



**HAL**  
open science

## **L'expertise collective de l'Inserm sur le trouble développemental de la coordination ou dyspraxie : état des principaux travaux et recommandations**

Laurence Vaivre-Douret, Michèle Mazeau, Caroline Jolly, Caroline Huron,  
Catherine Arnaud, Sibylle Gonzalez-Monge, Christine Assaiante

### ► **To cite this version:**

Laurence Vaivre-Douret, Michèle Mazeau, Caroline Jolly, Caroline Huron, Catherine Arnaud, et al. L'expertise collective de l'Inserm sur le trouble développemental de la coordination ou dyspraxie : état des principaux travaux et recommandations. *Neuropsychiatrie de l'Enfance et de l'Adolescence*, 2021, 69 (6), pp.311-330. <10.1016/j.neurenf.2021.07.002>. <hal-03346364>

**HAL Id: hal-03346364**

**<https://hal.science/hal-03346364v1>**

Submitted on 22 Nov 2022

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire HAL, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons CC BY-NC-ND 4.0 - Attribution - Non-commercial use - No  
Derivative Works - International License

## L'expertise collective de l'INSERM sur le Trouble Développementale de la Coordination ou dyspraxie : état des principaux travaux et recommandations

L. Vaivre-Douret<sup>a,b,c,d,e</sup>, M. Mazeau<sup>f</sup>, C. Jolly<sup>g</sup>, C. Huron<sup>h</sup>, C. Arnaud<sup>i</sup>, S. Gonzalez-Monge<sup>j,k</sup>, C. Assaiante<sup>l</sup>

<sup>a</sup>Université de Paris, Faculté de Santé, UFR Médecine, Paris, France

<sup>b</sup>INSERM UMR 1018-CESP, Paris-Saclay, UVSQ, équipe PsyDev, Villejuif, France

<sup>c</sup>Hôpital Universitaire Necker-Enfants Malades, AP-HP. Centre, Paris, France

<sup>d</sup>Institut Universitaire de France, Paris, France

<sup>e</sup>Institut Hospitalo-Universitaire Imagine, Endocrinologie Pédiatrique, Necker, Paris France

<sup>f</sup>Groupe de travail du CSEN, « handicap et inclusion scolaire », Paris, France

<sup>g</sup>Université Grenoble-Alpes, Université Savoie Mont-Blanc, CNRS, LPNC, Grenoble, France

<sup>h</sup>Laboratoire Evolution et Ingénierie des Systèmes Dynamiques, INSERM U1284, Paris, France

<sup>i</sup>Épidémiologie et analyses en santé publique, Inserm U 1027, Université de Toulouse III–Paul Sabatier, Toulouse, France

<sup>j</sup>Centre de recherche en neurosciences de Lyon, Inserm U 1028, CNRS UMR 5292, Université Claude Bernard-Lyon 1, France

<sup>k</sup>Service de rééducation pédiatrique- Centre de référence troubles des apprentissages, Hôpital Femme Mère Enfant, Bron, France

<sup>l</sup>Laboratoire de Neurosciences Cognitives, UMR 7291, CNRS-AMU, Centre Saint-Charles, Marseille, France

Les auteurs ne déclarent pas de liens d'intérêt

### Panel d'experts et auteurs (en ordre alphabétique) :

ALBARET Jean-Michel, Inserm U 1214, Université Toulouse III–Paul Sabatier ; ARNAUD Catherine, Inserm U 1027, Université de Toulouse III–Paul Sabatier; ASSAIANTE Christine, CNRS UMR 7291, Université Aix-Marseille ; GONZALEZ-MONGE Sibylle, Centre de recherche en neurosciences de Lyon Inserm U 1028, CNRS UMR 5292, Université Claude Bernard-Lyon 1; HURON Caroline, Inserm U 992, CEA Université Paris-Sud 11, Gif-sur-Yvette; JOLLY Caroline, CNRS UMR 5105, Université Grenoble Alpes, Université de Savoie Mont-Blanc; KAISER Marie-Laure, Haute École de santé Genève, HES-SO Haute école spécialisée de Suisse occidentale, Suisse ; LIOTARD Philippe, EA 7428, UFR STAPS, Université Claude Bernard-Lyon 1; MAZEAU Michèle, Groupe de travail « handicap et inclusion scolaire », Paris ; TALLET Jessica, Inserm U 1214, Université Toulouse III–Paul Sabatier; VAIVRE-DOURET Laurence, Inserm UMR 1018-CESP, Université de Paris et IUF; WOOLVEN Marianne, EA 4281, Université Clermont Auvergne, Clermont-Ferrand.

**Ont présenté une communication :** DELÉTANG Marianne, fédération Dyspraxique mais fantastique, Roubaix ; FAIDEAU Grégory, psychomotricien en libéral, Versailles ; GILBERT Pascale, médecin coordonnateur de la MDPH de Seine-et-Marne, Saigny-le-Temple ; LAPRÉVOTTE Julie, ergothérapeute, Université de Bourgogne, Dijon ; MARRON Vincent, association Dyspraxie France Dys, Varennes-sur-Allier ; PISELLA Laure, Centre de recherche en neurosciences de Lyon, Inserm U 1028, Université Claude Bernard-Lyon 1, Université Saint-Étienne – Jean Monnet, CNRS, Lyon ; THOMAZET Serge, EA 4281, Université Clermont Auvergne, Clermont-Ferrand.

**Coordination scientifique, éditoriale, bibliographique et logistique par le Pôle expertise collective de l'Inserm :** Responsable FLEURY Laurent ; Coordination de cette expertise : CIPRIANO Marion, BONNIN Fabienne, VAZEILLES Isabelle, WATROBA Laurent ; Documentation : GRELLIER Chantal et VARIGNON Bénédicte.

## **L'expertise collective de l'INSERM sur le Trouble Développementale de la Coordination ou dyspraxie : état des principaux travaux et recommandations**

### **Résumé :**

L'objectif de cet article est de faire connaître les principaux travaux des experts réunis par l'INSERM dans le cadre de la procédure d'expertise collective rattaché à l'Institut de Santé Publique pour répondre à la demande de la Caisse Nationale de Solidarité pour l'Autonomie concernant l'accompagnement et la prise en charge des personnes présentant un trouble développementale de la coordination (TDC) ou dyspraxie.

Le rapport (synthèse, analyses et recommandations) a été publié en décembre 2019. Les travaux des experts ont permis de faire un état des connaissances scientifiques sur le trouble développementale de la coordination à un niveau tant national qu'international, basé sur la littérature scientifique disponible.

Nous tenterons à travers cette article de synthèse de présenter les points essentiels des analyses et recommandations issues des travaux du groupe d'experts concernant la terminologie, la typologie, l'épidémiologie, l'imagerie cérébrale, la génétique, les fonctions déficitaires sensori-motrices et cognitives, le trouble de l'écriture, l'impact sur les activités de la vie quotidiennes, le repérage et le diagnostic.

Les études au niveau international sur le TDC font apparaître des biais méthodologiques récurrents et le TDC est un terme générique mal défini par le DSM-5, pour lequel le diagnostic comporte une évaluation de la coordination motrice standardisée et normée, nécessaire mais pas suffisante.

Des tests développementaux évaluant la maturation du développement neuromoteur sous-jacent à la fonction motrice doivent compléter l'affirmation du diagnostic, ainsi que d'autres investigations multidimensionnelles des fonctions cognitives, sensorielles et motrices afin de réaliser un diagnostic différentiel et de rendre compte d'une typologie. De plus, l'impact individuel du handicap sur les activités, la participation et la qualité de vie, doit être évalué, non seulement dans l'enfance mais aussi à l'âge adulte.

**Mots clés :** Dyspraxie ; Trouble Développementale de la Coordination ; Expertise collective INSERM ; Epidémiologie ; Imagerie cérébrale ; Génétique ; Fonctions sensori-motrices ; Fonctions cognitives ; Ecriture manuscrite ; Activités de la vie quotidiennes ; Diagnostic.

### **INSERM's collective expertise on Developmental Coordination Disorder or dyspraxia : status of the main studies and recommendations.**

#### **Summary :**

This current article presents the main work of the experts gathered by INSERM within the framework of the collective expertise procedure attached to the Institute of Public Health to respond to the request of the Caisse Nationale de Solidarité pour l'Autonomie (French National Solidarity Fund for Autonomy) concerning the support and care of people with a developmental coordination disorder (DCD) or dyspraxia.

This report (synthesis, analyses and recommendations) was published in December 2019. The work of the experts has made it possible to review the scientific knowledges on developmental coordination disorder at both national and international levels, based on the available scientific literature.

In this synthesis, we will attempt to present the essential points of the analyses and recommendations resulting from the work of the experts group concerning terminology, typology, epidemiology, brain imaging, genetics, sensory-motor and cognitive deficits, writing disorders, impact on activities of daily living, identification and diagnosis.

International studies on DCD show recurrent methodological bias and DCD is a generic term poorly defined by the DSM-5, for which the diagnosis includes a necessary but not sufficient standardized assessment of motor coordination.

Developmental tests assessing the maturation of neuromotor development underlying motor function should complement the assertion of the diagnosis, as well as other multidimensional investigations of cognitive, sensorial and motor function in order to make a differential diagnosis and report a typology. In addition, the individual impact of the disability on activities, participation and quality of life must be evaluated, not only in childhood but also in adulthood.

**Key words :** Dyspraxia ; Developmental Coordination Disorder ; INSERM's collective expertise ; Epidemiology ; Brain neuro-imaging ; Genetics ; Sensory-motor functions ; Cognitive functions ; Handwriting ; Activities of daily living ; Diagnosis.



compétences fonctionnelles que des répercussions sur les activités de la vie quotidienne et la participation. Il repose sur la présence chez l'enfant d'un trouble développemental se manifestant principalement dans des habiletés gestuelles, et se traduisant souvent par des difficultés d'apprentissage à l'école (écriture, arithmétique, géométrie...), ainsi que par des limitations dans d'autres activités de la vie quotidienne que ce soit à la maison ou par exemple dans les activités de loisirs extra-scolaires, sportives ou manuelles (la personne est jugée lente, maladroite, peu habile). A noter que le développement des grandes étapes motrices (tenir assis, marche autonome) n'est pas nécessairement affecté [8, 9]. Le TDC est fréquemment associé à d'autres troubles, comme le trouble déficit de l'attention avec ou sans hyperactivité (TDA/H), les troubles des apprentissages (dysgraphie, dyscalculie, dyslexie, dysorthographe), les troubles du langage, ...etc.

### **3. Quid de la typologie ou sous-types du TDC**

Il n'existe pas de consensus sur un plan international sur une typologie du TDC étant donné les nombreux biais méthodologiques au sein des études qui sont essentiellement anglo-saxonnes. Il apparaît tout d'abord que la taille des échantillons est limitée pour de nombreuses études (moins d'une vingtaine de sujets dans certains domaines, entre 20 et 40 pour d'autres) limitant la portée de certains résultats. Ensuite, dans de nombreuses publications, il est constaté que même lorsque le terme TDC est utilisé, l'ensemble des critères du DSM n'est pas toujours renseigné. En effet, les échantillons sont souvent recrutés uniquement sur la base de résultats à un test global de performance de la coordination (critère A du DSM-IV) [5] sans mentionner ou prendre en compte les répercussions dans la vie quotidienne et sur la scolarité (critère B), ni les critères d'exclusion tels que des handicaps intellectuels ou neurologiques moteurs (critère D). Lorsque ces critères ne sont pas mentionnés, il n'est pas possible de savoir si la population étudiée présente vraiment un TDC. Si, de plus, le recrutement s'est effectué en population générale, il n'y a pas forcément eu de plainte de la part des individus considérés comme présentant un TDC sur la base de résultats à un test moteur, contrairement au recrutement en contexte clinique (ou une plainte de l'individu, de sa famille ou d'un tiers est le plus souvent à l'origine de la consultation). Par ailleurs, lorsque les différents critères du DSM sont pris en compte, ils peuvent l'être de manières très variées (outils, seuils, types de recrutements, critères d'exclusion, etc.) ce qui ne facilite pas des comparaisons rigoureuses. En effet, si la *Movement Assessment Battery for Children* [10, 11] qui est l'outil le plus employé dans les publications de recherche pour évaluer le critère A du DSM, les seuils considérés peuvent cependant varier selon les études (par exemple 5ème ou 15ème percentile pour la M-ABC). De plus, on note l'absence de mention ou de prise en compte des troubles associés dans de nombreuses études. Tous ces constats mettent en exergue des problèmes d'interprétation des résultats issus de ces études peu rigoureuses, dont les experts ont dû être prudents pour en tirer des conclusions. Un des biais le plus notable qui ne permet pas un consensus pour isoler des sous-types du TDC est que les tests utilisés sont divergents selon les études, les rendant peu comparables alors que des analyses en clusters sont utilisées [9, 12]. En effet, parmi les 8 études en clusters internationales [8,9, 15-22], le test de coordination motrice utilisé est associé de façon hétérogène à d'autres évaluations (test kinesthésique et/ou perceptif visuel et/ou visuomoteur, et/ou gestes séquentiels et/ou imitation de gestes, etc.). De ce fait, il n'est pas surprenant de constater qu'un seul groupe commun (déficit global) très déficitaire apparaisse dans toutes les études, rassemblant les enfants cumulant de nombreuses difficultés motrices et/ou cognitives dans toutes les évaluations réalisées selon l'étude. Seules deux études françaises [8, 9, 22] ont investigué de façon multidimensionnelle (sur un plan neurologique, sensoriel, moteur et cognitif) les fonctions cérébrales et en utilisant une évaluation neurodéveloppementale [23], plutôt qu'un test de performance de la coordination motrice [24].

