



ELSEVIER
MASSON



Disponible en ligne sur

ScienceDirect

www.sciencedirect.com

Elsevier Masson France

EM|consulte

www.em-consulte.com

Neuropsychiatrie de l'enfance et de l'adolescence 63 (2015) 446–456

*neuropsychiatrie
de l'enfance
et de l'adolescence*

Revue de littérature

Troubles développementaux de la coordination (TDC) : perspective clinique et synthèse de l'état des connaissances

Developmental coordination disorder (DCD): Clinical aspects and state of art

J. Magnat^a, J. Xavier^{b,*}, I. Zammouri^b, D. Cohen^{b,c}

^a Pôle de psychiatrie de l'enfant et de l'adolescent, centre hospitalier Montperrin, 109, avenue du Petit-Barthélémy, 13617 Aix-en-Provence, France

^b Service de psychiatrie de l'enfant et de l'adolescent, université Pierre-et-Marie-Curie, Assistance publique–Hôpitaux de Paris, groupe hospitalier Pitié-Salpêtrière, 47-83, boulevard de l'Hôpital, 75013 Paris, France

^c CNRS UMR 7222, institut des systèmes intelligents et robotiques (ISIR), université Pierre-et-Marie-Curie, 4, place Jussieu, 75005 Paris, France

Reçu le 7 août 2015 ; accepté le 25 septembre 2015

Résumé

Les troubles praxiques constituent un motif fréquent de consultation en psychiatrie de l'enfant et de l'adolescent. Nous proposons une synthèse de l'état actuel des connaissances utile au clinicien confronté à ces troubles. Les dyspraxies de développement correspondent au regard du DSM-5 aux troubles développementaux de la coordination (TDC). Nous aborderons les différents aspects de la clinique de ces troubles, en y intégrant des points de vue étiologique et physiopathologique. L'accent sera mis sur la place des TDC dans le champ de la psychiatrie et notamment sur leur retentissement précoce sur le développement psychoaffectif de l'enfant, les problématiques d'apprentissage scolaire et la qualité de son inscription sociale. La fréquence des pathologies co-occurentes aux TDC et leur inclusion dans des tableaux cliniques complexes plaideront pour la nécessité de les appréhender en tenant compte du fonctionnement global de l'enfant ou de l'adolescent. C'est en ce sens que nous présenterons les principes de leur prise en charge.

© 2015 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés.

Mots clés : Trouble d'acquisition de la coordination ; Dyspraxie ; Perspective globale ; Retentissement sur les interactions sociales ; Comorbidités

Abstract

Background. – Impairments in fine motor skills and clumsiness are common in children and adolescents who are referred to child and adolescent psychiatrists. Here, we propose an overview of the current state of knowledge useful to the clinician faced with praxis disorders.

Method. – Developmental dyspraxia now match with developmental coordination disorder (DCD) in DSM-5. We cover the clinical aspects of the disorder, including etiological and pathophysiological views.

Results. – Fine motor skill examination with occupational therapist and validated testing is the basis of positive diagnosis. Clinical manifestations of DCD are numerous as its etiological and pathophysiological bases. This may be explained by the impact of DCD on early affective development, learning acquisition and social interaction quality in children. The frequency of co-occurring disorders of DCD (such as visual-spatial impairments, attention deficit, depression, school refusal, etc.) argues for the need to apprehend them taking into account the overall functioning of the child and adolescent. This comprehensive approach is crucial in defining the principles of their care management that should include motor skill remediation as well as treatment of all comorbidities.

Conclusion. – DCD is common in child and adolescent psychiatric practice. It is often misdiagnosed because of prominent comorbidities and requires a multidisciplinary approach.

© 2015 Elsevier Masson SAS. All rights reserved.

Keywords: Developmental coordination disorder; Developmental dyspraxia; Comprehensive approach; Social interactions; Comorbidity

* Auteur correspondant.

Adresse e-mail : jean.xavier@aphp.fr (J. Xavier).

1. Introduction

Les troubles praxiques constituent un motif fréquent de consultation en psychiatrie de l'enfant et de l'adolescent et correspondent au regard du DSM-5 aux troubles développementaux de la coordination (TDC). Notre objectif est de proposer une synthèse de l'état actuel des connaissances utile au clinicien confronté à ces troubles. Nous exposerons successivement une définition des TDC, les différents aspects de la clinique de ces troubles, avec les étapes de leur évaluation diagnostique à caractère pluridisciplinaire ainsi que leur devenir. Ces troubles seront aussi abordés d'un point de vue étiologique et physiopathologique. Leur retentissement se caractérise principalement par des difficultés dans les apprentissages scolaires, un manque d'autonomie dans la vie quotidienne et une restriction dans les activités ludiques et sportives. Au-delà de ce constat fonctionnel préoccupant, les TDC seront resitués dans le champ de la psychiatrie. À ce sujet, l'accent sera mis sur l'impact précoce de ces troubles sur le développement psycho-affectif et la qualité de l'inscription sociale de l'enfant. La fréquence des pathologies co-occurentes aux TDC, leur inclusion dans des tableaux cliniques complexes ainsi que leur retentissement (qui peut largement dépasser le cadre des apprentissages) plaideront pour la nécessité de les aborder au sein d'une prise en compte globale du fonctionnement de l'enfant et de l'adolescent. C'est en ce sens que nous présenterons les principes de leur prise en charge en pratique courante et en référence aux données de la littérature.

2. Méthodes

Ce travail s'appuie sur une revue de la littérature française et internationale portant sur les troubles développementaux de la coordination en incluant les dénominations « dyspraxie de développement, trouble d'acquisition de la coordination, *developmental dyspraxia, developmental coordination disorder* » dans les principaux moteurs de recherche et selon les classifications CIM-10 et DSM-5. Un des axes de recherche principal cible leur retentissement fonctionnel d'un point de vue psychosocial et affectif, au service d'une appréhension globale de ces troubles développementaux « non exclusivement moteurs ».

3. Troubles développementaux de la coordination (TDC) : définition, épidémiologie et classification

Le développement moteur concerne l'ensemble des fonctions qui assurent les mouvements auto-générés d'un organisme et le contrôle du mouvement [1]. Une distinction classique est faite entre :

- la motricité globale qui concerne la maîtrise de positions (station assise et debout, équilibre statique), les déplacements (équilibre dynamique, marche à quatre pattes...), ou encore la réception de mobiles ;
- la motricité fine qui concerne les gestes sociaux et culturels (habillage, repas, toilette, graphisme, etc.), l'utilisation d'outils (couteau/fourchette, ou « outils scolaires » tels

crayon, règle, ciseaux, trousse, gomme, taille-crayon, etc.) souvent soumis au contrôle visuel.

La dyspraxie peut être définie par l'existence de troubles de la planification et de l'automatisation des gestes volontaires en dépit d'un entraînement habituel parfois déjà renforcé [2] auxquels s'associent des troubles des traitements visuospatiaux en eux-mêmes très invalidants sur le plan scolaire. Ajoutons que, du fait de ce défaut d'automatisation, le geste chez l'enfant dyspraxique reste sous contrôle attentionnel, ce qui est à l'origine d'échecs dans des situations de « double-tâche », ainsi que d'une lenteur et d'une fatigabilité [3]. Dans les classifications internationales, le terme « dyspraxie » renvoie à une clinique plus large portant l'appellation de « trouble spécifique du développement moteur » en référence à la Classification internationale des maladies ([CIM-10], OMS) et de troubles développementaux de la coordination (TDC) pour le DSM-5 [4,5]. Dans cette classification, où les TDC s'inscrivent dans le groupe des troubles neurodéveloppementaux, est mentionné le fait qu'ils ne peuvent être entièrement imputables à un retard intellectuel global ou à une affection somatique – en particulier neurologique – qu'elle soit spécifique ou acquise. L'Encadré 1 reprend la description clinique synthétique du TDC ou dyspraxie développementale proposée par Peigneux et Betsch [6], ainsi que les critères diagnostiques de la CIM-10 et du DSM-5.

Les TDC concerneraient 5 à 9 % de la population d'âge scolaire (5–11 ans) et comprennent 1 à 2 % de formes sévères, avec une nette prédominance masculine [7,8]. Le diagnostic de TDC peut être posé à partir de l'âge de 5 ans, âge à partir duquel le système perceptivo-moteur peut être considéré comme suffisamment établi [9]. Des nuances ont été apportées par la parution en 2012 de recommandations européennes (European Academy for Childhood Disability [EACD]) [10]. Elles stipulent que l'âge du diagnostic pourrait être « avancé » à l'âge de 3 ans, sous réserve de la prise en considération précoce des éléments de contexte et de la réévaluation de l'enfant à 3 mois de distance. Cette pratique ne se fait pas sans réserve, compte tenu du manque de stabilité du diagnostic à ces âges [11]. En termes d'aide au diagnostic précoce de difficultés praxiques, on pourra s'appuyer sur des points de repères développementaux proposés par Mazeau et retranscrits dans l'Encadré 2 [12].

