ages. *Journal of Experimental Child Psychology*, 105 (1), 116-29.
- Toussaint-Thorin, M., Marchal, F., Benkhaled, O., Pradat-Diehl, P., Boyer, F. C. & Chevignard, M. (2013). Executive functions of children with developmental dyspraxia: Assessment combining neuropsychological and ecological tests. *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine*, 56 (4), 268-87.
- Tsai, C.-L., Wilson, P. H. & Wu, S. K. (2008). Role of visual-perceptual skills (non-motor) in children with developmental coordination disorder. *Human Movement Science*, 27 (4), 649-64.
- Rosenbaum, D. A., Marchak, F., Barnes, H. J., Vaughan, J., Slotta, J. D. & Jorgensen, M. J. (1990). Constraints for action selection: Overhand versus underhand grips. In M. Jeannerod (Ed.), *Attention and performance XIII. Motor representation and control* (pp. 321-342). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Vaivre-Douret, L. (2014). Developmental coordination disorders: state of art. *Clinical Neurophysiology*, 44 (1), 13-23.
- Vaivre-Douret, L., Lalanne, C., Cabrol, D., Ingster-Moati, I., Falissard, B. & Golse, B. (2011). Identification de critères diagnostiques des sous-types de troubles de l'acquisition de la coordination (TAC) ou dyspraxie développementale. *Neuropsychiatrie de l'enfance et de l'adolescence*, 59 (8), 443-53.
- Van Swieten, L. M., Van Bergen, E., Williams, J. H. G., Wilson, A. D., Plumb, M. S., Kent, S. W. & Mon-Williams, M. A. (2010). A test of motor (not executive) planning in developmental coordination disorder and autism. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 36 (2), 493-99.
- Wilson, P. H. (2004). Practitioner review: Approaches to assessment and treatment of children with DCD: An evaluative review. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 45 (0), 1-18.
- Wilson, P. H., Ruddock, S., Smits-Engelsman, B., Polatajko, H. & Blank, R. (2013). Understanding performance deficits in developmental coordination disorder: A meta-analysis of recent research. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 55 (3), 217-228.
- Wuang, Y.-P., Su, C.-Y. & Su, J.-H. (2011). Wisconsin card sorting test performance in children with developmental coordination disorder. *Research in Developmental Disabilities*, 32 (5), 1669-76.
- Wunsch, K., Henning, A., Aschersleben, G. & Weigelt, M. (2013). A systematic review of the end-state comfort effect in normally developing children and in children with developmental disorders. *Journal of Motor Learning and Development*, 1 (3), 59-76.
- Wunsch, K., Pfister, R., Henning, A., Aschersleben, G. & Weigelt, M. (2016). No interrelation of motor planning and executive functions across young ages. *Frontiers in Psychology*, 7 (Jul), 1-16.
- Zelazo, P. D. & Muller, U. (2002). Executive function in typical and atypical development. In U. Goswami (Ed.), *Handbook of Childhood Cognitive Development* (pp. 445-469). Oxford: Blackwell.
- Zoia, S., Pelamatti, G., Cuttini, M., Casotto, V. & Scabar, A. (2002). Performance of gesture in children with and without DCD: Effects of sensory input modalities. *Developmental Medicine and Child Neurology*, 44 (10), 699-705.