Il ressort tout de même que certaines études ont investigué le domaine perceptif visuel et /ou visuo- moteur [8, 9 16, 20, 21, 22] et ont mis en évidence un sous-groupe dominant de ce domaine. Seulement quatre études [8, 9, 15, 21, 22] ont inclus un test des praxies séquentielles et d'imitation de gestes ou de mimes identifiant ainsi une typologie idéomotrice. Par conséquent, si la plupart des travaux n'aboutit pas à une typologie commune en raison essentiellement des investigations choisies et du peu de rigueur sur les critères d'inclusion des sujets dits TDC, il est relevé tout de même, deux autres typologies, dites pures (visuo-spatiale et visuo-constructive) qui sont bien connues des cliniciens. De nouvelles études permettront de répliquer la mise en évidence de trois sous-groupes de TDC purs (idéomoteur, visuo-spatial, visuo-constructif) et un sous-groupe mixte (associant les trois sous-groupes purs et des troubles spécifiques) déjà validés scientifiquement au niveau français avec des critères d'inclusion plus strictes [8, 22], démontrant un taux de classification de prédiction excellent entre 94% et 100% avec un intervalle de confiance à 95% (0,713-

0,999). Ainsi, il est regrettable que les critères d'inclusion dans les études anglo-saxonnes n'aient pas permis d'exclure les déficits attentionnels (sauf Green [21]) et perceptifs visuels entraînant systématiquement des troubles visuo-spatiaux, et ni d'identifier un trouble neuromoteur de la commande motrice qui impacte la coordination globale [12], ce dernier ne devant pourtant pas être confondu car faisant partie des critères d'exclusion du diagnostic du TDC selon le DSM-5 (critère D). Le DSM-5 [6] apparaît cependant incomplet concernant les déficits visuo-moteurs et visuo-spatiaux moteurs/visuo-constructifs qui ne sont pas systématiquement examinés.

#### 4. Point de vue épidémiologique

Le trouble développemental de la coordination (TDC) correspond à une situation fréquemment retrouvée chez les enfants d'âge scolaire (Figure 1).

«**Insérer Figure 1**»

Néanmoins, sa prévalence en population générale est connue avec une relative imprécision, et les recherches bien conduites ayant pour objet son estimation sont en effectif limité. Les estimations de prévalences fluctuent de 1,8% à 30,0% [25-33]. Cette variabilité est d'abord le reflet de « vraies » différences en lien avec la sévérité de l'atteinte motrice considérée. La littérature s'accorde pour considérer une définition statistique de l'écart des performances motrices des enfants TDC comparativement aux enfants avec développement typique. Ainsi, l'utilisation d'un seuil inférieur au 5<sup>e</sup> percentile des normes établies avec l'outil de mesure utilisé conduit à considérer 2 à 6% ( $1,8\% \leq \text{seuil au } 5^{\text{ème}} \text{ percentile M-ABC} \geq 5,4\%$  et  $6,7\% \leq \text{seuil au } 15^{\text{ème}} \text{ percentile M-ABC} \geq 27,7\%$ ) des enfants de la population générale avec TDC [27, 34]. L'homogénéité de la population identifiée est néanmoins incertaine. En effet, la mise en œuvre de l'entière de la démarche diagnostique telle que le prévoit le manuel diagnostique et statistique des troubles mentaux [6] dans les études de prévalence est un enjeu majeur. Celle-ci exige de déployer de larges études à plusieurs étapes impliquant des intervenants multiples pour établir avec certitude le diagnostic.

Un des critères diagnostiques (critère C du DSM-5) [6] est la précocité de l'atteinte développementale. A ce jour, il n'est pas recommandé de faire un diagnostic avant l'âge de 5 ans, pour des raisons liées à la variabilité du développement de l'enfant, à l'effectivité de sa coopération dans la réalisation des tests diagnostiques qui lui sont proposés et à la difficulté d'évaluation du retentissement des troubles de coordination motrice sur les activités de la vie quotidienne et les performances académiques [34, 35]. Aussi les études en population générale concernent majoritairement les enfants âgés de 6 à 11 ans [25, 26, 29]. Dans cette population, la première étape de repérage d'une sous-population à haute probabilité de présenter un TDC était dans la grande majorité des études publiées basée sur un questionnaire parental validé, le Developmental Coordination Disorder Questionnaire (DCDQ-07), explorant les habilités motrices comparativement aux enfants du même âge [36] et dont le score global permet de différencier les enfants suspects de TDC de ceux probablement sans TDC [37]. Le DCDQ-FE en est l'adaptation française/européenne, applicable aux 5-15 ans [38]. Il regroupe 15 questions explorant le contrôle moteur durant le mouvement, la motricité fine et l'écriture, et la coordination globale. Un score inférieur ou égal à 56 identifie les enfants susceptibles de présenter un TDC avec une sensibilité supérieure à 75% quel que soit l'âge [38]. Les propriétés métriques sont bonnes et similaires à celles du questionnaire source. Un questionnaire spécifique pour les enfants de moins de 6 ans (Little DCDQ) [39] a été développé en raison des faibles performances du DCDQ'07 chez les plus jeunes [36]. D'autres auteurs ont proposé des approches alternatives ou complémentaires, que ce soit l'utilisation de questionnaires d'évaluation globale du développement psychomoteur tels que l'ASQ (Ages and Stages questionnaire, [40] y compris avant 4 ans, ou une exploration des retards d'acquisition motrice en posant des questions simples aux parents pour identifier les difficultés qui les préoccupent [41].

L'étape suivante consiste à s'assurer que les critères du DSM-5, autres que l'âge soient bien remplis. La mesure de la performance motrice constitue le critère A. La littérature rapporte l'utilisation d'outils variés pour évaluer l'acquisition et l'exécution des compétences de coordination motrice. La Batterie d'évaluation du mouvement chez l'enfant [11], applicable aux enfants de 3 à 17 ans dans sa version révisée et adaptée en version française [24], s'avérait l'outil de choix dans les études de prévalence publiées [29, 30, 32], avec une reproductibilité inter observateurs satisfaisante [42]. Elle a parfois été déployée dans une version simplifiée avec 3 subtests [25]. D'autres tests ont été utilisés dans les enquêtes en population générale, comme par

exemple le Bruininks-Ozeretsky test of Motor Proficiency (BOTMP) [13] dans sa forme courte [33] ou le Ozeretski motoric test [26]. La spécificité de l'outil pour identifier les troubles spécifiques de ces enfants au sein d'un ensemble de troubles moteurs est primordiale, et la MABC-2 [11], largement utilisée dans les enquêtes de prévalence en population générale comme on l'a vu, a pu être questionnée sur ce point [42]. Le critère B quantifie l'impact des troubles sur les activités de la vie quotidienne et les performances académiques, et leur persistance sur le long terme. En l'absence d'outils standardisés validés, la mise en œuvre de ces mesures est loin d'être systématique, et quand elle existe, elle s'appuie sur des outils variés souvent non spécifiques. A titre d'exemple, l'impact académique a pu être évalué à partir du dossier scolaire ou de standards d'écriture [25, 29, 31] à interpréter en fonction du contexte culturel. Enfin, l'application du critère D (les déficiences des compétences motrices ne sont pas mieux expliquées par un trouble du développement intellectuel ou une déficience visuelle et ne sont pas imputables à une affection neurologique motrice (par exemple une paralysie cérébrale, une dystrophie musculaire, une maladie dégénérative) devrait théoriquement permettre de définir la population sur laquelle l'estimation de la prévalence est la plus pertinente, que ces critères soient appliqués a priori (définition de la population éligible) ou à défaut a posteriori (exclusion de certains sujets). Les conditions exclues sont malgré tout assez souvent rapportées :  $QI < 70$  [25, 32], paralysie cérébrale ou dystrophie musculaire [32] mais pas toujours basées sur un examen clinique pluri professionnel complet. Certaines études peuvent exclure de manière large les enfants pris en charge pour un problème moteur [29] ou des populations à risque [30].

Chez les enfants nés prématurés ou avec un faible poids de naissances, des difficultés motrices dans la coordination, l'équilibre, le contrôle moteur, ou l'intégration visuomotrice sont observées avec une occurrence à l'âge scolaire 3 à 8 fois plus élevée que chez les enfants nés à terme ou de poids normal à la naissance [43-53], le risque de TDC augmentant avec la diminution de l'âge gestationnel à la naissance [54-56]. La méta-analyse de Williams et al [57] rapportait des estimations de fréquences globales (moyennes pondérées des prévalences rapportées dans chaque étude considérée) de 40,5% IC 95% (32,1%-48,9%) et de 19,0% IC 95% (14,2%-23,8%) respectivement pour atteintes modérées (<15e percentile ou -1DS) et sévères (<5e percentile ou -2DS). On notera que chez les prématurés, ce sont les troubles de l'équilibre qui étaient rapportés avec la plus grande fréquence [58, 59]. Dans ces populations également, la MABC-2 était l'outil de diagnostic de l'altération des performances motrices de référence, utilisé dans la quasi-totalité des études disponibles. Les démarches de diagnostic différentiel excluaient le plus souvent les paralysies cérébrales [45-47, 49, 50, 58], les déficits intellectuels (selon les études  $QI < 85$  ou  $< 70$  ou  $< 50$ ) [45, 47-49, 58] et les déficiences sensorielles [48, 49, 52, 58].

Enfin, le TDC est retrouvé avec une fréquence plus élevée chez les garçons (sex-ratio d'environ 1,8), à l'exception d'une étude en population générale qui rapporte une prévalence un peu plus élevée chez les filles mais non significativement différente de la prévalence observée chez les garçons (1,1 % ; IC 95 % [0,5-1,7] et 0,5 % ; IC 95 % [0,1-0,9] respectivement [31].

#### *4.1. Recommandations de recherche et d'actions*

Cet état des lieux amène plusieurs observations. On note qu'il existe peu d'études de prévalence bien conduites et aucune en France [1]. La démarche diagnostique préconisée par le DSM-5 [6], bien que difficile à mettre en œuvre, doit s'appliquer aussi au cadre des enquêtes de prévalence. Les outils utilisés pour mesurer la performance motrice sont assez peu spécifiques et conduisent à repérer des populations certainement hétérogènes. Des recommandations claires sur le choix des outils de mesure du retentissement sur la vie quotidienne y compris à l'école doivent être formulées. Enfin, un repérage des 15% les moins performants dès l'âge de 5-6 ans est pertinent dans le cadre d'un couplage d'une enquête de prévalence à une orientation et une prise en charge précoces, afin d'éviter que ne s'installent des sur-handicaps. Dans ce cadre, la médecine scolaire a toute sa place. Ainsi, conduire une étude de prévalence en France sur un large échantillon représentatif de la tranche d'âge considérée constitue une recommandation forte. L'absence de données chiffrées sur cette pathologie limite fortement la connaissance que les professionnels de santé, les enseignants et la population générale en ont. Une étude permettrait d'augmenter la sensibilisation à ce trouble, en particulier en milieu scolaire. Il paraît essentiel de partager et de diffuser des informations scientifiques pertinentes aux éducateurs et aux professionnels de la santé, y compris les médecins.

## **5. Des différences cérébrales anatomiques et fonctionnelles mais pas de marqueur spécifique au TDC**

Dans leur ensemble, les études de neuroimagerie mettent en évidence des différences cérébrales à la fois structurales et fonctionnelles dans le trouble développemental de la coordination.

### *5.1. A partir de l'imagerie cérébrale anatomique*

Les différences anatomiques objectivées sont : 1) une réduction du volume de matière grise dans les régions frontales droites [60], des différences d'épaisseur corticale au niveau du cortex orbitofrontal droit [61, 62] des anomalies de connectivité anatomique évaluée par de l'imagerie de résonance magnétique de diffusion au niveau des voies corticospinale, thalamique postérieure [27], du corps calleux et du faisceau longitudinal supérieur gauche [63] et du segment rétrolenticulaire gauche de la capsule interne [64].

### *5.2. A partir de l'imagerie cérébrale fonctionnelle*

Les études d'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle, qui comparent des groupes de sujets porteurs de TDC à des groupes contrôle pendant la réalisation d'une tâche cognitive, retrouvent des différences d'activations cérébrales entre les deux groupes [65-74]. Les régions identifiées au travers de ces études sont multiples. Des différences d'activation ont été rapportées au niveau du cervelet et de la région pariétale dans plusieurs études mais aussi au niveau des régions frontales, des ganglions de la base, du cortex cingulaire ou du gyrus lingual.

Certains de ces travaux présentent des limites telles qu'une taille très faible des échantillons, des enfants d'âges très différents au sein d'un même échantillon, des critères d'inclusion et d'exclusion ne respectant pas les critères diagnostiques du trouble, des choix d'analyse discutables ou des problèmes technologiques. Ces limites réduisent la portée des résultats qui nécessiteront des répliques pour être définitivement validés. Néanmoins, la synthèse de ces travaux objective l'existence de différences au niveau cérébral entre les enfants présentant un trouble développemental de la coordination et les groupes contrôle.

En revanche, en raison de la multiplicité des régions cérébrales mises en cause, il est impossible d'identifier une perturbation d'une région particulière qui serait spécifique du trouble développemental de la coordination et pourrait être considérée comme un marqueur.

### *5.3. Recommandations de recherche et d'actions*

Dans ces conditions, le groupe d'expert [1] recommande que la neuro-imagerie ne soit pas utilisée de façon systématique dans le cadre du diagnostic du trouble développemental de la coordination. La prescription d'une IRM devrait donc être réservée à l'élimination d'un diagnostic différentiel ou à la mise en évidence d'un trouble associé.