Malgré ces nuances, les TDC demeurent à l'heure actuelle sous-diagnostiqués et sous-traités ; cela étant d'autant plus vrai lorsqu'il s'agit de prendre la mesure de leur retentissement sur le fonctionnement global de l'enfant.

Les TDC regroupent un ensemble hétérogène de formes de dyspraxies parmi lesquelles la nosographie française distingue :

- les dyspraxies constructives visuospatiales (DVS) associant une maladresse gestuelle pathologique à un trouble des traitements visuospatiaux. Ces derniers intègrent un trouble du regard (notamment des particularités oculomotrices [13–15]) et une difficulté d'organisation de l'espace ;
- les dyspraxies non constructives, idéomotrices et idéatoire (DIM/DI), impliquant une altération de la séquentialité du mouvement [13] ;

Encadré 1 : Dyspraxie développementale et troubles des coordinations motrices: description clinique et critères diagnostiques

Description clinique du syndrome¹

1. Maladresse (enfants qui tombent souvent se blessent contre les portes...)
2. Déficit d'acquisition d'habiletés motrices globales (marche, course, vélo...)
3. Déficit d'acquisition d'habiletés motrices fines (graphomotrices, constructives...)
4. Retard d'acquisition de comportements d'autonomie dans la vie quotidienne (alimentation, habillage, soin corporel...)
5. Faibles capacités perceptives visuelles et tactiles
6. Schéma corporel détérioré
7. Mauvaise orientation droite-gauche
8. QI verbal > QI de performance
9. Profils anormaux de préférence manuelle
10. Signes neurologiques discrets (par exemple, mouvements choréiformes légers)
11. Difficultés émotionnelles et comportementales secondaires aux expériences répétées d'échec, de moqueries et de rejet social par les pairs
12. Problèmes associés d'apprentissage (lecture, calcul, géométrie...)

Critères diagnostiques du DSM-5 : trouble développemental de la coordination

- A. L'acquisition et l'exécution de bonnes compétences de coordination motrice sont nettement inférieures au niveau escompté pour l'âge chronologique du sujet compte tenu des opportunités d'apprendre et d'utiliser ces compétences. Les difficultés se traduisent par de la maladresse (p. ex. laisser échapper ou heurter les objets), ainsi que de la lenteur et de l'imprécision dans la réalisation de tâches motrices (p. ex. attraper un objet, utiliser des ciseaux ou des couverts, écrire à la main, faire du vélo ou participer à des activités sportives)
- B. Les déficiences des compétences motrices du critère A interfèrent de manière significative et persistante avec les activités de la vie quotidienne correspondant à l'âge chronologique (p. ex. les soins et l'hygiène personnels) et ont un impact sur les performances universitaires et scolaires, ou les activités préprofessionnelles professionnelles, les loisirs et les jeux.
- C. Le début des symptômes date de la période développementale précoce.

- D. Les déficiences des compétences motrices ne sont pas mieux expliquées par un handicap intellectuel (un trouble du développement intellectuel) ou une déficience visuelle et ne sont pas imputables à une affection neurologique motrice (p. ex. une infirmité motrice cérébrale, une dystrophie musculaire, une maladie dégénérative).

Critères diagnostiques de la CIM-10 : troubles spécifiques du développement moteur

- A. Le résultat obtenu à un test standardisé de coordination motrice se situe à au moins deux écarts-types en dessous du niveau escompté, compte tenu de l'âge chronologique.
- B. La perturbation décrite en A interfère de façon significative avec les performances scolaires ou avec les activités de la vie courante.
- C. Absence de toute affection neurologique identifiable.
- D. Le critère d'exclusion le plus couramment utilisé est le QI, évalué par un test standardisé passé de façon individuelle, inférieur à 70.

¹ D'après Peigneux et Betsch (2009) et Morris (1997).

- la dyspraxie de l'habillage qui, en référence aux formes précédentes, intègre des éléments visuospatiaux et temporels ;
- la dyspraxie verbale ou dysphasie phonologique, qui est un trouble structurel du langage ayant comme origine une atteinte des mouvements de la parole [13,16] et souvent associée à une dyspraxie gestuelle.

En pratique courante, ces différentes formes de dyspraxie, dont la description s'inspire du modèle de l'apraxie de l'adulte, se rencontrent de manière isolée ou associée chez un même enfant. Le clinicien n'a pas les moyens de situer chacune d'elles au sein du TDC qui demeure un « fourre-tout » englobant maladresse et trouble de la coordination globale. De nombreux auteurs ont tenté de proposer une typologie objective des différents sous-types de TDC [2,17–20] afin de pouvoir clairement les individualiser en termes de critères diagnostiques et dans le sens d'une meilleure compréhension des mécanismes physiopathologiques qui les sous-tendent. À ce sujet, signalons l'important travail de Vaivre-Douret et al. qui dans une population de 43 enfants, sans souffrance cérébrale précoce ou prématurité, ont retrouvé à l'aide d'une analyse par clusters, 44 % de dyspraxies « pures » visuo-spatiale/constructive, 12 % de formes idéomotrices et enfin 44 % de formes mixtes [14].

Encadré 2 : Habiletés pratiques essentielles au cours du développement de l'enfant – points de repères en vue du diagnostic précoce de TDC².

Cubes :

- empiler des cubes : 2 cubes ~ 1 an, 3 cubes ~ 18 mois, 6 cubes ~ 2 ans
- faire un pont avec 3 cubes : ~ 3 ans
- faire une pyramide 3/2/1 : ~ 5 ans

Graphisme :

- tracer des traits circulaires : ~ 2 ans
- des croix (sur modèle) : ~ 3 ans
- des carrés : ~ 4 ans
- écrire son prénom : grande section d'école maternelle
- copier un losange : 7 ans
- copier un cube : 8 ans

Vie quotidienne :

- manger seul de la purée : ~ 18 mois
- mettre ses chaussettes : ~ 2–3 ans
- faire un nœud de lacet : ~ 6–8 ans

² D'après Mazeau (1995).

4. Examen psychomoteur et diagnostic formel

Le diagnostic de TDC repose sur un faisceau d'arguments dans le cadre d'une démarche pluridisciplinaire [3] intégrant :

- une anamnèse concernant le secteur de la maladresse, du graphisme, des activités de la vie quotidienne ainsi qu'une étude des antécédents périnataux. Une évaluation du retentissement de ce trouble dans la vie quotidienne de l'enfant et plus largement au regard de son développement global est nécessaire et peut être documentée grâce à l'utilisation de questionnaires (voir plus loin) ;
- un examen somatique et notamment neuro-pédiatrique assorti le cas échéant d'un avis génétique afin d'éliminer des pathologies neuro-motrices (sensorielles, musculaires) sous-jacente à la symptomatologie ;
- un examen ophtalmologique permettant de déceler d'éventuels troubles de la stratégie visuelle exploratoire ;
- une évaluation cognitive (Wechsler Intelligence Scale for Children [WISC] [21] ou Wechsler Preschool and Primary Scale of Intelligence [WPPSI] [22] selon l'âge) permettant l'élimination d'une déficience intellectuelle, qui chez l'enfant avec TDC, révèle souvent un profil cognitif hétérogène, avec une intelligence verbale normale, contrastant avec une intelligence perceptive (visuo-spatiale et praxique)

déficitaire. Selon les auteurs, cette différence, en faveur du QI verbal par rapport au QI perceptif, est d'au moins 12 à 15 points. Des échecs électifs seront retrouvés, en particulier dans les dyspraxies visuo-spatiales, dans les épreuves qui mettent en jeu les compétences visuo-practo-spatiales (cubes, matrices, codes, assemblage d'objet, matrices, symboles. . .)

[7]. D'autres épreuves explorent plus précisément les aspects visuospatiaux et visuoconstructifs telles que la figure de Rey [23], ou certaines épreuves de la Developmental Neuropsychological Assessment (NEPSY) [24] ;

- une évaluation en psychomotricité utilisant des tests étalonnés et détaillant les aspects graphiques, neurovisuels, visuospatiaux et gestuels que nous détaillons dans le chapitre suivant. Ce bilan pourra être complété par une évaluation en ergothérapie ;
- un examen orthophonique explorant les aspects articulatoires et phonologiques du langage ainsi que les aptitudes mathématiques souvent défaillantes chez ces enfants.

Mise à part l'évaluation cognitive, l'analyse des compétences motrices et de leur corrélats (sensoriels. . .), s'appuie sur des outils dédiés. Certains tests psychomoteurs ont été développés pour pouvoir donner au clinicien et au chercheur une vue d'ensemble sur les difficultés de la population TDC à un moment donné, de façon plurielle et intégrative. Toutefois, en marge du Movement Assessment Battery for Children (MABC) ou d'autres tests « globaux ou composites », il existe une place pour une évaluation de compétences plus spécifiques : écriture, gnosopraxies distales, capacités neuro-visuelles (perceptives, de coordination, grapho-perceptives et visuo-intégratives). . . Le [Tableau 1](#), sans être exhaustif, regroupe des tests devenus classiques dans les TDC.

Le MABC pourrait être devenu le « *gold standard* » de l'évaluation des TDC [25] avec la définition de catégories en fonction de ses résultats en percentiles mais il possède bien des limites [26]. Il s'agit d'un test utile mais qui ne saurait être utilisé seul pour rendre compte des difficultés des enfants dyspraxiques [27]. L'EACD repère néanmoins sur ce test les enfants « à risque de TDC » et les enfants « avec TDC » [si les autres critères (DSM) sont remplis] [10]. Par ailleurs, dans un esprit tourné vers la prise en charge, les enfants en dessous du 15^e percentile « pourraient bénéficier d'une intervention thérapeutique ». Plus généralement, aucun de ces tests normatifs ne mesure la qualité du mouvement, poussant certains auteurs à intégrer cette dimension comme dans le batterie d'évaluations des fonctions neuro-psychomotrices de l'enfant (NP-MOT) [28]. Il ne semble toujours pas exister de test spécifique à même de cerner complètement l'enfant avec TDC et concrètement, ces approches standardisées continuent d'identifier un « *melting pot* » de troubles du mouvement [29]. Une image fonctionnelle de l'enfant, en plus de ces tests, reste donc impérative, ce qui revient à dire que la « qualité » développementale de ces enfants ne peut se résumer à des profils de performances motrices [30,31]. Il est également important d'évaluer les symptômes associés, en faisant intervenir par exemple l'échelle de Connors [32] (enseignants, parents) pour les symptômes inattentifs ou un bilan proprement dit par la *Test of Everyday Attention for*

Tableau 1
Les principaux tests d'évaluation sensorimotrice utilisés dans les TDC.

Nom du test [référence]	Tranches d'âge (ans)	Commentaires
<i>Tests composites</i>		
TOMI (Test of Motor Impairment) [100]	5–12	8 catégories. Dextérité manuelle (avec coordination œil-main), maniement des balles, équilibre (statique-dynamique)
BOTMP (Bruininks-Oseretsky Test of Motor Proficiency) [101]	4–14	14 items (forme courte) : course et agilité, équilibre, coordination segments de membres, vitesse d'exécution
MABC (Movement Assessment Battery for Children) [102]	4–12	8 items/3 domaines : maniement des balles, équilibre, dextérité manuelle. Index de performance motrice générale. Mesure des incapacités et non des habiletés
NPMOT (batterie d'évaluations des fonctions neuro-psychomotrices de l'enfant) [28]	4–8	Tonus, motricité globale, latéralité, praxies-gnosies tactiles, habiletés oculo-manuelles, orientation spatiale, capacités rythmiques et attention auditive
<i>Écriture</i>		
BHK (Brave Handwriting Kinder) [103]	6–11	14 items. Qualité et vitesse d'écriture (complexité croissante). Une forme pour adolescents. Recherche de dysgraphie
<i>Imitation, gnosopraxies</i>		
Bergès Lézine [104]	3–7	Gestes simples, complexes et contraires y compris non symboliques et inhabituels, modèle adulte
EMG (évaluation de la motricité gnosopraxique distale) [105]	4–7	Efficience gnosopraxique distale et digitale. Capacités d'adaptation motrice. Aspect qualitatif et quantitatif du geste
<i>Rythme</i>		
Stamback [106]	6–12	Tempo spontané, reproduction de structures rythmiques et symbolisation des rythmes
<i>Profil sensoriel</i>		
Dunn [107]	3–11	125 items ou 38 items (v.abreg.) évaluant les spécificités de traitement de l'information sensorielle de l'enfant et l'impact sur ses performances quotidiennes. Hétéro-questionnaire
<i>Habiletés visuelles et visuo-spatiales : perception, intégration</i>		
Frostig [108]	4–7	Coordination visuomotrice, discrimination figure-fond, constance de forme, relations spatiales. Quotient global et profil des résultats aux subtests
DTVP (Developmental Test of Visual Perception) [109]	4–10	8 items basés sur des dessins géométriques. Proche du Frostig (constance de forme...). Test long (convient mal aux enfants avec déficit attentionnel)
VMI (Beery-Buktenica Developmental Test of Visual-Motor Integration) [110]	2–7 (18)	Copie de figures géométriques. Coordination oculo-manuelle
Figure de Rey [23]	4 – adulte	Copie et mémoire. Perception, attention, mémoire, coordination et organisation visuo-grapho-motrice
Bender/Santucci [111]	6–14/4–11	Copie de figures (5 à 9). Caractéristiques spatiales de la reproduction

Children (TEA-CH) [33], ainsi que l'exploration des difficultés dans le domaine du langage écrit et oral par des bilans complémentaires orthophoniques, neurovisuels et orthoptique si la clinique rapporte un trouble du regard ou des difficultés visuospatiales par exemple. Également, certains enfants sont très pénalisés par une lenteur cognitive associée que certains auteurs anglo-saxons rangent dans le « *sluggish cognitive tempo* ». Les épreuves de dénomination rapide permettent d'en apprécier la sévérité [34].

Certains outils sont une aide à l'évaluation du retentissement fonctionnel des TDC qui fait partie intégrante de la démarche clinique [9]. Ainsi, un grand nombre d'échelles principalement adressé à l'entourage (parents, aidants, enseignants) sont utiles pour évaluer le retentissement que le TDC peut avoir sur le fonctionnement du patient, en référence à la Classification internationale du fonctionnement, du handicap et de la santé (CIF/CIH 2) de l'OMS (2001) [35,36]. Dans le cadre des TDC,

les *activities of daily living* (ADL) ou les *instrumental activities of daily living* (IADL) sont explorées par des échelles plus ou moins spécifiques comme récemment, le « DCDDaily/Q » [37]. D'autres tests plus écologiques comme le « Do-Eat » ont également été développés, offrant des possibilités d'explorer l'enfant in situ en termes exécutifs notamment [38,39]. Ces tests complètent des tests plus classiques telle la Vineland Adaptive Behavior Scale (VABS) [40] qui possède aussi un pan d'analyse de la motricité appliquée à la vie quotidienne, même s'il reste vrai, in fine, qu'il n'existe « aucun outil couramment disponible permettant une prise en compte écologique et complète des ADL, pourtant requise dans le TDC » [41]. Pour l'instant, dans le domaine du retentissement psychosocial, les évaluations font appel à des échelles génériques State Trait Anxiety Inventory for Children ([STAI], [42]) à la Child Behavior Checklist (CBCL) [43]. Il peut s'agir d'outils comme l'hétéro-questionnaire Children Participation Questionnaire (CPQ) [44]

ou les échelles dérivées des travaux d'Harter sur le sentiment de compétence personnelle et l'acceptation sociale comme le *self perception profile for children/adolescent* (SPPC/A)[45]. Dans un registre proche, centré sur l'activité physique, l'EACD mentionne l'utilité descriptive (et non diagnostique) du *children's self-perceptions of adequacy in and predilection for physical activity* (CSAPPA) [46].

5. Devenir et pronostic

Il existe une maturation naturelle des capacités motrices avec l'âge. Pour autant, les enfants atteints de TDC sévères ne semblent pas surmonter complètement leurs difficultés avec le temps [27]. Au plan général, les données de suivi font état de deux possibilités d'évolution que sont la résolution et le maintien des troubles, mais dans les formes sévères, la propension au maintien semble dépasser les possibilités de résolution. Malgré des divergences dans les méthodes de sériation et d'évaluation des difficultés motrices, l'idée générale est que les enfants avec TDC, comme les enfants contrôles, s'améliorent avec l'âge mais que des différences persistent au fil du temps, au moins pour les enfants les plus sévèrement atteints [9,47]. Il est ainsi possible de constater que les enfants avec TDC ont notamment des parcours scolaires plus rapidement interrompus et des niveaux d'intelligence globale plus faible (QIT estimé). En termes de suivi, il semble néanmoins difficile d'établir un profil homogène d'évolution, les améliorations n'ayant pas toujours lieu sur les mêmes items moteurs ou perceptifs [47]. Notons que les enfants présentant une combinaison morbide TDAH + TDC seraient à risque d'une évolution plus défavorable [48]. En somme, même si l'incidence du TDC semble diminuer avec l'âge notamment à l'adolescence, près de 50 % des enfants continuent de présenter des difficultés motrices invalidantes pour leur devenir [9]. L'intérêt porté aux TDC s'étend désormais de la petite enfance à l'âge adulte [49] (lenteur persistante, problèmes de séquençage et de double tâche. . .), reposant là encore l'importance d'une approche développementale et celle de la précocité du diagnostic/de la prise en charge.