## **6. Les pistes génétiques du TDC**

Il existe à ce jour très peu d'études analysant les aspects génétiques du TDC. Partant du constat qu'environ la moitié des enfants porteurs d'un TDA/H présentent également un TDC, l'hypothèse d'une étiologie commune à ces deux troubles, en particulier une composante génétique, a été proposée. En effet, bien qu'aucun gène cible n'ait été identifié à ce jour, la présence de troubles moteurs chez les enfants TDA/H serait d'origine familiale, c'est-à-dire donc en partie d'origine génétique [75]. Une étude menée auprès d'une large cohorte de jumeaux sur la co-occurrence des troubles moteurs chez les enfants TDA/H a mis en évidence une étiologie commune à ces deux troubles, due à la fois à des facteurs génétiques et à des facteurs environnementaux communs [76]. La part génétique, est estimée à environ 66 % [75, 76]. Dans ces deux études, la corrélation la plus importante entre troubles attentionnels et troubles moteurs est observée pour la motricité fine et/ou l'écriture. Une étude plus récente analysant la motricité fine chez des enfants TDA/H a mis en évidence une héritabilité de la motricité fine de la main non dominante chez ces sujets mais pas de la main dominante, suggérant donc que les bases génétiques de ces troubles sont sans doute complexes [77]. Il est important cependant de relativiser ces résultats en raison des biais méthodologiques relatés plus haut. A savoir que le TDC est souvent associé au TDA/H, car l'inclusion des enfants dans les diverses études se fait que sur un M-ABC, sans exclusion du TDA/H, ainsi la maladresse peut être plus liée au TDA/H qu'à un véritable TDC.

Avec le développement fulgurant, au cours des dix dernières années, des techniques de séquençage et d'analyse du génome, de nouvelles pistes de recherche pour la recherche de gènes candidats impliqués dans un certain nombre de pathologies comme le TDC sont aujourd'hui explorées. Ainsi, une étude récente s'est

intéressée aux aspects génétiques chez des enfants présentant un TDC [78]. Cette étude a mis en évidence des variations du nombre de copies (CNV, *copy-number variations*) pour un certain nombre de gènes ou loci exprimés dans le cerveau et/ou impliqués dans des troubles neuro-développementaux. 64 % de ces CNV sont hérités d'un parent présentant lui-même un trouble neuro-développemental, confortant donc l'hypothèse d'une origine génétique commune au TDC et à d'autres troubles neuro-développementaux. Enfin une seconde étude, analysant les performances et les troubles moteurs et cognitifs chez des enfants présentant des anomalies du nombre de copies d'une région particulière du chromosome 16, montre que plus de la moitié de ces enfants présentent en fait un TDC [79].

L'identification de gènes de susceptibilité pour les TDC constituerait une réelle avancée, en offrant un nouvel outil diagnostique fiable, et de nouvelles pistes thérapeutiques potentielles. À ce jour, quelques gènes candidats pour les troubles de la coordination motrice ont été proposés. C'est le cas par exemple pour certains gènes impliqués dans les voies dopaminergiques [75]. D'autres gènes impliqués dans la communication, la croissance ou la migration neuronale semblent également impliqués dans la coordination motrice chez la souris [80, 81]. Bien que ces résultats ne soient pas directement transposables aux troubles de la coordination motrice chez l'Homme, ils offrent cependant des gènes candidats potentiels pour les TDC. En outre, une étude récente montre qu'une région particulière du chromosome 16 représente une région d'intérêt pour la recherche de gènes candidats pour le TDC [79].

### 6.1. Le cas particulier de la dyspraxie verbale

Certaines formes de trouble du langage et de la parole sont héritées. C'est le cas notamment pour la dyspraxie verbale notamment, un trouble moteur de la parole [82]. Bien que l'identification de facteurs génétiques impliqués soit rendue difficile par la complexité phénotypique et génotypique de ces troubles [83], l'implication du gène *FOXP2* dans un trouble rare de la parole entraînant une dyspraxie verbale sévère a cependant pu être montrée [84].

*FOXP2* a été identifié dans une grande famille de 3 générations dont la moitié des membres présentent un trouble du langage et de la parole sévère, transmis de manière monogénique autosomale dominante [84]. Le principal déficit observé chez les membres affectés de cette famille est une dyspraxie développementale orofaciale et verbale (DVOFD), sévère et chronique. Depuis, de nombreux cas familiaux de troubles sévères de la parole associés à des mutations de *FOXP2* ont été rapportés. La protéine FOXP2 est un facteur de transcription de la famille « forkhead », qui est exprimé au niveau de plusieurs structures cérébrales, et jouerait un rôle dans le développement de circuits neuronaux impliqués dans le contrôle moteur [84].

*FOXP2* n'est sans doute pas le seul gène impliqué dans la dyspraxie verbale et les troubles de la parole en général. Un autre gène dont la séquence est très proche de celle de *FOXP2*, le gène *FOXP1*, pourrait également être impliqué. D'autre part, la région chromosomique 11p13 pourrait également être impliquée. En effet, les troubles de parole observés dans le contexte d'une épilepsie rolandique impliquent la région 11p13 [85]. Ce locus chromosomique pourrait donc contenir des gènes impliqués dans les troubles de la parole, mais aucun gène candidat n'a été identifié à ce jour.

### 6.2. Recommandations de recherche et d'actions

Le cas particulier de la dyspraxie verbale et les récentes études particulièrement prometteuses sur le TDC soulignent donc la nécessité d'études génétiques sur de larges cohortes de patients présentant un TDC [1]. Il sera en particulier important de mener ces analyses génétiques auprès d'enfants présentant un TDC isolé, afin de pouvoir identifier les gènes impliqués spécifiquement dans ce trouble et de les différencier de ceux impliqués dans d'autres troubles comorbides, en particulier le TDA/H. Dans ce contexte, la constitution d'une banque de données de matériel génétique d'enfants porteur d'un TDC et de leur famille représenterait un outil précieux. Ces recherches devraient également bénéficier des progrès constants des techniques d'analyse génétique ainsi que des avancées du séquençage du génome. En particulier, le séquençage de la région d'intérêt sur le chromosome 16 pourra permettre d'identifier des gènes candidats.

## 7.1 Fonctions déficitaires dans le TDC

### 7.1. Fonctions sensori-motrices

Depuis une vingtaine d'année, il existe une littérature internationale abondante sur les troubles sensorimoteurs des enfants TDC, en étroite concertation avec l'évolution des concepts et théories du contrôle moteur. Il ressort de cette masse considérable de données que les déficits incontournables concernent le

contrôle de l'équilibre, les tâches de coordination intersegmentaire et la capacité à intégrer et à répondre les différentes modalités sensorielles. Parmi les faits marquants, il apparaît que la comorbidité est plus la règle que l'exception chez les enfants TDC, avec pour conséquence une accentuation de certains déficits et le débat légitime de la constitution de sous-groupes pour mieux appréhender le TDC.

#### *7.1.1. Contrôle de l'équilibre, coordination et repondération sensorielle : la triade des déficits*

Les déficits qui caractérisent le plus les enfants TDC, dans la littérature, concernent le contrôle de l'équilibre, les tâches de saisie et de coordination, ainsi que la capacité à utiliser et à répondre les différentes modalités sensorielles. Il convient néanmoins de préciser que ces déficits s'expriment principalement dans des situations difficiles telles que l'équilibre dynamique [86], la suppression de la vision [87], des situations de doubles tâches, qui mettent naturellement en jeu des mécanismes d'adaptation rapide [88]. Ces situations complexes visent à prioriser par exemple les informations sensorielles restées disponibles, ainsi que des mécanismes de coordination qui consistent à gérer à la fois le contrôle postural et la précision du geste ou bien à gérer deux composantes motrices complémentaires comme les forces de saisie et de soulèvement lors de la prise d'un objet. Plusieurs études rapportent un déficit de l'organisation sensorielle du contrôle de l'équilibre en situation difficile avec une moins bonne utilisation des informations vestibulaires [89] et proprioceptives [90] au profit des informations visuelles [91]. Il est possible, toutefois, d'améliorer l'utilisation de la modalité proprioceptive au profit de l'équilibre, soit par un entraînement somatosensoriel spécifique, tel que le programme d'entraînement de mouvement fonctionnel autour de l'équilibre (FMT), à raison de deux séances par semaine pendant trois mois [92], soit par un contact léger du doigt [93].

Parmi les faits marquants, il apparaît que la variabilité et le ralentissement sont étroitement associés aux performances motrices des enfants présentant un TDC. En effet, une majorité de travaux rapporte une variabilité intra et interindividuelle excessive qui interroge les chercheurs sur la nature de ce mécanisme aussi bien au niveau de l'expression des mouvements et des gestes qu'au niveau des bases neurales et génétiques [94, 95]. De façon corollaire, un déficit du réglage temporel, marqué par un ralentissement, qui affecte aussi bien le contrôle de l'équilibre que la coordination des activations musculaires, est fréquemment rapporté [96, 97].

#### *7.1.2 Le couplage perception-action semble altéré*

En fait, plus qu'un trouble moteur ou sensoriel isolé, il semblerait que le trouble premier des enfants présentant un TDC se situe au niveau du couplage perception-action. De nombreuses études ont apporté, en effet, des preuves expérimentales d'un déficit du couplage perception-action et d'un manque d'adaptabilité lors des situations de transition et /ou de complexification de la tâche, chez les enfants présentant un TDC [98, 99]. Le jugement de vitesse d'approche de véhicules est également altéré, ce qui peut avoir des incidences pour les jeunes piétons qui apprennent à traverser [100].

Or le couplage perception-action précoce, sous-tendu par le système miroir, constitue le socle des représentations sensorimotrices [101]. Récemment découvert chez le singe et chez l'homme, le système des neurones miroir présente la caractéristique d'être activé aussi bien quand le sujet exécute une action, que quand il voit la même action exécutée par un tiers [102]. Des études récentes apportent la preuve que le système miroir est fonctionnel dès la naissance, en dépit d'une maturation tardive [103]. Dans le même esprit, l'imitation néonatale et plus généralement l'imitation de gestes repose également sur les mêmes mécanismes de couplage perception-action et de système miroir [104]. Un déficit des capacités imitatives des enfants présentant un TDC, suspecté assez tôt, a été confirmé dans des études récentes proposant de nouvelles séquences gestuelles à imiter [105], ce qui est cohérent avec les déficits d'imitation de gestes fonctionnels antérieurement rapportés chez ces enfants [106, 107]. Ainsi ces déficits dans les capacités à imiter et à observer pourraient considérablement entraver l'apprentissage moteur chez les enfants présentant un TDC, en impactant la construction des représentations.

#### *7.1.3. Modèle explicatif d'un déficit des représentations sensorimotrices*

Les tendances actuelles consistent à concevoir le TDC à partir d'un déficit des modèles internes, qui impacterait en cascade le contrôle prédictif, surtout *on-line*, et les apprentissages. Formulé depuis une quinzaine d'années [108] et étayé par des revues de questions régulières [109-112], ce modèle explicatif présente l'avantage majeur d'introduire de la cohérence dans une abondante liste de déficits et constitue à l'heure actuelle une des pistes les plus heuristiques pour comprendre le TDC [2]. Cette hypothèse suggère que le TDC repose sur un déficit fondamental à utiliser de façon efficace les modèles internes sensorimoteurs [113-115], eux-mêmes impactés par un couplage perception-action non optimum. Comme le système

sensorimoteur subit de nombreux changements au cours de la vie (développement, vieillissement, pathologies...), les modèles internes doivent être nécessairement adaptables. Une atteinte des représentations internes compromet significativement les capacités d'anticipation et d'adaptation sensorimotrice des enfants présentant un TDC.

En effet, nos actions sont dirigées vers le futur et leur contrôle est basé sur l'anticipation de ce qui va se produire. La réalisation efficace d'une action implique la prédiction de ses conséquences afin que la perturbation provoquée par l'action ne mette pas en péril l'équilibre de l'ensemble du corps ou encore permette une correction en cours d'exécution [101]. Les difficultés à anticiper que rencontrent les enfants TDC concernent différents aspects. Tout d'abord la coordination posture-mouvement qui permet l'exécution du geste et le maintien de l'équilibre est affectée. Des perturbations des ajustements posturaux anticipés ont été rapportées aussi bien dans des tâches bimanuelles de délestage [114] que dans des tâches impliquant les membres inférieurs telles que frapper dans un ballon, grimper des escaliers ou se tenir en appui unipodal [116]. Ces mêmes déficits temporels d'anticipation ont été rapportés à l'occasion d'évitement d'obstacles survenus de façon inattendue [117]. Le débat actuel autour de l'atteinte du contrôle anticipé en ligne, a le mérite de dissocier différentes composantes de l'anticipation, dont toutes ne seraient pas affectées, et de rapporter, une fois de plus, l'hétérogénéité de la population porteuse d'un TDC [2]. En effet dans l'anticipation on distingue le long terme avec l'utilisation des représentations sensorimotrices anciennement acquises, sollicitées dans l'exécution des gestes volontaires maîtrisés, du court terme avec la réactualisation de ces représentations sensorimotrices qui implique à la fois l'inhibition et la mémoire de travail, nécessaire pour des situations transitoires marquées par un changement. Ainsi le concept des représentations internes ne se cantonne pas aux seuls troubles sensorimoteurs, il concerne nécessairement le développement des fonctions exécutives [2].

La récente prise en compte des troubles associés dans les études chez les enfants présentant un TDC, permet de préciser le déficit des modèles internes [113, 115]. En effet, la capacité à créer des modèles internes serait préservée dans le cas d'un TDC sans trouble associé, ainsi que le contrôle prédictif basé sur du long terme [118]. En revanche, la mise à jour des modèles internes avec une forte contrainte temporelle nécessaire dans le contrôle on-line et dans les adaptations sensorimotrices, serait plus spécifiquement affectée. Même s'il est maintenant clairement admis que la comorbidité est davantage une règle qu'une exception chez les enfants TDC [119], les études ne distinguent pas encore systématiquement les effets de la comorbidité. Dans le futur, cette prise en compte systématique devrait nuancer certains résultats antérieurs et expliquer quelques discordances. Interroger directement la qualité des représentations internes anciennement ou fraîchement élaborées, au cours du développement typique et atypique devient une priorité.