6. Étiologie et physiopathologie des TDC

Bien que l'origine des TDC demeure inconnue, certains facteurs de risque ont été identifiés de façon épidémiologique. Il s'agit principalement de facteurs périnataux, dont le principal est la prématurité [50]. Un article récent retrouve cette association entre prématurité et survenue de troubles développementaux de la coordination mais aussi celle d'autres facteurs tels que l'âge maternel (> 35 ans), un antécédent de fausse couche avant 20 SA, la souffrance (hypo/anoxique) pendant le travail ou encore l'existence de pathologies précoces (ictères du nouveau-né), avec des données plus contrastées sur le facteur « petit poids de naissance » [51]. Les autres causes qui peuvent être retrouvées sont essentiellement des pathologies génétiques dont l'expression phénotypique comprend des manifestations de TDC souvent dans un tableau développemental complexe plus large : syndrome de Turner chez la fille, microdélétion 22q11, duplication 15q11-q13 avec empreinte paternelle,

sclérose tubéreuse de Bourneville de forme mineure, neurofibromatose, dystrophie de Steinert de forme infanto-juvénile (même si cette dernière est un critère d'exclusion du DSM-5) [52,53].

La question du substrat neurologique du trouble renvoie à d'éventuelles anomalies impliquant les noyaux gris centraux (système extrapyramidal, implication dans le contrôle de la force, dans l'apprentissage des séquences motrices. . .) et le thalamus (confluent d'intégration sensorielle connecté avec ces derniers), le cervelet (possible anomalie de développement en lien avec son rôle central dans la coordination, l'ajustement des mouvements fins et du signal d'erreur entre mouvement planifié et exécuté. . .), la connexion cérébello-cérébrale ou interhémisphérique, les voies corticospinales (motrices) ou lemniscales (système tactile, proprioceptif) ou encore la voie visuelle dorsale (traitement visuel orienté vers le contrôle moteur) [26,54,55]. Du point de vue des corrélats neuronaux en imagerie, ces enfants présenteraient des patterns d'activation différents de sous-parties de zones cérébrales au cours des tâches engageant la motricité et l'attention/l'inhibition comparativement à des enfants typiques et ce principalement au niveau des lobes frontaux, temporaux, pariétaux et du cervelet [56]. L'hypothèse pariétale se développe en s'appuyant sur le rôle de cette région (et de ses connections frontales) dans les processus de traitement et d'intégration sensoriels au cours de l'apprentissage moteur [55]. Par ailleurs, des anomalies microstructurales pourraient exister au niveau de la substance blanche, au niveau du corps calleux de la région pariétale, qui inclut des connections avec les cortex moteur primaire et somatosensoriel [54]. Les différences constatées correspondraient à des « dysfonctions neurologiques mineures complexes » reliées fortement à la déficience motrice rencontrée dans les TDC : posture, régulation tonique musculaire, motricité fine et coordination [56]. Certains auteurs soutiennent le concept d'*atypical brain development* (ABD) où des anomalies précoces de maturation cérébrale peuvent rendre compte de profils cliniques neuro-développementaux différents, sur une base commune de vulnérabilité, en fonction de la temporalité, de la localisation et de la sévérité de l'atteinte au cours du processus de développement cérébral [29]. L'abord de l'étiologie de TDC doit donc rester multifactoriel dans sa compréhension puisqu'il reste possible de recenser des enfants avec des difficultés motrices mais sans anomalie cérébrale même mineure ou certaines anomalies dans le cadre d'un TDC ne signant pas forcément la dyspraxie elle-même mais possiblement l'existence des troubles associés [14].

Une démarche physiopathologique dans le cadre des TDC a permis l'élaboration de théories relatives à des « déficits procéduraux » à l'origine de la mauvaise performance motrice [57]. Le processus de réalisation d'un mouvement intentionnel se positionne à des niveaux multiples, comme le soulignent Lussier et Flessas [58] en intégrant différents modèles théoriques (Ayres [59], Mazeau [3], Dewey [60], Cermak [18]) de dyspraxie développementale à la boucle d'organisation de l'action. Plusieurs types de déficit pourraient sous-tendre des échecs dans ce processus comme le décrit un travail récent de méta-analyse séparant 6 champs déficitaires selon qu'il s'agisse d'habiletés du

« domaine général » (1 à 3) ou de « domaines spécifiques » (4 à 6) [61] :

- déficit de modélisation interne [62] : un défaut d'imagerie motrice appartient à ce domaine et constitue une incapacité partielle de représentation interne du mouvement sans son exécution réelle. Il se traduit par un défaut de prédiction dans le contrôle des mouvements avec un manque de correction de ceux-ci en temps réel (force, précision. . .). Ce défaut s'exprime lors de l'acquisition des mouvements (création de modèle) mais aussi dans l'impossibilité de modification de modèles établis et répétés ;
- défaut de coordination rythmique qui correspond à une incapacité à maintenir le rythme ou la vitesse du mouvement avec une plus grande variabilité chez les enfants avec TDC. Il s'applique à des tâches variées sous différentes contraintes, qu'elles soient auditivo-motrices, visuo-motrices, de coordination main-pied, bi-manuelle et de rythmes autogénérés. L'explication de ce profil n'est pas tranchée, entre retard ou anomalie développementale, puisque des enfants jeunes neurotypiques présentent aussi ce manque de synchronisation ;
- trouble des fonctions exécutives [39] qui serait impliqué dans les situations de double tâche motrices et de métacognition lors de l'apprentissage moteur ;
- mauvais contrôle des paramètres moteurs du pas et de la posture. Il s'agit à la fois des paramètres spatiaux et temporels de ces deux entités. Les auteurs invitent à investiguer le champ neuromusculaire et le domaine « montant » du bruit neural dans le système moteur ;
- défaut de coordination et de contrôle dans la préhension. Au sein des particularités rencontrées dans les TDC (défaut de trajectoire, de maîtrise de la vitesse, augmentation des marges de sécurité dans l'adresse. . .), un mode de fonctionnement moteur découplant la programmation de la mobilisation du membre de la préhension elle-même serait à l'œuvre ;
- déficits sensori-perceptifs. Ils concernent la détection de forme, de mouvement, la perception visuo-spatiale mais aussi tactile [63]. Ainsi, les déficits incluraient des processus stratégiques ne reposant pas sur une seule modalité perceptive, en particulier visuelle [64–66]. Pour la perception tactile, les particularités rencontrées appellent, comme en termes de proprioception, à des considérations plus larges sur le développement du schéma corporel [67] et sur l'intégration sensorielle (*cf.* Ayres [59]) qui serait également déficiente (« *cross-modal perception and integration* ») [64]. Enfin, ces déficits perceptifs supportent des déficits dans les processus de codage (successif et simultané) de l'information vers la mémoire notamment [68].

7. TDC et autres troubles du développement

Il semble pertinent de distinguer les pathologies associées aux TDC, témoignant de la fréquence des comorbidités [69], des situations dans lesquelles les troubles praxiques sont intégrées à des tableaux cliniques plus complexes. Le trouble déficit de l'attention/hyperactivité (TDAH) occupe une place importante parmi les troubles associés aux TDC. Une étude princeps

a montré qu'environ 50 % des patients de 7 ans diagnostiqués TDC présentaient des symptômes modérés à sévères de TDAH [57]. La démarche inverse conforte ce résultat [70,71]. Les profils d'altération motrice varieraient en fonction des formes du TDAH (inattention dominante, forme mixte, etc.) [72]. Un partage de facteurs de vulnérabilité génétique a également été retrouvé entre TDC et TDAH [73]. Historiquement, un recouvrement aussi important a incité Gillberg et al. à parler de *deficits in attention, motor control and perception* (DAMP) [74] pour signifier, plus que leur association, leur interaction au cours du développement. À l'heure actuelle, certaines données étayaient l'hypothèse d'un substratum neural commun entre TDC et TDAH supportant à la fois les symptômes moteurs et attentionnels avec, en ligne de mire, la définition de biomarqueurs potentiellement utiles à la poursuite des investigations sur ces deux troubles [75]. Cependant, des travaux récents de neuroimagerie permettent de cibler certaines régions cérébrales à même de différencier, en termes structurels et fonctionnels, des profils développementaux différents selon l'existence d'un trouble isolé TDC, TDAH ou combiné TDC + TDAH. Ainsi, il semble que des anomalies communes existent, comme une diminution de l'épaisseur corticale temporale par exemple [76]. Cependant, d'autres particularités montrent qu'il y a lieu de distinguer les deux troubles, en termes de connexions au niveau de la substance blanche notamment [54] et que leur coexistence ne peut se résumer à la somme de leurs particularités cérébrales anatomiques, maturatives ou de connectivité [77]. Nous remarquons, plus globalement, que la qualité du screening diagnostique mérite encore d'être améliorée, peu d'études offrant une évaluation croisée des deux troubles afin de prendre en compte leur éventuelle association.