#### *7.1.4. Recommandations de recherche et d'actions*

Il apparaît donc que le courant majoritaire consiste à concevoir le TDC à partir d'un déficit des modèles internes, qui impacterait en cascade le contrôle prédictif, surtout on-line, et les apprentissages. Le concept des représentations internes ne se cantonne pas aux seuls troubles sensorimoteurs, il concerne nécessairement le développement des fonctions exécutives, telles que la mémoire de travail, l'inhibition et la flexibilité. En effet, la mise à jour rapide des représentations internes, nécessaire aux apprentissages implique l'inhibition des représentations caduques et une mémoire de travail efficace [2]. Tout l'intérêt consistera, pour les études futures, à associer plus systématiquement les fonctions exécutives à l'étude des apprentissages sensorimoteurs. A cet égard, un test développemental qui explore la qualité des représentations internes à l'aide des protocoles de simulation mentale prend toute son importance [1,2]. Enfin, il devient indispensable de connaître les marqueurs cérébraux qui distinguent les différents troubles des apprentissages mais aussi ceux qui les rassemblent, notamment à des périodes clés du développement comme l'enfance tardive et le début de l'adolescence [120]. Comprendre les liens qui unissent les fonctions exécutives telles que l'anticipation ou l'apprentissage et le développement des représentations internes, représente un enjeu capital pour comprendre les troubles neurodéveloppementaux et notamment les troubles des apprentissages.

#### *7.2. Fonctions cognitives : perception, fonctions exécutives, attention et mémoire*

L'étude des fonctions cognitives est essentielle dans le TDC qui est un trouble cognitivo-moteur. Les travaux de recherche se sont centrés sur plusieurs fonctions cognitives telles que la perception, les fonctions exécutives, l'attention et la mémoire.

Les travaux sur la perception mettent en évidence un déficit dans les tâches visuo-spatiales [121-123]. Ce déficit augmente si les tâches proposées comportent une composante motrice. On le retrouve dans les tâches

avec ou sans contrainte temporelle. La perception, la complétion et la reconnaissance visuelle des formes est perturbée qu'elles soient statiques ou en mouvement [124-126]. L'exploration visuelle est ralentie [127]. Du côté des fonctions exécutives, leur étude dans le TDC ne montre pas de perturbation globale. Néanmoins, la capacité à inhiber une réponse automatique ou une réponse à un stimulus émotionnel apparaissent déficitaires [128-130]. De plus, au regard du lien probable avec les habiletés scolaires et sociales, et en raison de la fréquence de l'association TDC et TDAH, l'exploration des fonctions exécutives est importante. En ce qui concerne l'attention, la littérature scientifique ne met pas en évidence de déficit généralisé. Néanmoins, il existe une concordance de résultats en faveur d'une perturbation de l'orientation volontaire de l'attention visuo-spatiale [131]. Les enfants porteurs de TDC ont des difficultés à orienter leur attention vers un stimulus à venir de façon intentionnelle en réponse à un indice endogène (par exemple, une flèche pointant la localisation du futur stimulus). En revanche, ils peuvent le faire de façon automatique, en réponse à un indice exogène (par exemple, un point qui capte l'attention au niveau de la localisation du futur stimulus). Plusieurs mécanismes ont été proposés : une perturbation du contrôle des mouvements oculaires, un déficit du contrôle volontaire de l'orientation de l'attention, ou une difficulté de désengagement de l'attention. Les études portant sur les autres composantes attentionnelles sont trop peu nombreuses pour pouvoir porter des conclusions définitives. Enfin un déficit de la mémoire de travail visuo-spatiale est rapporté de façon concordante dans la littérature [132, 133]. Les enfants porteurs de TDC qui présentent un déficit de la mémoire de travail visuo-spatiale pourraient être plus souvent en échec scolaire que ceux qui n'en présentent pas [132]. Il est à noter que très peu de travaux se sont directement intéressés aux mécanismes cognitifs qui sous-tendent les difficultés scolaires rencontrées par les enfants porteurs de TDC alors même qu'elles sont une cause majeure de consultations. Néanmoins, Gomez et collaborateurs [134-136] en étudiant les compétences numériques dans le TDC, ont mis en évidence une imprécision du sens du nombre, des capacités de comptage, d'estimation des quantités et de calcul de base tout en montrant une préservation de la compréhension des concepts mathématiques.

### *7.2.1. Recommandations de recherche et d'actions*

Les travaux de recherche sur les fonctions cognitives mettent en évidence des tableaux hétérogènes, certaines fonctions cognitives étant perturbées, d'autres préservées et ceci pouvant résulter de comorbidités non identifiées. Le constat de biais méthodologiques exposés au début de cet article est à prendre en compte dans ces études sur les fonctions cognitives qui mériteraient d'être plus systématiquement évaluées et dont les résultats sont donc à interpréter avec prudence [1].

En raison de cette hétérogénéité, le groupe d'experts recommande une évaluation approfondie des fonctions cognitives pour les profils les plus complexes.

## **8. Le trouble de l'écriture manuscrite et TDC**

L'écriture manuscrite est un acquis essentiel encore aujourd'hui, à la base de nombreuses productions scolaires et professionnelles [137]. A l'école, elle représente 30 à 60 % des activités quotidiennes des enfants [138]. L'acquisition de l'écriture nécessite la maîtrise et la coordination d'habiletés cognitives, perceptives, attentionnelles et linguistiques, et plusieurs années d'apprentissage et d'entraînements sont donc nécessaires afin de maîtriser totalement cette activité [137]. L'automatisation du geste d'écriture est essentielle pour libérer des ressources attentionnelles, qui pourront alors être utilisées pour d'autres activités de plus haut niveau (orthographe, syntaxe, composition, etc.). Les trois critères définissant une écriture fonctionnelle sont la lisibilité, la vitesse et automatisation suffisante en fonction de l'âge et du niveau scolaire.

### *8.1. Les troubles de l'écriture ou dysgraphies*

L'écriture est l'une des compétences motrices fines qui pose le plus de problème aux enfants porteurs d'un TDC, et la seconde cause de consultation de ces enfants [139]. Les troubles de l'écriture manuscrite, qui sont regroupés sous le terme de « dysgraphies », sont observés dans différents contextes pathologiques, les principaux étant les troubles sensori-moteurs, le TDC, le TDA/H, et la dyslexie [140, 141]. Étant donné l'importance de l'écriture manuscrite dans la réussite scolaire de l'enfant et sa qualité de vie, le diagnostic et la prise en charge précoces des dysgraphies sont donc essentiels. Deux ans de pratique de l'écriture cursive, soit aux environs de 7 ans (CE1), sont nécessaires afin qu'un diagnostic soit envisageable. Le test le plus utilisé pour le diagnostic de la dysgraphie à l'heure actuelle en France est le test du BHK [142, 143]. Cette

échelle d'évaluation repose sur une analyse du produit fini d'écriture, après copie d'un texte pendant 5 minutes. Le diagnostic de dysgraphie repose sur l'évaluation de critères qualitatifs (forme et taille des lettres, organisation spatiale, etc.) et quantitatifs (nombre de caractères copiés en 5 minutes).

### *8.2. Caractéristiques des troubles de l'écriture chez l'enfant TDC*

La proportion d'enfants porteurs d'un TDC présentant une dysgraphie associée varie de 50 à 88 % selon les auteurs [9, 144, 145]. Les déficits en écriture observés chez les enfants présentant un TDC sont très hétérogènes, avec d'importantes variations inter- et intra-individuelles en fonction de la tâche ou des contraintes imposées [145-149]. Les difficultés d'écriture des enfants dyspraxiques concernent non seulement la qualité du produit final (lisibilité, erreurs) mais également le processus d'écriture [145, 150]. Les enfants porteurs d'un TDC présentent une écriture lente, peu lisible, et ont des difficultés à adapter la vitesse de leur stylo à la difficulté de la tâche ou à des contraintes imposées [140, 145, 150-152]. Leurs lettres sont irrégulières et déformées, de grande taille, et l'agencement de leur écriture dans l'espace de la feuille est souvent chaotique [145, 153, 154]. Ils ont en outre du mal à suivre les lignes et à respecter les hauteurs relatives des lettres et des portions de lettres, et ils font davantage de pauses pendant l'écriture [150-152].

### *8.3. Mécanismes sous-jacents aux troubles d'écriture chez les enfants porteurs d'un TDC*

Plusieurs hypothèses non exclusives expliquant les mécanismes sous-jacents aux dysgraphies chez les enfants porteurs d'un TDC ont été proposées : (i) étant donné que ces enfants présentent des difficultés pour automatiser les compétences motrices, les difficultés d'écriture pourraient être liées à un défaut d'apprentissage moteur [145, 155]; (ii) elles pourraient être liées à un problème d'anticipation et/ou d'automatisation des séquences de mouvements nécessaires à la réalisation de la tâche [149, 150, 154, 156, 157]; (iii) les troubles observés peuvent également être directement liés au déficit de la motricité fine, plus spécifiquement la capacité à contrôler les mouvements et la coordination intersegmentaire des doigts [151, 158, 159], voire liés à un trouble de l'organisation intersegmentaire non synergique du membre supérieur en fonction de l'âge [160, 161] et/ou à la coordination entre la perception visuelle et la motricité des doigts de la main [155, 162-167]. Plus récemment [168], une investigation multidimensionnelle des fonctions cérébrales pointe l'importance d'investiguer les fonctions cognitives attentionnelles et perceptivo-motrices visuelles, ainsi que les facteurs psycho-affectifs (anxiété, faible énergie, pessimisme...).

### *8.4. Remédiation de l'écriture*

Les enfants présentant un TDC ont généralement des déficits dans les deux facteurs nécessaires à une écriture fonctionnelle : vitesse et lisibilité [141, 169, 170]. Il est indispensable de mettre en place une remédiation, car les troubles de l'écriture ne peuvent disparaître sans intervention.

Plusieurs études ont clairement montré l'efficacité de la remédiation de l'écriture sur cette compétence chez les enfants porteurs d'un TDC, avec maintien des bénéfices à long terme pour certaines [151, 171-175]. La thérapie s'organise autour de l'enfant en lien avec les parents et les enseignants qui ont un rôle à jouer dans l'accompagnement et la généralisation des acquis. Le but de la remédiation est de permettre à l'enfant de retrouver une écriture fonctionnelle en classe, c'est-à-dire une lisibilité et une vitesse suffisantes sans surcharge cognitive, afin de lui permettre d'accéder avec succès aux autres activités scolaires. L'écriture de l'enfant doit être systématiquement évaluée avant et après remédiation (pas plus d'une année), afin de valider son efficacité et d'en décider l'arrêt ou la poursuite. La balance bénéfice/coût cognitif est primordiale pour la prise de cette décision qui doit cependant tenir compte d'éventuels troubles associés, souvent trop peu investigués (neurovisuels, perceptifs visuels, neuromoteur ...etc) [9, 161, 168].

#### *8.4.1. Les approches thérapeutiques utilisées en remédiation de l'écriture*

On distingue classiquement deux types d'intervention : les thérapies orientées sur le déficit, qui visent à restaurer les fonctions altérées, et celles orientées sur la performance, qui cherchent à accroître l'activité et la participation de l'enfant, en utilisant des interactions constantes entre le sujet, l'environnement et l'activité travaillée [173, 176]. Les thérapies portant uniquement sur le déficit sont peu bénéfiques [172], de même que les approches sensori-motrices globales, pourtant encore largement utilisées aujourd'hui [177, 178]. En revanche, les méthodes orientées sur la performance montrent une efficacité nettement supérieure [172, 179, 180]. Parmi ces approches, on distingue celles centrées sur la tâche, qui ciblent directement l'apprentissage d'habiletés motrices spécifiques comme l'écriture, et les thérapies métacognitives qui utilisent une

méthodologie dans lesquelles l'enfant est incité à réfléchir avec le praticien à la nature des difficultés rencontrées et à rechercher des solutions pour y faire face.

Concernant la remédiation de l'écriture, les approches centrées sur la tâche semblent les plus efficaces. A ce jour, seules quelques méthodes de remédiation de la dysgraphie ont été validées scientifiquement sur un nombre suffisant d'enfants dyspraxiques [151, 171, 173-175] mais il n'existe pas de méthode générique consensuelle pour la rééducation de la dysgraphie [141]. La combinaison de plusieurs approches agissant sur différentes composantes (sensori-motrices, visuo-spatiales, cognitives, etc.) semble cependant intéressante.

#### *8.4.2. Facteurs à prendre en compte pour la mise en place d'une remédiation de l'écriture*

La mise en place d'une remédiation nécessite l'évaluation d'un certain nombre de facteurs par le praticien [163, 181] : (i) des facteurs endogènes, propres aux capacités de l'enfant (nature des déficits moteurs ou sensorimoteurs, intégration visuomotrice), et (ii) des facteurs exogènes, liés à l'environnement de l'enfant (style d'écriture, quantité de pratique, tenue du stylo, papier utilisé, etc.) [141, 182]. L'utilisation de lignes de couleur par exemple est préconisée, en particulier chez l'enfant dyspraxique présentant des troubles neuro-visuels.

Le choix de la méthode de rééducation de l'écriture devra également prendre en compte le stade d'acquisition de l'écriture de l'enfant (phase de préapprentissage, phase de maîtrise de l'écriture) [143, 182]. Enfin, l'évaluation de la dextérité manuelle et de l'intégration visuomotrice est importante avant toute remédiation, et une rééducation ciblant spécifiquement chacune de ces capacités pourra être envisagée en cas de difficultés [182].

#### *8.4.3. Facteurs contribuant à l'efficacité d'une remédiation*

La remédiation de l'écriture apparaît clairement bénéfique pour les enfants présentant un TDC [151, 171-175]. L'amélioration de la lisibilité est le premier effet observé, l'augmentation de la vitesse d'écriture apparaissant plus tard car elle nécessite davantage de séances de pratique [172]. Bien qu'il n'existe pas à ce jour de méthode consensuelle pour la rééducation de la dysgraphie, il ressort de l'expertise collective [1] sur le peu de littérature et avec des études qui mériteraient à être répliquées avec des évaluations multidimensionnelles, un certain nombre de facteurs qui peuvent contribuer à l'efficacité d'une rééducation : (i) elle doit inclure des exercices d'écriture [181, 183-185] ; (ii) sa durée est un facteur essentiel de réussite. Ainsi, un minimum de 20 séances est nécessaire pour qu'une méthode soit efficace [172, 185]. En outre, certains auteurs préconisent un minimum de 2 séances d'au moins 20 minutes chacune par semaine [172]. Des séances plus courtes mais régulières sont nettement préférables à des séances trop longues (20 minutes maximum, plusieurs fois par semaine) [185].

L'âge du début de l'intervention est également déterminant dans sa réussite. La remédiation sera plus difficile chez un enfant diagnostiqué tardivement, et qui aura donc mis en place une stratégie compensatoire impliquant des patrons moteurs et des boucles de contrôle qu'il sera plus difficile de remplacer. Enfin, d'autres facteurs supplémentaires de réussite de la remédiation importants sont l'implication de la famille et des enseignants, en particulier dans le contexte de l'école primaire [186]. En premier lieu, la réduction des exigences scolaires concernant l'écrit pour les élèves dyspraxiques est une priorité. Les aménagements scolaires incluent en outre l'aménagement des supports pédagogiques, l'aménagement du matériel, l'utilisation préférentielle des fonctions préservées telles que le langage, l'utilisation de l'ordinateur et de logiciels spécialisés (dictée vocale, géométrie), la présence d'une auxiliaire de vie scolaire (AVS) individuelle, etc. [169, 187].

#### *8.5. Outils de compensation de l'écriture manuscrite*

En parallèle ou à l'issue de la remédiation de l'écriture, des outils de compensation de l'écriture manuscrite peuvent être proposés aux enfants. Une étude canadienne de 2004 montre que 93 % des ergothérapeutes interrogés préconisent l'usage du clavier pour ces enfants et 72 % préconisent la dictée (*via* un(e) secrétaire, un dictaphone ou l'utilisation d'un logiciel de dictée vocale) [187, 188]. La très grande majorité des ergothérapeutes (89 %) recommande de combiner ces différents types de moyens de compensation pour un même enfant. L'ensemble des auteurs [187, 189-191] s'accorde pour considérer que les apports de l'ordinateur sont (i) une amélioration de la lisibilité de la trace écrite ; (ii) une amélioration de la vitesse ; (iii) une diminution du coût cognitif. Plusieurs auteurs suggèrent ainsi d'évaluer la capacité de l'enfant à suivre le rythme de la classe, la dégradation de l'écriture au cours de la journée, les douleurs, la réduction volontaire de la quantité produite, la gêne qui apparaît uniquement à l'écrit dès que les concepts se complexifient, ainsi

que les compétences spatiales, visuelles, visuo-attentionnelles et praxiques de l'enfant. Enfin, la mise en place d'un ordinateur nécessite d'évaluer précisément le contexte scolaire et familial dans lequel l'enfant évolue (ensemble des aménagements mis en place en classe et à la maison). Enfin, un apprentissage spécifique est nécessaire de la frappe au clavier et de l'utilisation des logiciels dédiés (géométrie, dictionnaires numériques, traitements de textes avec des fonctionnalités particulières).

#### *8.6. Recommandations d'actions et de recherche par rapport aux troubles de l'écriture*

Outre la formation des enseignants, la mise en place des aménagements nécessaires par les enseignants et l'institution scolaire sont une priorité afin de permettre l'école inclusive. Des dispositifs de soutien doivent ainsi être mis en place : personnes ressources, développement et propositions d'outils concrets pour accompagner les élèves, etc.

Il apparaît essentiel [1] de caractériser finement les troubles de l'écriture chez les enfants porteurs d'un TDC, dans la mesure où leurs répercussions sur la scolarité peuvent être considérables et qu'une évaluation objective est indispensable à la mise en place d'une remédiation efficace. Des études récentes [192, 193] viennent d'une part apporter des normes développementales concernant la gestualité et les paramètres spatio-temporels et cinématiques, d'autre part elles soulignent la complexité de l'étiologie et des troubles associés [168]. Concernant la remédiation, la littérature [1] n'apporte pas un niveau de preuve élevé à ce jour, notamment en France. Des recherches complémentaires s'avèrent donc nécessaires afin de tester différentes méthodes de remédiation prenant en compte les déficits spécifiques à chaque enfant, en particulier ses difficultés motrices. En outre, les articulations entre la remédiation de l'écriture et la mise en place d'aménagements scolaires nécessaires devront toujours être prise en compte afin de ne pas entraîner de surcharge cognitive et motrice pour l'enfant.

### **9. Impact du trouble sur les activités, la participation et la qualité de vie**

L'impact du trouble sur les activités, la participation et la qualité de vie (tels que définis par l'OMS avec la classification internationale du fonctionnement (CIF) [194] est un concept-clé pour comprendre et évaluer le handicap dont souffrent ces sujets. C'est aussi un critère fondamental pour juger de l'intérêt et de l'efficacité des propositions thérapeutiques.

Or, paradoxalement, concernant un domaine aussi crucial, on constate que

- beaucoup d'auteurs s'exonèrent de ce critère lors du recrutement d'enfants TDC ou « probablement TDC » (M-ABC au seuil du 15<sup>ème</sup> ou 16<sup>ème</sup> percentile) [10, 11] lors de la constitution de cohortes, à savoir le critère B du DSM-5 [6], pourtant partie intégrante des critères diagnostiques : « Le déficit en habiletés motrices (critère A) interfère de façon significative et persistante avec les activités de la vie courante appropriées à l'âge chronologique (par exemple, soins et entretien de soi) et a des conséquences sur la réussite scolaire, les activités préprofessionnelles et professionnelles, les loisirs et les jeux » ;

- aucune étude française ne figure dans le corpus des 1400 publications retenues !

Plusieurs études [195, 196] montrent pourtant que dès 4 ans les enfants sont conscients de leurs difficultés tant à la maison qu'à l'école. Repérer et prendre en compte précocement ce qu'ils vivent très tôt comme un handicap est donc un enjeu important pour préserver leur confiance en eux et leur estime d'eux-mêmes.

#### *9.1. Impact dans la vie quotidienne*

##### *9.1.1. Activités de la vie quotidienne*

Toutes les publications [197-199] convergent pour souligner les difficultés dans les activités journalières : se brosser les dents, se coiffer, couper sa viande, se servir à boire, se moucher, se laver les mains, s'habiller, faire ses lacets, etc. Il est à noter que la très grande hétérogénéité des populations considérées (liées au recrutement et au mode de constitutions des cohortes) est attestée par le fait que certains enfants ne présentent des difficultés que dans certaines activités alors que d'autres sont gênés dans toutes les activités [200, 201].

Cependant, ces troubles sont si fréquents, si précoces et si handicapants que certains proposent [202-204] que la participation aux activités de la vie quotidienne soit utilisée comme un outil de repérage précoce (dès 5-6 ans) des TDC/dyspraxies, montrant que les épreuves écologiques du DCDDaily-Q 5-8 ans (couper du pain, se servir à boire, ouvrir une boîte, ...) [204] seraient un excellent prédicteur de TDC.

### 9.1.2. Les répercussions dans la vie familiale sont importantes

Les parents signalent une qualité de vie dégradée, comparée à un groupe contrôle [205]. Ils consacrent beaucoup plus de temps à l'enfant avec TDC/dyspraxie qu'à ses frères et sœurs. Ils insistent sur la lenteur, mal repérée dans les questionnaires, pourtant source de conflits répétés et de difficultés multiples. Ils développent des stratégies pour faciliter le quotidien : ils aident fréquemment l'enfant – lors de l'habillage ou des repas – pour limiter les conflits et les retards et préserver la vie de famille [201], Wang et coll. [206] notent un score d'anxiété très significatif chez les parents d'enfants avec TDC.

Ces conséquences familiales délétères, souvent négligées ou sous-estimées, sont pourtant plus importantes que pour les enfants souffrant d'un autre trouble « dys » [199].

### 9.2 Impact dans les apprentissages scolaires

La plupart des publications parlent de « retard » sans en préciser ni les causes ni la nature. Par ailleurs le TDC étant considéré comme un trouble strictement « moteur », diagnostiqué à partir des critères du DSM et de faibles scores au M-ABC, on constate que :

- les troubles visuo-spatiaux ne sont jamais investigués (uniquement dans une seule publication, évoquant la conduite automobile), et sont considérés comme des troubles associés; pourtant différents travaux en ont montré l'extrême fréquence dans cette population [8, 9, 22, 207] ; cela implique que les difficultés scolaires en lien avec les troubles visuo-spatiaux (dyslexie/dysorthographe visuelle, dyscalculie spatiale) sont soit méconnues (c'est le cas le plus fréquent), soit considérées comme des comorbidités ;

- les déficits attentionnels (TDA/H) et exécutifs, responsables eux aussi de maladresse gestuelle et de faibles scores au M-ABC [10, 11], ne sont pas explicitement exclus de ces cohortes (alors que l'exclusion des enfants présentant déficience intellectuelle et/ou troubles psychiatriques est précisée dans les études) ; aussi, lorsqu'il est parfois noté au fil des publications la présence de « troubles de l'organisation », sans autre précision, il est impossible de savoir s'il s'agit de troubles de l'organisation spatiale (possiblement liés au TDC) ou de la planification (déficit sur le versant attentionnel et exécutif) ;

- enfin, à l'inverse, certains auteurs signalent avoir écarté de leur étude les jeunes présentant des troubles des apprentissages (« learning disabilities »), considérés comme des comorbidités à exclure... Les difficultés que rencontrent ces enfants en situation d'apprentissage – dont on sait pourtant qu'ils sollicitent énormément les fonctions practo-spatiales [208] sont donc méconnues, alors même qu'elles sont au premier plan des motifs de consultation en pratique clinique [209].

Cette méthodologie contestable a comme conséquence de limiter la manifestation de difficultés scolaires de ces jeunes aux seuls troubles du graphisme. Ces derniers sont d'ailleurs la préoccupation principale des parents. C'est également le souci premier de près de 80 % des enseignants [196]. Il faut aussi noter que, sur le plan culturel, fondamental pour évaluer le handicap, nous avons en France cette particularité d'accorder une importance beaucoup plus grande à l'écriture cursive que nombre d'autres pays, avec des exigences plus précoces dès 6-7 ans, ce qui aggrave notablement le handicap lié à la dysgraphie au regard des publications étudiées, tout en sachant que l'étiologie de la dysgraphie et sa définition sont aux balbutiements [168], et que le trouble graphique n'est pas spécifique au TDC.

Enfin, la moindre participation et la moindre efficacité dans les activités sportives est toujours liée, dans les publications étudiées, au contexte scolaire [210] : il s'agit en effet d'écoles de culture anglo-saxonne (publications issues du Canada, d'Israël, d'Australie, des USA, etc.) dans lesquelles le sport occupe une place très importante, à la fois dans le cursus scolaire et dans les relations amicales et sociales, ce qui est beaucoup moins le cas en France.

Quoi qu'il en soit, la qualité de vie à l'école est particulièrement dégradée, et ce dès l'école maternelle, ce qui est très habituellement sous-estimé par les parents [211]. A tous âges, ces jeunes sont souvent isolés lors des récréations, sujets à des moqueries, plus ou moins rejetés du groupe et les garçons sont moins bien intégrés dans les jeux d'équipe (foot). Tous préfèrent les jeux statiques, les jeux sociaux, de règle et d'imagination [212]. Cependant la plupart des études portent sur des garçons, et puisque l'isolement social est lié à leurs médiocres capacités motrices, on peut supposer que l'intégration sociale des filles (qui pratiquent moins de jeux moteurs) devrait être de meilleure qualité [212].

Il est à noter que cet isolement et cette moindre opportunité de relations amicales sont indépendants de l'intensité du trouble [213, 214].

### *9.3. Impact dans les relations sociales et les loisirs et l'estime de soi*

Les adultes (parents et enseignants), plus focalisés sur les difficultés motrices et graphiques, minimisent habituellement les problèmes concernant les jeux et les loisirs [196]. Globalement, comme on peut s'y attendre, ces jeunes, lors des week-end et vacances, pratiquent moins d'activités physiques et de sports que leurs pairs. Pourtant, certaines activités (faire du vélo, jouer au foot) sont particulièrement investies et source d'une grande frustration. Ils ressentent un piètre sentiment de compétence et ont beaucoup de retours négatifs (échecs, critiques, moqueries), ce qui contribue à restreindre leurs contacts amicaux et minent leur confiance en eux [215]. De leur côté les parents évitent de leur proposer des activités sportives ou manuelles pour limiter insatisfactions, échecs et situations de compétition négatives avec la fratrie ou les pairs.

Ces enfants passent significativement plus de temps que leurs pairs à des loisirs « non physiques » (club de sciences, chorale, théâtre, lecture, shopping, etc.). Engel-Yeger [216] montre qu'ils font alors l'expérience positive de leurs compétences tandis que Smith et Anderson [212] remarquent que cela favorise leur intégration sociale.

De même, à l'âge adulte, alors qu'ils sont libres de développer des stratégies alternatives leur permettant de contourner leurs troubles, les jeunes estiment que leur qualité de vie s'améliore : ils peuvent utiliser leur ordinateur en fac, n'ont plus d'obligation d'activités sportives et peuvent choisir librement leurs loisirs.