Les troubles spécifiques du langage (*specific language impairment* [SLI]) et de la lecture (*reading disability* [RD], *developmental dyslexia*), représentant une cooccurrence dans $\pm 60\%$ des cas de TDC [26,29]. Cette co-occurrence de trouble – dys – peut s'inscrire dans un tableau de plus large de trouble multi-dys intégrant alors un trouble d'apprentissage des mathématiques, qu'il concerne le raisonnement ou le calcul.

L'intégration d'un TDC dans un trouble développemental plus complexe concerne aussi les troubles du spectre autistique (TSA) [10,78,79]. Le DSM-5 stipule d'ailleurs qu'il est important de rechercher, lors du diagnostic de TSA, d'autres troubles neuro-développementaux dont font partie les TDC. Ces tableaux complexes dans les classifications DSM précédentes qui répondaient aux critères de troubles envahissants du développement non spécifiés (TED-NOS) ont pu être discutés sous les registres de dysharmonies du développement, *multiple complex developmental disorder* (MCDD), *multidimensional impairment* ([MDI] voir pour discussion détaillée [80–82]).

8. TDC et troubles psycho-affectifs

L'association fréquente d'un TDC avec des troubles du registre psycho-affectif [83] peut étendre la répercussion du TDC, au-delà des difficultés d'apprentissages, sur les difficultés psychosociales rencontrées par ces enfants. C'est sur ce point que nous insisterons à présent.

L'incompétence motrice précoce a été reliée à l'existence d'une symptomatologie anxieuse ou dépressive à l'âge scolaire [84,85]. Concernant le TDC, une prévalence d'environ 60 % de troubles émotionnels affecterait cette population [86] notamment à type d'anxiété (état ou trait) rencontrée chez 30 % des enfants âgés de 6 à 9 ans [87]. Cette anxiété concerne également une population plus large, jusqu'à l'adolescence et peut inclure des plaintes somatique multiples : douleur, mal être diffus ou céphalées, nausée. . . [88]. Notons que la présence d'une anxiété-trait dépasse donc le cadre d'une anxiété situationnelle reliée à la performance motrice [89]. Les enfants à risque de TDC montrent parallèlement des symptômes dépressifs plus fréquemment que leurs pairs, sans différence significative du genre [90]. Ces symptômes sont en partie reliés à des situations de victimisation (qu'elles soient verbales, physiques ou sociales) qu'ils rencontrent également plus fréquemment. Un manque de satisfaction dans leur vie et d'auto-considération seraient à l'œuvre [91]. Ces symptômes affectifs sont reliés aux compétences sociales développées par ces enfants (corrélations du niveau d'anxiété vécue avec le degré d'acceptation sociale dans le TDC [87], facteurs de risques de dépression appartenant au domaine social, notamment l'exclusion [83]).

Les parents rapportent chez leurs d'enfants une tendance à l'isolement, à l'introversivité qui concernerait jusqu'à un enfant avec TDC sur deux [87,92]. Le constat peut donc être, plus généralement, un « défaut de socialisation » [93], traversant les âges, au moins jusqu'à l'adolescence [94] et particulièrement patent dans la cour de l'école [95]. Deux modes opposés de présentation sociale des enfants avec TDC sont classiquement décrits, même si bien sûr, la présentation clinique peut être éminemment variable et contrastée à l'échelle individuelle. Un des aspects est le repli, l'inhibition où prime un évitement des situations de « défi-moteur » alors que l'autre aspect est son pendant « bruyant », plus démonstratif, où l'enfant attire surtout l'attention par des pitreries ou des troubles du comportement évoluant parfois vers la provocation ou l'agressivité. Concernant le repli et l'isolement, leur effet délétère a été signalé au sein d'un cercle vicieux où l'évitement d'activités motrices entraverait l'accession à d'autres habiletés physiques mais aussi aux bénéfices sociaux en rapport avec des activités souvent partagées (jeux de balles. . .) [96]. Une hypothèse avancée pour ces troubles interactifs rejoint la notion de double tâche évoquée précédemment : l'enfant serait happé par la demande physique et se consacrerait moins à la perception sociale du monde environnant, ceci aggravant un sentiment d'incompétence par rapport à cet environnement donné. La relation entre difficultés de coordination et d'interactions sociales est très largement multifactorielle mais une part de ce lien tiendrait au fait que ces enfants avec TDC sont affectés psychiquement par leurs mauvaises performances motrices [89,97,98]. Les difficultés de socialisation apparaissent comme un élément corrélé au TDC qui mérite une attention particulière. Le pronostic de ces difficultés est potentiellement grave en termes de qualité de vie mais aussi en termes de morbidité psychiatrique à laquelle elles peuvent parfois conduire : dépression ou suicide [98].

Nous retiendrons, en somme, que trouble spécifique du développement moteur ne signifie pas trouble isolé [13]. Ainsi, un

travail de compréhension globale de l'enfant au travers d'une démarche pluridimensionnelle et intégrative est nécessaire pour aborder une clinique souvent complexe afin d'aboutir à une démarche thérapeutique sur mesure.

9. Principes de prise en charge des TDC

La littérature internationale révèle principalement deux axes distincts d'intervention thérapeutique [99,100]. Le premier suit un modèle *bottom-up* dit « *process-oriented* », regroupant des pratiques centrées sur des fonctions corporelles comme la perception kinesthésique, visuelle, l'intégration sensorielle ou la stabilité. Ces approches (*kinesthetic and perceptual training, sensory integration. . .*) renforcent des domaines moteurs qui doivent, à terme, servir les habiletés plus globales de l'enfant. Le second suit un modèle *top-down* dit « *task oriented* », axé de manière concrète sur les performances en situations décomposées en tâches spécifiques, avec un souhait de généralisation des capacités acquises dans ce cadre (*neuromotor task training [NTT], cognitive orientation to daily occupational performance [CO-OP]* et sa « *global problem solving strategy – goal/plan/do/check* »)³. Si la méta-analyse de Smits-Engelsman et al. [100] montre que la méthode « *task-oriented* » est la meilleure, avec une évaluation essentiellement basée sur les performances motrices au MABC après des durées variables de prise en charge (2 semaines à 6 mois), les auteurs confirment que des méthodes de rééducations plus traditionnelles (*physical & occupational therapy*), celles de notre pratique quotidienne en France – qui sont de « profil mixte » –, présentent aussi une efficacité tout comme les méthodes « *process-oriented* » (même si elle apparaît moindre dans cette dernière).

En pratique courante, la prise en charge des TDC repose, sinon sur des réseaux repérés (type Résodys. . .) [101], sur un ensemble de soins et d'aménagements concernant les différents lieux de vie de l'enfant ou de l'adolescent et qui découlent de l'évaluation pluridisciplinaire précédemment évoquée. Il s'agit premièrement de la rééducation psychomotrice proprement dite, prenant en compte les éléments particuliers ramenés par le bilan réalisé et favorisant la participation active du patient : renforcement des coordinations, adaptation de stratégies visuelles (± en lien avec une prise en charge en orthoptie. . .), apprentissage séquentiel, structuration du référentiel égocentré et développement parallèle de la motricité globale, etc. Cette prise en charge, généralement très régulière, s'articule avec des soins à type d'ergothérapie visant à adapter l'environnement aux difficultés de l'enfant. Ainsi, à l'école, via la mise en place de projets personnalisés de scolarisation (PPS) en lien avec les maisons départementales des personnes handicapées (MDPH), des outils peuvent être mis à disposition comme des scanners, des claviers d'ordinateur (nécessitant une automatisation de maniement) ou la transmission systématique de cours polycopiés. Cela complète l'adaptation de l'emploi du temps scolaire en fonction des

³ Cette approche permet le développement d'habiletés à travers des stratégies guidées. Elle favorise la participation de l'enfant qui peut choisir l'activité motrice à travailler.

différents soins à l'extérieur et/ou la mise en place d'une auxiliaire de vie scolaire (AVS). Toujours via les MDPH, les structures de type SESSAD (\pm dys depuis 2008, service d'éducation spéciale et de soins à domicile) offrent des possibilités d'accompagnement tant scolaire que familial, par le biais d'un soutien pluriel aux vues des différents professionnels qui peuvent les composer. Cela dépend bien sûr des ressources locales offertes au clinicien.