[A noter : aucune publication n'aborde leur avenir professionnel et le domaine de l'emploi...]

### *9.4. Recommandations de recherche et d'actions*

Ces études plaident pour une utilisation plus systématique de questionnaires validés (en particulier le DCDQ [36], le DCDdaily questionnaire [204] et le MABC2 questionnaire [24] qu'il s'agisse du repérage du trouble et surtout de l'évaluation du handicap. Ils sont également un élément indispensable pour juger des effets des remédiations et adaptations/compensations mises en place.

Les études menées à l'étranger peuvent déjà nous guider dans la prise en charge de ces jeunes et les orientations à privilégier pour favoriser la participation sociale, la qualité de vie et l'estime de soi : mettre à jour et valoriser les forces du sujet améliore la qualité de vie, comme le montrent clairement les capacités de résilience de certains à l'adolescence et l'âge adulte.

## **10. Du repérage au diagnostic : le parcours de soin de la personne avec TDC**

### *10.1. Le repérage des signes d'appels est un enjeu pour la mise en place d'un suivi et une prise en charge plus rapide des enfants*

Repérer des signes d'appel est la première étape de la démarche diagnostique. Le repérage concerne les enfants « tout-venant ». Il permet la mise en place d'un suivi et d'un accompagnement. La prise en charge pourra être plus rapide, ce qui peut permettre de réduire les pertes de chance pour les enfants présentant un TDC et limiter le développement de troubles secondaires.

Ce repérage repose sur l'observation faite par des professionnels ou des non-professionnels (personne concernée par le trouble, enfant, adolescent ou même plus tard, à l'âge adulte, entourage familial, proches, amis...) de difficultés dans le domaine de la motricité quotidienne sans avoir recours à l'utilisation d'un questionnaire ou d'un test. Cependant ce repérage suppose que l'observateur ait des connaissances normées sur le développement moteur [217, 218] et les âges clés auxquels se référer pour repérer des signes d'appels [1].

Le critère A du DSM-5 [6] détaille certains de ces signes d'appel comme la maladresse, la lenteur et l'imprécision dans la réalisation des tâches motrices (par exemple, attraper un objet, utiliser des ciseaux ou des couverts, écrire à la main, conduire un vélo ou faire du sport). Ces signes d'appel peuvent être aussi des retards marqués dans le développement de la motricité (par exemple, s'asseoir, ramper, marcher). Cependant, ils ne sont pas significativement liés au TDC [8, 9].

Comme cela est mentionné par le critère B du DSM [6], les signes d'appel doivent impérativement interférer avec la vie quotidienne ou scolaire, sociale ou de loisirs de façon à constituer une plainte de la part de la personne elle-même ou de son entourage. Il est important à cette étape de prendre des informations issues de l'anamnèse et si possible auprès de plusieurs acteurs autour de l'enfant (parents, enseignants...) pour savoir si la ou les difficultés se retrouvent dans plusieurs situations et préciser lesquelles. De plus, les signes doivent avoir débuté précocement selon le Critère C du DSM-5 [6].

### *10.2. Impacts sur les activités et la participation*

Le TDC a des impacts importants et hétérogènes sur les activités et la participation. L'évaluation de ces impacts fait partie de la démarche diagnostique. Il convient de les caractériser afin de préciser le diagnostic et d'orienter la prise en charge de manière pertinente.

La personne (et/ou ses parents si l'enfant n'est pas en mesure de répondre de manière adéquate) doit être interrogée sur ces aspects au cours de l'anamnèse et au travers de questionnaires validés. Ces questionnaires sont destinés à la personne elle-même, à leurs parents, à leurs enseignants ou encore à des professionnels de santé. Les questionnaires les plus utilisés dans la littérature internationale sont le Little DCD-Q (3 - 4 ans 11 mois) [219] et le Developmental Coordination Disorder Questionnaire (DCDQ, 5 ans -15ans 11 mois) [220] complétés par les parents, le DCDDaily Questionnaire (5 à 8ans) [204] complété par un professionnel de santé, et le MABC2-Questionnaire (5 -12ans) [11, 24] complété par les enseignants et parents. Cependant ces questionnaires n'évaluent pas les mêmes activités et par conséquent ne peuvent identifier les mêmes enfants. Ils renseignent sur des aspects différents des activités et de la participation. Ces questionnaires ne sont pas spécifiques du TDC. Une récente adaptation francophone européenne du DCDQ est le DCDQ-FE [39] montre une bonne validité de convergence avec le questionnaire du M-ABC- 2 [11].

Cette étape, faisant émerger la plainte, représente le déclencheur de la démarche diagnostique. Il apparaît important, à ce stade, de ne pas banaliser les difficultés observées, tout en les confrontant à l'âge de l'enfant.

### *10.3. Le diagnostic du TDC repose sur un diagnostic différentiel*

Le diagnostic du TDC repose sur un diagnostic différentiel ou d'élimination (critère D du DSM-5) [6], permettant d'écarter toute autre cause pathologique pouvant, à elle seule, expliquer le retard du développement moteur ou un déficit moteur avéré. A savoir, un trouble de la commande motrice (spasticité), même discret (hypertonie distale) ne peut pas définir le TDC et cela nécessite donc de l'identifier par un examen clinique neurologique au niveau du tonus et des réflexes (inclus dans la batterie NP-MOT) [23]. La présence de ce trouble de la commande motrice volontaire (concernant le faisceau pyramidal) est associée à une augmentation significative des troubles de la dextérité et de la coordination globale et à des dysdiadococinésies (incapacité de réaliser rapidement des mouvements alternatifs comme la pronosupination du poignet) [12].

Des examens complémentaires neuropédiatriques tels qu'une IRM cérébrale et/ou médullaire, un électroencéphalogramme (EEG), un électromyogramme (EMG), des examens biologiques, un dosage des créatines phosphokinases (CPK), une recherche de cause génétique et/ou métabolique pourront être demandés par exemple en cas d'antécédents de traumatisme crânien, de strabisme, de céphalées, d'anomalies du tonus, d'une asymétrie de la force musculaire, etc. La présence de l'un de ces signes pourra orienter vers d'autres pathologies que le TDC, de même en cas de trouble vestibulaire.

Par ailleurs, il est précisé dans le critère D du DSM-5 [6] que la présence de troubles visuels est compatible avec le diagnostic de TDC si ces troubles visuels ne peuvent à eux seuls expliquer le trouble de la coordination motrice. Le trouble perceptif visuel doit aussi être écarté comme relaté plus haut.

### *10.4. Le diagnostic se base sur les critères du DSM-5 mais pas seulement*

Le diagnostic de TDC s'appuie dans un premier temps sur des évaluations permettant de répondre aux critères du DSM-5 [6].

Toute maladresse ou tout retard graphique repéré ne correspond pas forcément à un TDC. L'approche diagnostique permettra de préciser si ces signes traduisent un TDC, et dans ce cas si le TDC est associé ou non à d'autres troubles [4] ou s'ils traduisent un autre trouble. L'approche diagnostique doit permettre de distinguer un retard de développement moteur, qui va être rattrapé par l'enfant, d'un TDC. La notion de persistance des difficultés pour l'enfant est donc un argument à prendre en compte par le biais d'une réévaluation.

Le diagnostic du TDC peut être posé dès l'âge de 5 ans. Néanmoins, l'âge du diagnostic peut être avancé à l'âge de 3 ans si l'enfant présente une altération marquée du développement sous réserve de la prise en considération précoce des éléments de contexte, de l'exclusion d'autres causes de retard moteur. Dans ce cas, le diagnostic doit s'appuyer sur les résultats d'au moins deux évaluations menées à un intervalle de temps suffisant (au moins 3 mois) [1].

L'évaluation ne doit pas se limiter aux critères du DSM-5 [6] lorsque les profils des personnes sont complexes, que des signes laissent supposer que d'autres fonctions sont touchées et/ou que d'autres troubles sont associés.

*10.4.1. Le diagnostic comporte une évaluation de la coordination motrice pour laquelle un test normé de la motricité est nécessaire mais pas suffisant*

*10.4.1.1. La coordination motrice doit être évaluée avec un test standardisé et normé*

La coordination motrice doit être évaluée par un psychomotricien ou ergothérapeute (critère A du DSM-5) [6] dès l'entrée dans le diagnostic avec des outils standardisés et normés pour la population correspondante [1]. Toutes les dimensions de la motricité peuvent être touchées, l'ensemble de la motricité (globale et fine) doit donc être exploré.

L'aspect développemental doit être souligné en identifiant le début des symptômes lors « de la période développementale précoce », critère C du DSM-5 [6].

L'analyse de la littérature [1] ne met pas en évidence de gold-standard pour l'évaluation de la motricité. Différents tests moteurs anglo-saxons sont utilisés à l'international, se référer pour plus de détails au rapport Inserm [1]. Deux types de tests sont utilisés en France :

- Tests de coordination motrice de performance globale :

. L'adaptation française de la batterie d'évaluation du mouvement chez l'enfant, 2<sup>ème</sup> version-M-ABC-2 (équilibre dynamique et statique, dextérité).

. L'échelle Lincoln-Oseretsky-LOMBS [221]

- Test évaluant la maturation du développement neuromoteur sous-jacent à la fonction motrice (épreuves identiques quel que soit l'âge):

. Batterie française d'évaluation des fonctions neuro-psychomotrices de l'enfant-NP-MOT ( Tonus passif, réflexes, syncinésies, équilibre dynamique et statique, latéralité gestuelle, usuelle et psychosociale, praxies bi-manuelles et uni-manuelles, gnosopraxies d'imitations de gestes, gnoses tactiles digitales, habileté oculo-manuelle, Intégration de l'orientation spatiale du corps, adaptation aux rythmes, attention sélective soutenue)[23].

Les tests neuromoteurs offrent une perspective développementale intéressante, étant plus proches de la maturation motrice. Les items étant évalués de manière quantitative et qualitative, ils révèlent l'organisation maturative en référence à la norme (moyenne, écarts-types, note standard allant de 1 à 5) [1]. Ils permettent par ailleurs, de dépister des signes neurologiques « mineurs ».

Les tests de coordination motrice globale (M-ABC [10] et la M-ABC-2 [11]) ont été étudiés plus largement dans le cadre de la recherche car celle-ci est essentiellement anglo-saxonne avec une visée d'évaluation globale de performance de la motricité (note de dégradation en percentile pour le M-ABC, note standard allant de 1 à 19 et percentile pour le M-ABC-2). Le manque de fidélité test-retest pour les items de maîtrise de balles et l'effet plafond des épreuves d'équilibre ont été soulignés dans la littérature [222]. La M-ABC montre ainsi des limites [42, 223] car elle n'évalue qu'une partie de la motricité. Il est recommandé [1] de considérer autant les sous-scores de la M-ABC-2 [24] que le score aux items dans le cadre de la démarche diagnostique, et avec un seuil au 16<sup>ème</sup> percentile [1]. Par ailleurs, les performances à la M-ABC et la M-ABC-2 peuvent être pénalisées en cas de difficultés à se souvenir d'instructions spécifiques ou de problèmes attentionnels [224] en raison de la double tâche ou de la complexité de la tâche en jeu dans certaines consignes de ce test.

*10.4.1.2 D'autres investigations standardisées et normées doivent compléter le diagnostic et permettre une typologie*

Les experts recommandent [1, 2] de compléter la démarche diagnostique avec d'autres tests mesurant le domaine moteur sous un angle développemental prenant en compte la maturation qualitative et quantitative tel qu'avec la batterie NP-MOT [23] (signes neurologiques mineurs, latéralité, coordinations bi-manuelles, coordinations statique et dynamique, praxies digitales séquentielles, perception tactile digitale (gnoses digitales), gnosopraxies avec l'imitation de gestes des mains et doigts [225]. En effet, des faux négatifs et faux positifs [226] sont possibles avec un test global de performance tel que la M-ABC qui ne tient pas compte de la maturation de l'organisation qualitative et quantitative du mouvement changeant avec l'âge. Par ailleurs, il a été mis en évidence dans certaines études en clusters [8, 9, 15, 21] qui n'utilisent pas seulement un test de coordination motrice, mais aussi des tests d'imitation de gestes, de praxies digitales séquentielles

et desgnosies digitales, un sous-type pur idéomoteur attesté significativement par ces trois items, mais certes, c'est une typologie plus rare (12%) [8, 9].

Finalement, bien que la littérature anglo-saxonne se soit souvent contentée d'utiliser uniquement un test global de la coordination motrice pour identifier le TDC, sans vérifier les critères d'inclusion répondant à tous les critères du DSM, ni en excluant la comorbidité, il n'est pas surprenant que l'aboutissement de l'expertise collective [1] se soit trouvé dans une impasse, à ne pas pouvoir mieux définir un consensus sur la typologie. Seul un groupe commun de déficit global ressort de ces études, touchant l'ensemble des épreuves, ce qui se rapproche du groupe mixte mis en évidence dans l'étude de Vaivre-Douret [8, 9] associant la typologie idéomotrice, visuo-spatiale, visuo-constructive, et des variables spécifiques significatives [4, 227], telles que la coordination globale entre membres supérieurs et inférieurs, la dysdiadococinésie, l'habileté oculo-manuelle. Ainsi, seules des études ayant accomplie une méthodologie rigoureuse et une analyse multivariée avec des évaluations pluridisciplinaires ont permis de mettre en évidence des critères diagnostiques significatifs qui permettent d'identifier au moins trois à quatre typologies du TDC (idéomoteur, visuo-spatial/visuo-constructif, mixte) [8, 9] avec des marqueurs diagnostiques validés [4, 227] avec un taux de prédiction excellent entre 94% et 100% (IC 95 % [0,713-0,999]) [22].

#### *10.4.1.3 Evaluation du domaine perceptif visuo-spatial moteur*

Comme nous avons pu le souligner dans le chapitre sur la typologie, certains auteurs ont pu mettre en évidence un sous-groupe affecté par des troubles d'intégration visuo-motrice et perceptivo-moteur visuo-spatial/visuo-constructif [8, 22, 23, 27-29], typologie bien connue des cliniciens et touchant au moins 44% d'une population TDC tout-venant [8, 9].

Il est regrettable que le DSM-5 [6] ne se contente que d'un test de la coordination motrice alors qu'un geste peut être aussi troublé par un dysfonctionnement moteur visuo-spatial, d'où la nécessité d'investiguer aussi le TDC avec des tests standardisés dans ce domaine [1]. Les épreuves de reproductions de figures géométriques au niveau de l'intégration visuomotrice [162] et la Figure complexe de Rey sur le plan perceptivo-moteur visuo-spatial étant les épreuves les plus significativement en échec dans ce sous-groupe [22], associées à des difficultés significatives relatives aux activités de la vie quotidiennes (AVQ) concernant l'habillement, les loisirs et les jeux avec les activités de puzzles et de constructions sur modèles (lego), et au niveau de la scolarité en mathématiques (poser des opérations et la géométrie) et de l'écriture (dysgraphie). Il apparaît important de ne pas confondre un trouble de la perception visuelle qui inévitablement a un impact sur les habiletés motrices. Les résultats d'études rigoureuses montrent que les enfants présentant un TDC sans trouble associé ne présentent pas de déficit de perception visuelle [8, 9, 22, 228, 229]. Par ailleurs, la présence de déficit de perception visuelle est conditionnée par la présence d'association avec le TDA/H ou le déficit de lecture [169]. Plus les troubles associés sont nombreux, et plus il est retrouvé un déficit perceptif. Il en résulte qu'il est important d'évaluer aussi un déficit de la perception visuelle qui fera partie du diagnostic différentiel.

#### *10.4.1.4. Evaluation de l'écriture manuscrite*

Concernant l'évaluation de l'écriture manuscrite qui est très souvent affectée avec un TDC [9, 144, 145], le test le plus utilisé en France comme cité dans un chapitre plus haut, est le BHK [143] permettant d'analyser la qualité et la vitesse de l'écriture. Cependant, des études récentes soulignent ses limites et encouragent de prendre en considération l'organisation tempo-spatiale et cinématique [192, 193, 230] ainsi que gestuelle [192, 193].

Il est admis que la dysgraphie peut être attestée à partir de 7 ans, soit après environ deux années de pratique de l'écriture manuscrite, bien que des observations puissent déjà être effectuées en maternelle. Ces seuils restent relatifs au regard de l'intensité du trouble [1].

#### *10.5. La prise en compte des troubles associés et de co-occurrences*

La fréquence des troubles associés au TDC et les conséquences de ces associations rendent indispensable leur prise en compte dans l'évaluation diagnostique.

Il est recommandé [1] de rechercher les troubles neurodéveloppementaux associés [1] tels qu'un trouble de la commande motrice (spasticité), un trouble visuel ou perceptif visuel comme évoqué plus haut, ainsi que le TDA/H et les troubles du langage oral et des apprentissages (langage écrit et calcul). Ces troubles ne pouvant pas expliquer à eux seuls le TDC, ils feront partie du diagnostic différentiel.

La co-occurrence de trouble de l'oculomotricité ne doit pas être négligée [8, 9, 231, 232]. Les poursuites douces verticales étant particulièrement affectées [231] alors que la fixation visuelle est normale, et que le trouble de la perception visuelle n'apparaît pas spécifique au TDC [1].

Le groupe mixte mis en évidence dans les études de Vaivre-Douret [8, 9] fait apparaître une certaine comorbidité de troubles associés neuropsychologiques et des troubles neuromoteurs (syncinésies, dysdiadococinésies)

Cela doit permettre de clarifier ce qui relève d'un trouble concomitant ou ce qui est une conséquence du TDC et donc de préciser le diagnostic et de mieux orienter les prises en charge.

#### *10.6 Le diagnostic de TDC est pluridisciplinaire, coordonné, centré sur le patient (et sa famille)*

La démarche diagnostique du TDC apparaît exigeante et pluridisciplinaire. Elle ne peut être portée par un seul professionnel et demande la contribution de plusieurs professionnels de santé qualifiés, en lien avec la famille et les enseignants.

Le besoin de coordination du diagnostic et des professionnels impliqués est recommandé [1]. Peuvent intervenir, chacun dans leurs domaines de compétence, des psychomotriciens, ergothérapeutes, psychologues neuropsychologues, orthophonistes, orthoptistes, neuropédiatres, pédopsychiatres... Ces professionnels ont pour mission de donner des avis explicites afin que la personne en charge de coordonner et de poser le diagnostic, en l'occurrence un médecin coordinateur, ait les éléments nécessaires pour le porter ou pour demander des évaluations supplémentaires, pour orienter la prise en charge et l'accompagnement et pour évaluer la situation de handicap dans la perspective de l'attribution de droits et de compensation.

C'est le médecin généraliste, pédiatre, neuropédiatre, pédopsychiatre, médecin de médecine physique et de réadaptation qui occupe généralement le rôle de coordonnateur et qui établira le diagnostic. Néanmoins, la place de ce professionnel dans le processus peut être discutée dans l'approche du diagnostic au regard des faibles connaissances qu'il peut avoir sur ce trouble. Ainsi, sur le terrain, c'est souvent un praticien paramédical qui contribue au diagnostic (psychomotricien, ergothérapeute), et un psychologue clinicien-neuropsychologue qui effectue le diagnostic.

#### *10.7. Le parcours de santé structuré et gradué en trois niveaux*

Si l'on se réfère au rapport de l'HAS [233], le parcours de santé de l'enfant avec troubles du langage et des apprentissages (dont le TDC) doit être structuré et gradué en trois niveaux, en fonction du degré de complexité de la situation de l'enfant.

En amont, le repérage implique la famille, les professionnels de la petite enfance, l'école et les professionnels de santé.

- Le premier niveau correspond aux situations simples qui peuvent être prises en charge en proximité par le médecin traitant référent et l'ergothérapeute ou le psychomotricien. Le rôle du médecin est central en ce qu'il prend en compte la plainte de la part des parents, de l'enfant et de l'adolescent ou de la part d'un enseignant ou d'un autre professionnel de santé puis pourra procéder à l'anamnèse et à l'examen clinique et participer au diagnostic différentiel. Il adressera ensuite l'enfant ou l'adolescent à un professionnel de la motricité tel qu'un psychomotricien ou un ergothérapeute qui pourra contribuer à établir le diagnostic à l'aide de tests standardisés et normés.

Par la suite, deux situations sont possibles :

i) Le diagnostic de TDC est posé. Le médecin prescrit un traitement de type rééducatif. Un nouveau bilan est réalisé un an à 18 mois plus tard par le psychomotricien ou l'ergothérapeute et une nouvelle évaluation quelques années plus tard.

ii) La plainte relative à des difficultés de coordination ne relève pas du diagnostic de TDC, un suivi particulier est mis en place avec des bilans complémentaires plus spécifiques et des évaluations régulières des percussions dans la vie quotidienne, à l'école et au domicile.

- Le niveau 2 s'adresse aux situations complexes nécessitant une coordination plus importante des professionnels. Il est notamment recommandé en situation de difficulté diagnostique, de présence de troubles associés ou si le trouble résiste à la rééducation. Le médecin de niveau 1 pourra dans ces cas faire

relai avec un médecin plus spécialisé dit de niveau 2 ou un dispositif dit de niveau 2 qui implique des équipes spécialisées pluridisciplinaires validées par l'agence régionale de santé (ARS). Récemment (depuis 2019), il a été mis en place par le gouvernement des plateformes de coordination et d'orientation pour suspicion du trouble du neuro-développement (PCO - TND, [https://handicap.gouv.fr/IMG/pdf/brochure\\_reperage\\_tnd\\_2020.janv.pdf](https://handicap.gouv.fr/IMG/pdf/brochure_reperage_tnd_2020.janv.pdf)) pour orienter les enfants (pour les moins de 7 ans actuellement, moins de 12 ans en cours de mise en place) auprès d'équipes pluridisciplinaires, en vue d'une aide au repérage et au diagnostic précoce, et vers une orientation coordonnée de la prise en charge avec un forfait d'interventions. La prise en charge est soit assurée par un réseau de praticiens libéraux et/ou appartenant à une structure médico-sociale.

- Le niveau 3 concerne les situations les plus complexes relevant de l'expertise des centres de référence des troubles du langage et des apprentissages (CRTL) en milieu hospitalier pédiatrique, chaque fois que le diagnostic reste non posé, ou qu'un doute persiste, et/ou que le traitement est en échec malgré les interventions de niveau 1 et 2.

#### *10.8. Recommandations d'actions et de recherche générales en matière de diagnostic*

Le groupe d'experts [1] recommande de faciliter l'accès, pour tous (si plainte ou repérage) et sur tous les territoires, aux professionnels compétents pour établir un diagnostic en fonction de la plainte et de la complexité des situations, et ceci dans les meilleurs délais. Il s'agit d'une part de faciliter l'accès géographique du patient aux professionnels concernés afin de réduire le temps d'attente pour le diagnostic, et d'autre part en termes financiers car, actuellement en France, les coûts des bilans et consultations nécessaires sont élevés pour les familles dans la mesure où les principaux professionnels formés sur le TDC (ergothérapeutes, psychomotriciens, neuropsychologues) sont non conventionnés et ne sont donc pas remboursés par la sécurité sociale. Ainsi, il est important d'encourager la mise en place des PCO sur tout le territoire pour un diagnostic plus précoce avec une meilleure valorisation financière des professionnels participants pour assurer une qualité diagnostique et une certaine pérennité de ces plateformes. Par ailleurs, il apparaît nécessaire de former les professionnels de santé de premier recours (médecins, pédiatres, psychologues, pédopsychiatres... etc.) sur le développement moteur [1] afin de faciliter le repérage et le dépistage pour empêcher de laisser dévier l'enfant et surajouter des troubles d'ordre psycho-affectifs. Le groupe d'experts recommande [1] donc d'encourager le développement de structures ou d'équipes pluridisciplinaires à visée diagnostique du TDC. Pour les situations très complexes, le groupe d'experts recommande de s'assurer que les centres référents soient composés d'une équipe pluridisciplinaire intégrant des spécialistes de la motricité (afin de pouvoir diagnostiquer le TDC avec des tests normés).

Le groupe d'experts [1] recommande de permettre aux professionnels concernés de réaliser des consultations longues pour les évaluations à visée diagnostique (en fonction de chaque situation, plus ou moins complexe) et notamment de les reconnaître sur un plan de compensation financière. Il s'agit ainsi de permettre à ces professionnels de prendre le temps nécessaire pour établir un tableau de sémiologie clinique précis, prendre en compte les aspects de participation, qualité de vie et la perception du trouble mais aussi pour expliquer et accompagner la personne porteuse de TDC et ses proches. Par ailleurs, le groupe d'experts [1] souligne le constat que la qualité de vie des enfants présentant un TDC est particulièrement affectée en milieu scolaire, dès l'école maternelle. L'école étant susceptible de transformer la plupart des situations d'apprentissage ordinaires en situation de handicap et générer une perte d'estime de soi, voire une dépression de l'enfant TDC. En effet, nombreux sont les questionnements émanant de la littérature sur d'une part, la prise en compte du trouble (souvent confondu avec un manque de travail et/ou de motivation) et son accompagnement tout au long de la scolarité, le manque de formation et de moyens des enseignants. D'autre part, sur l'élaboration et la mise en œuvre dans le cadre scolaire d'un dispositif d'aménagements propres aux besoins de l'enfant TDC (moyens de compensation, d'adaptations et d'accessibilités) pour les enseignements et les examens scolaires et académiques jusqu'à l'enseignement supérieur, en passant par les formations professionnelles,....De plus, il ressort du constat des parents et des associations qu'il existe des dysfonctionnements concernant la reconnaissance du handicap soulignant des disparités géographiques liées aux décisions des MDPH. Il importe que les acteurs impliqués (médecins scolaires, MDPH) puissent mettre en place respectivement, les dispositifs PAP (Plan d'Accompagnement Personnalisé) et PPS (Projet

Personnalisé de Scolarisation) de façon plus appropriée aux difficultés de l'enfant. A savoir, que le PPS est soumis à une reconnaissance MDPH et est indispensable si l'enfant a besoin de compensation matérielle, technique et/ou aide humaine (à l'école, à la maison ou pour les loisirs).

Enfin, le groupe d'experts [1] recommande de soutenir une recherche de qualité avec des études intégrant des évaluations multidimensionnelles qui croisent les différents domaines évalués (ensemble des fonctions cérébrales impliquées) grâce à des outils standardisés et normés, ceci pouvant permettre d'affiner la typologie du TDC. De plus, les experts [1] encouragent d'associer différents courants de recherche, fondamentale et clinique, sciences humaines et sociales, faisant appel à des équipes pluridisciplinaires, voire de mettre en place une infrastructure de recherche nationale de type cohorte, et en facilitant l'accès aux données et aux infrastructures nécessaires (MDPH, Education Nationale, études de cohortes...).