Il s'agit concrètement d'une prise en charge globale intégrant les troubles fréquemment associés au TDC (dépistage et traitement d'autres troubles des apprentissages, d'un TDAH...) y compris dans le registre psycho-affectif et social où une prise en charge psychothérapeutique individuelle ou de groupe peut être indiquée (symptomatologie anxiodépressive, travail sur l'estime de soi, les relations interpersonnelles...) mais aussi une prescription de médicament stimulant en cas de trouble attentionnel invalidant.

En somme, les consensus offrent un positionnement clair et didactique [100] mais exposent aussi les progrès qu'il reste à faire pour prendre en compte des difficultés multiples chez ces patients souffrant d'un trouble du développement moteur qui n'est, en fait, que très rarement isolé. Intégrer le niveau de participation (degré d'implication, préférences...) de ces enfants dans les activités proposées peut être bénéfique [101], mais, concernant précisément la dimension psycho-affective et sociale, certains auteurs constatent encore qu'elle mériterait d'être plus explicitement intégrée dans des programmes thérapeutiques efficaces comme le CO-OP [102] (en plus de la diversification du screening diagnostique chez l'enfant avec TDC).

10. Conclusion

L'étude des troubles développementaux de la coordination révèle une clinique complexe qui, au-delà d'une perspective catégorielle, engage le clinicien dans une évaluation pluridimensionnelle et intégrative. Ces troubles doivent être appréhendés du point de vue du fonctionnement global de l'enfant, c'est-à-dire au regard de sa trajectoire développementale, par définition singulière, à laquelle ils participent. Il s'agit de garder un angle de lecture large, intégratif et évolutif, considérant toujours les interactions dimensionnelles qui s'opèrent. Il en va d'une conception particulière des troubles psychomoteurs où la globalité du patient doit être prise en compte au-delà des aspects purement moteurs (« symptômes cibles ») relevant d'interventions spécifiques. Cette démarche est un préalable indispensable à l'élaboration d'un projet de soin sur mesure.

Déclaration de liens d'intérêts

Les auteurs déclarent ne pas avoir de liens d'intérêts.

Références

[1] Rigal R. Introduction. L'éducation Mot. L'éducation Psychomot. Au Préscolaire. Au Primaire. Québec: Presses de l'université du Québec; 2009. p. 6–7.

[2] Mazeau M. Aspects développementaux des troubles de la gestualité chez l'enfant : *developmental aspects of gesture disorders in children*. *Kinesither Rev* 2010;10:28–9.

[3] Mazeau M. Les dyspraxies : points de repères. *Arch Pediatr* 2010;17:314–8, <http://dx.doi.org/10.1016/j.arcped.2009.10.016>.

[4] Organisation mondiale de la santé. Classification statistique internationale des maladies et des problèmes de santé connexes. Genève: Organisation mondiale de la santé; 2009.

[5] American Psychiatric Association. Diagnostic and statistical manual of mental disorders. 5th ed. Arlington, VA: American Psychiatric Publishing; 2013.

[6] Peigneux P, Betsch C. Les troubles des praxies. In: *Traité Neuropsychol Enfance*. Marseille: Solal; 2009. p. 359–72.

[7] Vaivre-Douret L. Troubles d'apprentissage non verbal : les dyspraxies développementales. *Arch Pediatr* 2007;14:1341–9, <http://dx.doi.org/10.1016/j.arcped.2007.06.034>.

[8] American Psychiatric Association. Diagnostic and statistical manual of mental disorders. 4th ed., text rev. Washington, DC: Author; 2000.

[9] Geuze RH. Les troubles de l'acquisition de la coordination. Évaluation et rééducation de la maladresse chez l'enfant. Marseille: Solal Éditeurs; 2005.

[10] Blank R, Smits-Engelsman B, Polatajko H, Wilson P. European Academy for Childhood Disability (EACD): recommendations on the definition, diagnosis and intervention of developmental coordination disorder (long version): EACD Recommendations. *Dev Med Child Neurol* 2012;54:54–93, <http://dx.doi.org/10.1111/j.1469-8749.2011.04171.x>.

[11] Pless M, Carlsson M, Sundelin C, Persson K. Preschool children with developmental coordination disorder: a short-term follow-up of motor status at seven to eight years of age. *Acta Paediatr Oslo Nor* 1992;2002;91:521–8.

[12] Mazeau M. Déficits visuo-spatiaux et dyspraxies de l'enfant. Paris: Masson; 1995.

[13] Xavier J, Kloechner A, Perisse D, Plaza M, Cohen D. Les dyspraxies de l'enfant : le point de vue du psychiatre. *Approche Neuropsychol Apprentiss L'Enfant* 2006;18:226–33.

[14] Vaivre-Douret L, Lalanne C, Cabrol D, Ingster-Moati I, Falissard B, Golse B. Identification de critères diagnostiques des sous-types de troubles de l'acquisition de la coordination (TAC) ou dyspraxie développementale. *Neuropsychiatr Enfance Adolesc* 2011;59:443–53, <http://dx.doi.org/10.1016/j.neurenf.2011.07.006>.

[15] Robert MP, Ingster-Moati I, Albuissou E, Cabrol D, Golse B, Vaivre-Douret L. Vertical and horizontal smooth pursuit eye movements in children with developmental coordination disorder. *Dev Med Child Neurol* 2014, <http://dx.doi.org/10.1111/dmcn.12384>.

[16] Charron L, MacLeod AAN. La dyspraxie verbale chez l'enfant : identification, évaluation et intervention. *Glossa* 2010;109:42–54.

[17] Stambak M, L'heriteau D, Auzias M, Bergès J, De Ajuriaguerra J. Les dyspraxies chez l'enfant. *Psychiatr Enfance* 1964;7(2):381–496.

[18] Cermak S. Developmental dyspraxia. *Adv Psychol* 1985;23:225–48 [Elsevier].

[19] Dewey D, Kaplan BJ. Subtyping of developmental motor deficits. *Dev Neuropsychol* 1994;10(3):265–84, <http://dx.doi.org/10.1080/87565649409540583>.

[20] Gérard C, Dugas M. Dyspraxie de développement : proposition de typologie. À propos de 51 cas. *Ann Readapt Med Phys* 1991;43(34):325–32.

[21] Wechsler D. Wechsler Intelligence Scale for Children. Fourth Edition; 2003.

[22] Wechsler D. The Wechsler Preschool and Primary Scale of Intelligence. Third Edition (WPPSI-III); 2002.

[23] Rey A. Manuel du test de copie d'une figure complexe. Paris: ECPA; 1959.

[24] Korkman M, Kirk U, Kemp S. NEPSY: a developmental neuropsychological assessment. San Antonio, TX: Psychological Corporation; 1998.

[25] Henderson SE, Sugden DA, Barnett AL. Movement assessment battery for children-2 second edition [Movement ABC-2]. London: The Psychological Corporation; 2007.

- [26] Vaivre-Douret L. Developmental coordination disorders: state of art. *Neurophysiol Clin Neurophysiol* 2014;44:13–23, <http://dx.doi.org/10.1016/j.neucli.2013.10.133>.
- [27] Venetsanou F, Kambas A, Ellinoudis T, Fatouros I, Giannakidou D, Kourtessis T. Can the Movement Assessment Battery for Children-Test be the “gold standard” for the motor assessment of children with developmental coordination disorder? *Res Dev Disabil* 2011;32:1–10, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ridd.2010.09.006>.
- [28] Vaivre-Douret L. Évaluation des fonctions neuro-psychomotrices avec la batterie NP-MOT : contribution au diagnostic; 2013.
- [29] Kaplan BJ, Wilson NB, Dewey D, Crawford SG. DCD may not be a discrete disorder. *Hum Mov Sci* 1998;17:471–90.
- [30] Rodger S, Ziviani J, Watter P, Ozanne A, Woodyatt G, Springfield E. Motor and functional skills of children with developmental coordination disorder: a pilot investigation of measurement issues. *Hum Mov Sci* 2003;22:461–78, <http://dx.doi.org/10.1016/j.humov.2003.09.004>.
- [31] Magalhães LC, Missiuna C, Wong S. Terminology used in research reports of developmental coordination disorder. *Dev Med Child Neurol* 2006;48:937–41, <http://dx.doi.org/10.1017/S0012162206002040>.
- [32] Conners CK. *Conners' Rating Scales—Revised Technical Manual*. Toronto, Ontario, Canada: Multi-Health Systems; 1997.
- [33] Manly T, Robertson IH, Anderson V, Mimmo-Smith I. *TEA-CH*. Paris: E.C.P.A.; 2006.
- [34] Plaza M, Robert-Jahier AM. *DRA : test de dénomination rapide pour enfants*. Chateauroux: Adeprio; 2006.
- [35] Équipe classification, évaluation, enquêtes et terminologie, Organisation mondiale de la santé, Genève, Suisse. *CIH-2. Classification internationale du fonctionnement, du handicap et de la santé. Projet final. Version complète*; 2001.
- [36] May-Benson T, Ingolia P, Koomar J, Chapter IX. Daily living skills and developmental coordination disorder. *Dev. Coord. Disord., Cengage Learning* 2002:140–56.
- [37] van der Linde BW, van Netten JJ, Otten BE, Postema K, Geuze RH, Schoemaker MM. Psychometric properties of the DCDDaily-Q: a new parental questionnaire on children's performance in activities of daily living. *Res Dev Disabil* 2014;35:1711–9, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ridd.2014.03.008>.
- [38] Josman N, Goffer A, Rosenblum S. Development and standardization of a “do-eat” activity of daily living performance test for children. *Am J Occup Ther Off Publ Am Occup Ther Assoc* 2010;64:47–58.
- [39] Toussaint-Thorin M, Marchal F, Benkhaled O, Pradat-Diehl P, Boyer F-C, Chevignard M. Executive functions of children with developmental dyspraxia: assessment combining neuropsychological and ecological tests. *Ann Phys Rehabil Med* 2013;56:268–87, <http://dx.doi.org/10.1016/j.rehab.2013.02.006>.
- [40] Fombonne E, Achard S, Tuffreau R. L'évaluation du comportement adaptatif : l'échelle de Vineland. *Handicap Inadapt Cah CTNERHI*; 1995. p. 79–90.
- [41] van der Linde BW, van Netten JJ, Otten E, Postema K, Geuze RH, Schoemaker MM. A systematic review of instruments for assessment of capacity in activities of daily living in children with developmental co-ordination disorder. *Child Care Health Dev* 2013, <http://dx.doi.org/10.1111/cch.12124>.
- [42] Spielberger CD. *The state-trait anxiety inventory for children*. Palo Alto, CA: Consulting Psychologists Press; 1973.
- [43] Achenbach T. *Manual for the Child Behavior Checklist/4-18*. Burlington, VT: University of Vermont Department of Psychiatry; 1991.
- [44] Rosenberg L, Jarus T, Bart O. Development and initial validation of the Children Participation Questionnaire (CPQ). *Disabil Rehabil* 2010;32:1633–44, <http://dx.doi.org/10.3109/09638281003611086>.
- [45] Harter S. *The self-perception profile for children: revision of the perceived competence scale for children*. Denver, CO: University of Denver; 1985.
- [46] Hay JA, Hawes R, Faught BE. Evaluation of a screening instrument for developmental coordination disorder. *J Adolesc Health Off Publ Soc Adolesc Med* 2004;34:308–13, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jadohealth.2003.07.004>.
- [47] Cantell MH, Smyth MM, Ahonen TP. Two distinct pathways for developmental coordination disorder: persistence and resolution. *Hum Mov Sci* 2003;22:413–31, <http://dx.doi.org/10.1016/j.humov.2003.09.002>.
- [48] Rasmussen P, Gillberg C. Natural outcome of ADHD with developmental coordination disorder at age 22 years: a controlled, longitudinal, community-based study. *J Am Acad Child Adolesc Psychiatry* 2000;39:1424–31.
- [49] Cousins M, Smyth MM. Developmental coordination impairments in adulthood. *Hum Mov Sci* 2003;22:433–59, <http://dx.doi.org/10.1016/j.humov.2003.09.003>.
- [50] Bos AF, Van Braeckel KNJA, Hitzert MM, Tanis JC, Roze E. Development of fine motor skills in preterm infants. *Dev Med Child Neurol* 2013;55(Suppl. 4):1–4, <http://dx.doi.org/10.1111/dmcn.12297>.
- [51] Hua J, Gu G, Jiang P, Zhang L, Zhu L, Meng W. The prenatal, perinatal and neonatal risk factors for children's developmental coordination disorder: a population study in mainland China. *Res Dev Disabil* 2014, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ridd.2014.01.001>.
- [52] Cohen D, Martel C, Wilson A, Déchambre N, Amy C, Duverger L, et al. Brief report: visual-spatial deficit in a 16-year-old girl with maternally derived duplication of proximal 15q. *J Autism Dev Disord* 2007;37:1585–91, <http://dx.doi.org/10.1007/s10803-006-0228-5>.
- [53] Douniol M, Jacqueline A, Cohen D, Bodeau N, Rachidi L, Angeard N, et al. Psychiatric and cognitive phenotype of childhood myotonic dystrophy type 1. *Dev Med Child Neurol* 2012;54:905–11, <http://dx.doi.org/10.1111/j.1469-8749.2012.04379.x>.
- [54] Langevin LM, MacMaster FP, Crawford S, Lebel C, Dewey D. Common white matter microstructure alterations in pediatric motor and attention disorders. *J Pediatr* 2014, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jpeds.2014.01.018>.
- [55] Bo J, Lee CM. Motor skill learning in children with developmental coordination disorder. *Res Dev Disabil* 2013;34:2047–55, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ridd.2013.03.012>.
- [56] Peters LHH, Maathuis CGB, Hadders-Algra M. Neural correlates of developmental coordination disorder. *Dev Med Child Neurol* 2013;55:59–64, <http://dx.doi.org/10.1111/dmcn.12309>.
- [57] Gillberg C, Kadesjö B. Why bother about clumsiness? The implications of having developmental coordination disorder (DCD). *Neural Plast* 2003;10:59–68.
- [58] Lussier F, Flessas J. *Troubles praxiques et visuo-spatiaux*. Neuropsychol. *Enfant Troubl. Dév. Apprentiss. 2^e édition* Paris: Dunod; 2009. p. 255–360.
- [59] Ayres AJ. *Sensory integration and learning disorders*. Los Angeles, CA: Western Psychological Services; 1972.
- [60] Dewey D. What is developmental dyspraxia. *Brain Cogn* 1995;29:254–74, <http://dx.doi.org/10.1006/brcg.1995.1281>.
- [61] Wilson PH, Ruddock S, Smits-Engelsman B, Polatajko H, Blank R. Understanding performance deficits in developmental coordination disorder: a meta-analysis of recent research: review. *Dev Med Child Neurol* 2013;55:217–28, <http://dx.doi.org/10.1111/j.1469-8749.2012.04436.x>.
- [62] Adams ILJ, Lust JM, Wilson PH, Steenberg B. Compromised motor control in children with DCD: a deficit in the internal model? A systematic review. *Neurosci Biobehav Rev* 2014;47C:225–44, <http://dx.doi.org/10.1016/j.neubiorev.2014.08.011>.
- [63] Sigmundsson H. Perceptual deficits in clumsy children: inter- and intramodal matching approach – a window into clumsy behavior. *Neural Plast* 2003;10:27–38, <http://dx.doi.org/10.1155/NP.2003.27>.
- [64] Wilson PH, McKenzie BE. Information processing deficits associated with developmental coordination disorder: a meta-analysis of research findings. *J Child Psychol Psychiatry* 1998;39:829–40.
- [65] Tsai C-L, Wilson PH, Wu SK. Role of visual–perceptual skills (non-motor) in children with developmental coordination disorder. *Hum Mov Sci* 2008;27:649–64, <http://dx.doi.org/10.1016/j.humov.2007.10.002>.
- [66] Bonifacci P. Children with low motor ability have lower visual-motor integration ability but unaffected perceptual skills. *Hum Mov Sci* 2004;23:157–68, <http://dx.doi.org/10.1016/j.humov.2004.08.002>.
- [67] Schoemaker MM, van der Wees M, Flapper B, Verheij-Jansen N, Scholten-Jaegers S, Geuze RH. Perceptual skills of children with developmental coordination disorder. *Hum Mov Sci* 2001;20:111–33.

- [68] Asonitou K, Koutsouki D, Kourtessis T, Charitou S. Motor and cognitive performance differences between children with and without developmental coordination disorder (DCD). *Res Dev Disabil* 2012;33:996–1005, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ridd.2012.01.008>.
- [69] Meltzer H, Gatward R. The mental health of children and adolescents in Great Britain: the report of a survey carried out in 1999 by Social Survey Division of the Office for National Statistics on behalf of the Department of Health, the Scottish Health Executive and the National Assembly for Wales. London: Stationery Office; 2000.
- [70] Piek JP, Pitcher TM, Hay DA. Motor coordination and kinaesthesia in boys with attention deficit-hyperactivity disorder. *Dev Med Child Neurol* 2007;41:159–65, <http://dx.doi.org/10.1111/j.1469-8749.1999.tb00575.x>.
- [71] Watemberg N, Waiserberg N, Zuk L, Lerman-Sagie T. Developmental coordination disorder in children with attention-deficit-hyperactivity disorder and physical therapy intervention. *Dev Med Child Neurol* 2007;49:920–5, <http://dx.doi.org/10.1111/j.1469-8749.2007.00920.x>.
- [72] Pitcher TM, Piek JP, Hay DA. Fine and gross motor ability in males with ADHD. *Dev Med Child Neurol* 2007;45:525–35, <http://dx.doi.org/10.1111/j.1469-8749.2003.tb00952.x>.
- [73] Martin NC, Piek JP, Hay D. DCD and ADHD: a genetic study of their shared aetiology. *Hum Mov Sci* 2006;25:110–24, <http://dx.doi.org/10.1016/j.humov.2005.10.006>.
- [74] Kadesjö B, Gillberg C. Attention deficits and clumsiness in Swedish 7-year-old children. *Dev Med Child Neurol* 1998;40:796–804.
- [75] McLeod KR, Langevin LM, Goodyear BG, Dewey D. Functional connectivity of neural motor networks is disrupted in children with developmental coordination disorder and attention-deficit/hyperactivity disorder. *NeuroImage Clin* 2014;4:566–75, <http://dx.doi.org/10.1016/j.nicl.2014.03.010>.
- [76] Langevin LM, MacMaster FP, Dewey D. Distinct patterns of cortical thinning in concurrent motor and attention disorders. *Dev Med Child Neurol* 2015;57:257–64, <http://dx.doi.org/10.1111/dmcn.12561>.
- [77] Goulardins JB, Rigoli D, Licari M, Piek JP, Hasue RH, Oosterlaan J, et al. Attention deficit hyperactivity disorder and developmental coordination disorder: two separate disorders or do they share a common etiology. *Behav Brain Res* 2015;292:484–92, <http://dx.doi.org/10.1016/j.bbr.2015.07.0095>.
- [78] Bhat AN, Landa RJ, Galloway JC. Current perspectives on motor functioning in infants, children, and adults with autism spectrum disorders. *Phys Ther* 2011;91:1116–29, <http://dx.doi.org/10.2522/ptj.20100294>.
- [79] Green D, Baird G, Barnett AL, Henderson L, Huber J, Henderson SE. The severity and nature of motor impairment in Asperger's syndrome: a comparison with specific developmental disorder of motor function. *J Child Psychol Psychiatry* 2002;43:655–68, <http://dx.doi.org/10.1111/1469-7610.00054>.
- [80] Guilé J, Xavier J, Plaza M, Mille C, Cohen D. Dys harmony, multiple complex developmental disorder or pervasive developmental disorder-NOS? *Neuropsychiatr Enfance Adolesc* 2012;60:S38, <http://dx.doi.org/10.1016/j.neurenf.2012.05.135>.
- [81] Xavier J, Vannetzel L, Viaux S, Leroy A, Plaza M, Tordjman S, et al. Reliability and diagnostic efficiency of the Diagnostic Inventory for Disharmony (DID) in youths with pervasive developmental disorder and multiple complex developmental disorder. *Res Autism Spectr Disord* 2011;5:1493–9, <http://dx.doi.org/10.1016/j.rasd.2011.02.010>.
- [82] Xavier J, Bursztejn C, Stiskin M, Canitano R, Cohen D. Autism spectrum disorders: an historical synthesis and a multidimensional assessment toward a tailored therapeutic program. *Res Autism Spectr Disord* 2015;18:21–33, <http://dx.doi.org/10.1016/j.rasd.2015.06.011>.
- [83] Missiuna C, Cairney J, Pollock N, Campbell W, Russell DJ, Macdonald K, et al. Psychological distress in children with developmental coordination disorder and attention-deficit hyperactivity disorder. *Res Dev Disabil* 2014, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ridd.2014.01.007>.
- [84] Piek JP, Barrett NC, Smith LM, Rigoli D, Gasson N. Do motor skills in infancy and early childhood predict anxious and depressive symptomatology at school age? *Hum Mov Sci* 2010;29:777–86, <http://dx.doi.org/10.1016/j.humov.2010.03.006>.
- [85] Sigurdsson E, Van Os J, Fombonne E. Are impaired childhood motor skills a risk factor for adolescent anxiety? Results from the 1958 UK birth cohort and the National Child Development Study. *Am J Psychiatry* 2002;159:1044–6.
- [86] Green D, Baird G, Sugden D. A pilot study of psychopathology in developmental coordination disorder. *Child Care Health Dev* 2006;32:741–50, <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2214.2006.00684.x>.
- [87] Schoemaker MM, Kalverboer AF. Social and affective problems of children who are clumsy: how early do they begin? *Adapt Phys Act Q* 1994;11(2):130–40.
- [88] Dewey D, Kaplan BJ, Crawford SG, Wilson BN. Developmental coordination disorder: associated problems in attention, learning, and psychosocial adjustment. *Hum Mov Sci* 2002;21:905–18, [http://dx.doi.org/10.1016/S0167-9457\(02\)00163-X](http://dx.doi.org/10.1016/S0167-9457(02)00163-X).
- [89] Skinner R, Piek J. Psychosocial implications of poor motor coordination in children and adolescents. *Hum Mov Sci* 2001;20:73–94.
- [90] Campbell WN, Missiuna C, Vaillancourt T. Peer victimization and depression in children with and without motor coordination difficulties. *Psychol Sch* 2012;49:328–41, <http://dx.doi.org/10.1002/pits.21600>.
- [91] Poulsen AA, Ziviani JM, Cuskelly M. General self-concept and life satisfaction for boys with differing levels of physical coordination: the role of goal orientations and leisure participation. *Hum Mov Sci* 2006;25:839–60, <http://dx.doi.org/10.1016/j.humov.2006.05.003>.
- [92] Cermak SA, Larkin D. Chapter XIII. Families as partners. *Dev. Coord. Disord.*, Cengage Learning; 2002. p. 200–8.
- [93] Kanioglou A, Tsoarbatzoudis H, Barkoukis V. Socialization and behavioral problems of elementary school pupils with developmental coordination disorder. *Percept Mot Skills* 2005;101:163–73.
- [94] Cantell MH, Smyth MM, Ahonen TP. Clumsiness in adolescence: educational, motor, and social outcomes of motor delay detected at 5 years. *Adapt Phys Act Q* 1994;11:115–29.
- [95] Smyth MM, Anderson HI. Coping with clumsiness in the school playground: social and physical play in children with coordination impairments. *Br J Dev Psychol* 2000;18(3):389–413, <http://dx.doi.org/10.1348/026151000165760>.
- [96] Piek JP, Baynam GB, Barrett NC. The relationship between fine and gross motor ability, self-perceptions and self-worth in children and adolescents. *Hum Mov Sci* 2006;25(1):65–75, <http://dx.doi.org/10.1016/j.humov.2005.10.011>.
- [97] Cairney J, Hay JA, Faught BE, Wade TJ, Corna L, Flouris A. Developmental coordination disorder, generalized self-efficacy toward physical activity, and participation in organized and free play activities. *J Pediatr* 2005;147(4):515–20, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jpeds.2005.05.013>.
- [98] Poulsen AA, Ziviani JM, Johnson H, Cuskelly M. Loneliness and life satisfaction of boys with developmental coordination disorder: the impact of leisure participation and perceived freedom in leisure. *Hum Mov Sci* 2008;27(2):325–43, <http://dx.doi.org/10.1016/j.humov.2008.02.004>.
- [99] Hillier S. Intervention for children with developmental coordination disorder: a systematic review. *Internet J Allied Health Sci Pract* 2007;5(3):1–11.
- [100] Smits-Engelsman BCM, Blank R, Van Der Kaay AC, Mosterd-Van Der Meijs R, Vlugt-Van Den Brand E, Polatajko HJ, et al. Efficacy of interventions to improve motor performance in children with developmental coordination disorder: a combined systematic review and meta-analysis: review. *Dev Med Child Neurol* 2013;55:229–37, <http://dx.doi.org/10.1111/dmcn.12008>.
- [101] Pentland J, Maciver D, Owen C, Forsyth K, Irvine L, Walsh M, et al. Services for children with developmental co-ordination disorder: an evaluation against best practice principles. *Disabil Rehabil* 2015;1–8, <http://dx.doi.org/10.3109/09638288.2015.1037464>.
- [102] Chen H-F, Cohn ES. Social participation for children with developmental coordination disorder. *Phys Occup Ther Pediatr* 2003;23:61–78, <http://dx.doi.org/10.1080/J006v23n04.05>.