## **11. Conclusion**

Le TDC fait l'objet d'un champ de recherche récent dont les résultats de beaucoup d'études appellent à une certaine prudence dans l'interprétation et l'extrapolation des conclusions. De plus, le TDC apparaît comme un terme générique mal défini par le DSM-5 [6] car aucune valeur de seuil de déficit moteur n'est fournie, et l'évaluation de la coordination motrice isolée des autres fonctions cérébrales ne permet pas de comprendre la sémiologie spécifique et la nature des troubles du TDC qui est un trouble cognitivo-moteur [1]. En effet, plus qu'un trouble moteur ou sensoriel isolé, il semblerait qu'il existe un déficit à utiliser de façon efficace les modèles internes sensorimoteurs, eux-mêmes impactés par un couplage perception-action non optimum, indispensables au développement d'une motricité harmonieuse et efficace [1]. Les études sur le TDC qu'elles soient à orientation épidémiologique, cognitive ou clinique sont essentiellement issues de l'étranger et demeurent hétérogènes, donc difficilement comparables en raison du nombre de sujets inclus, de la non prise en considération d'une rééducation préalable, de la non-exclusion de la prématurité, des troubles neurologiques non vérifiés et sur le choix des mesures ou tests utilisés, de critères d'inclusion peu précis, avec des troubles de l'attention ou autres comorbidités associées non vérifiées. Par conséquent, il apparaît évident que le groupe d'expert [1] n'a pas pu mettre en évidence un consensus sur les processus cérébraux sous-jacents en jeu et sur les sous-types du TDC. Néanmoins, il émerge trois typologies (idéomotrice, visuo-spatiale, et globale) qui corroborent la population connue par les cliniciens. Des études multidimensionnelles sont donc à répliquer [8, 9, 22] avec une rigueur méthodologique et pouvant nourrir une étude de prévalence manquante en France. Les enjeux sont cruciaux tant sur un plan clinique pour faciliter le diagnostic et la prise en charge, que sur un plan fondamental pour mieux comprendre les processus cérébraux sous-jacents au TDC.

Le diagnostic de TDC doit prendre en compte des tests standardisés et normés, ainsi que le point de vue et le vécu du patient et de ses proches [1], en saisissant lors de l'anamnèse ou à l'aide de questionnaires, les impacts sur les activités, la participation et la qualité de vie, permettant l'évaluation du handicap afin d'adapter les propositions thérapeutiques. Les personnes présentant un TDC entrent dans le champ international et français du handicap et relèvent de la loi Nationale de 2005 sur le handicap.

Enfin, il est aussi nécessaire de réaliser des recherches sur les adolescents et adultes présentant un TDC car elle sont insuffisantes, ceci pour mieux comprendre le trouble aux différents âges de la vie et les remédiations à préconiser [1]. Cet article n'a pas l'ambition d'avoir pu aborder tous les travaux du rapport du groupe d'experts dans le cadre de l'expertise collective Inserm auquel le lecteur pourra se rapporter [1] pour plus de détails, il en retrace cependant les éléments essentiels pour le clinicien et de futures recherches en actualisant le débat.

**Remerciements :** remerciements à Isabelle Alric (Inserm) pour avoir assuré la vérification et la mise en forme des nombreuses références.

## Références

- [1] Inserm. Trouble développemental de la Coordination (TDC) ou dyspraxie. Collection Expertise Collective. Montrouge: EDP Sciences; 2019. <http://hdl.handle.net/10608/10239>
- [2] Inserm. Synthèse et recommandations. Trouble Développement de la Coordination (TDC) ou dyspraxie. Collection Expertise Collective. Montrouge: EDP Sciences; 2019.
- [3] Missiuna C, Polatajko H. Developmental dyspraxia by any other name: are they all just clumsy children? *Am J Occup ther* 1995;49(7):620-27.
- [4] Vaivre-Douret L. Trouble développemental de la coordination ou dyspraxie. Encyclopédie Médico-Chirurgicale (EMC) - Psychiatrie / Pédopsychiatrie. Paris: Elsevier Masson; 2021:1-12.
- [5] American Psychiatric Association. DSM-5. Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders. 5<sup>th</sup> Edition. Washington, DC, USA: American Psychiatric Association; 2013.
- [6] American Psychiatric Association (APA). DSM-5, traduction française du Manuel diagnostique et statistique des troubles mentaux. 5<sup>ème</sup> édition. Paris: Elsevier Masson; 2015.
- [7] Organisation mondiale de la santé (). Classification internationale des troubles mentaux et des troubles du comportement (CIM 10<sup>e</sup> rév.). Paris: Masson; 1993.
- [8] Vaivre-Douret L, Lalanne C, Ingster-Moati I, Boddaert N, Cabrol D, Dufier JL, et al. Subtypes of Developmental Coordination Disorder: Research on Their Nature and Etiology. *Dev Neuropsychol* 2011a;36(5):614-43.
- [9] 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.
- [10] Henderson SE, Sugden DA. Movement assessment battery for children (M-ABC). Londres: The Psychological Corporation Ltd; 1992.
- [11] Henderson SE, Sugden DA, Barnett AL. Movement Assessment Battery for Children-2 : Movement (M-ABC-2) : Examiner's Manual Pearson; 2007.
- [12] Vaivre-Douret L, Lalanne C, Golse B. Developmental Coordination Disorder, an umbrella term for motor impairments in children: nature and co-morbid disorders. *Front Psychol*. Available through [http://dx.doi.org/7\(502\)](http://dx.doi.org/7(502)) online 15 April 2016.
- [13] Bruininks RH. Bruininks-Oseretsky test of motor proficiency (BOTMP). 2<sup>ème</sup> édition. Circle Pines, MN: AGS Publishing; 1978.
- [14] McCarron LT. MAND : McCarron assessment of neuromuscular development. Fine and gross motor abilities (rev. ed). Dallas, TX: McCarron-Dial Systems Inc; 1982.
- [15] Lyytinen H, Ahonen T. Developmental motor problems in children : a 6 years longitudinal study. *J Clin Exp Neuropsychol* 1988;10:57.
- [16] Hoare D. Subtypes of Developmental Coordination Disorder. *Adapt Phys Activity Q* 1994;11:158-69.
- [17] Miyahara M. Subtypes of students with learning disabilities based upon gross motor functions. *Adapt Phys Activity Q* 1994;11:368-82.
- [18] Dewey D, Kaplan BJ. Subtyping of developmental motor deficits. *Dev Psychol* 1994;10(3):265-84.
- [19] Wright HC, Sugden DA. The nature of developmental coordination disorder: inter- and intragroup differences. *Adapt Phys Activity Q* 1996;13:357-71.
- [20] Macnab JJ, Miller LT, Polatajko H. The search for subtypes of DCD: Is cluster analysis the answer? *Hum Mov Sci* 2001;20:49-72.
- [21] Green D, Chambers M, Sugden D. Does subtype of developmental coordination disorder count: is there a differential effect on outcome following intervention ? *Hum Mov Sci* 2008;27:363-82.
- [22] Lalanne C, Falissard B, Golse B, Vaivre-Douret L. Refining developmental coordination disorder subtyping with multivariate statistical methods. *BMC Med Res Methodol* 2012;12(07):1-14.
- [23] Vaivre-Douret L. Batterie d'évaluation des fonctions neuro-psychomotrices de l'enfant (NP-MOT). Paris: ECPA-Pearson; 2006.
- [24] Marquet-Doléac J, Soppelsa R, Albaret JM. MABC-2, Adaptation française. Batterie d'évaluation du mouvement chez l'enfant. 2<sup>ème</sup> version. Montreuil: ECPA-Pearson; 2016.

- [25] Lingam R, Hunt L, Golding J, Jongmans M, Emond A. Prevalence of developmental coordination disorder using the DSM-IV at 7 years of age: a UK population-based study. *Pediatrics* 2009;123(4):e693-700.
- [26] Nikolić SJ, Ilić-Stošović DD. Detection and prevalence of motor skill disorders. *Res Dev Disabil* 2009;30(6):1281-87.
- [27] Zwicker JG, Missiuna C, Harris SR, Boyd LA. Developmental coordination disorder: a review and update. *Eur J Paediatr Neurol EJPJ Off J Eur Paediatr Neurol Soc* 2012;16(6):573-81.
- [28] Della Barba PCDS, Luiz EM, Pinheiro RC, Lourenço GF. Prevalence of Developmental Coordination Disorder signs in children 5 to 14 years in São Carlos. *Motricidade* 2017;6:22-30.
- [29] Cardoso AA, Magalhães LC, Rezende MB. Motor Skills in Brazilian Children with Developmental Coordination Disorder versus Children with Motor Typical Development: Motor Skills in Children with DCD versus Typical. *Occup Ther Int* 2014;21(4):176-85.
- [30] Giagazoglou P, Kabitsis N, Kokaridas D, Zaragas C, Katartzi E, Kabitsis C. The movement assessment battery in Greek preschoolers: The impact of age, gender, birth order, and physical activity on motor outcome. *Res Dev Disabil* 2011;32(6):2577-82.
- [31] Girish S, Raja K, Kamath A. Prevalence of developmental coordination disorder among mainstream school children in India. *J Pediatr Rehabil Med* 2016;9(2):107-16.
- [32] 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;35(3):619-25.
- [33] Tsiotra GD, Flouris AD, Koutedakis Y, Faught BE, Nevill AM, Lane AM, et al. A Comparison of Developmental Coordination Disorder Prevalence Rates in Canadian and Greek Children. *J Adolesc Health* 2006;39(1):125-27.
- [34] 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(1):54-93.
- [35] Blank R, Barnett A, Cairney J, Green D, Kirby A, Polatajko H, et al. International clinical practice recommendations on the definition, diagnosis, assessment, intervention, and psychosocial aspects of developmental coordination disorder. *Dev Med Child Neurol* 2019;61(3):242-85.
- [36] Parmar A, Kwan M, Rodriguez C, Missiuna C, Cairney J. Psychometric properties of the DCDQ-07 in children ages to 4-6. *Res Dev Disabil* 2014;35(2):330-39.
- [37] Wilson BN, Crawford SG, Green D, Roberts G, Aylott A, Kaplan BJ. Psychometric Properties of the Revised Developmental Coordination Disorder Questionnaire. *Phys Occup Ther Pediatr* 2009;29(2):182-202.
- [38] Ray-Kaesler S, Satink T, Andresen M, Martini R, Thommen E, Bertrand AM. European-French Cross-Cultural Adaptation of the Developmental Coordination Disorder Questionnaire and Pretest in French-Speaking Switzerland. *Phys Occup Ther Pediatr* 2015;35(2):132-46.
- [39] Ray-Kaesler S, Thommen E, Martini R, Jover M, Gurtner B, Bertrand AM. Psychometric assessment of the French European Developmental Coordination Disorder Questionnaire (DCDQ-FE). *PLOS ONE*, 2019; 14(5): e0217280. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0217280>
- [40] Squires J, Bricker D. *Ages & Stages Questionnaires, Third Edition*. Baltimore, MD: Brookes Publishing; 2009. ([www.agesandstages.com](http://www.agesandstages.com)  
<http://www.brookespublishing.com/store/books/squires-asqse/>)
- [41] Rosenbaum PL, Missiuna C, Echeverria D, Knox SS. Proposed motor development assessment protocol for epidemiological studies in children. *J Epidemiol Community Health* 2009;63(1):27-36.
- [42] Brown T, Lalor A. The Movement Assessment Battery for Children—Second Edition (MABC-2): A Review and Critique. *Phys Occup Ther Pediatr* 2009;29(1):86-103.
- [43] Ferrari F, Gallo C, Pugliese M, Guidotti I, Gavioli S, Coccolini E, et al. Preterm birth and developmental problems in the preschool age. Part I: minor motor problems. *J Matern Fetal Neo Med* 2012;25(11):2154-59.
- [44] Spittle AJ, Orton J. Cerebral palsy and developmental coordination disorder in children born preterm. *Semin Fetal Neonatal Med* 2014;19(2):84-9.

- [45] Davis NM, Ford GW, Anderson PJ, Doyle LW. Victorian Infant Collaborative Study Group. Developmental coordination disorder at 8 years of age in a regional cohort of extremely-low-birthweight or very preterm infants. *Dev Med Child Neurol* 2007;49(5):325–30.
- [46] Burns YR, Danks M, O’Callaghan MJ, Gray PH, Cooper D, Poulsen L, et al. Motor coordination difficulties and physical fitness of extremely-low-birthweight children. *Dev Med Child Neurol* 2009;51(2):136–42.
- [47] Evensen KAI. Motor skills in adolescents with low birth weight. *Arch Dis Child - Fetal Neonatal Ed* 2004;89(5):F451–5.
- [48] Goyen TA, Lui K. Developmental coordination disorder in “apparently normal” schoolchildren born extremely preterm. *Arch Dis Child* 2009;94(4):298–302.
- [49] Holsti L, Grunau RVE, Whitfield MF. Developmental Coordination Disorder in Extremely Low Birth Weight Children at Nine Years. *J Dev Behav Pediatr* 2002;23(1):9–15.
- [50] Roberts G, Anderson PJ, Davis N, De Luca C, Cheong J, Doyle LW, et al. Developmental coordination disorder in geographic cohorts of 8-year-old children born extremely preterm or extremely low birthweight in the 1990s: DCD in Preterm Children. *Dev Med Child Neurol* 2011;53(1):55–60.
- [51] Van Hus JW, Potharst ES, Jeukens-Visser M, Kok JH, Van Wassenaer-Leemhuis AG. Motor impairment in very preterm-born children: links with other developmental deficits at 5 years of age. *Dev Med Child Neurol* 2014;56(6):587–94.
- [52] De Kieviet JF, Stoof CJJ, Geldof CJA, Smits N, Piek JP, Lafeber HN, et al. The crucial role of the predictability of motor response in visuomotor deficits in very preterm children at school age. *Dev Med Child Neurol* 2013;55(7):624–630.
- [53] Foulder-Hughes L, Cooke R. Motor, cognitive, and behavioural disorders in children born very preterm. *Dev Med Child Neurol* [Internet] 2003;45(02). Available from: <http://doi.wiley.com/10.1017/S0012162203000197>
- [54] Zhu JL, Olsen J, Olesen AW. Risk for Developmental Coordination Disorder Correlates with Gestational Age at Birth: Gestational age and motor development. *Paediatr Perinat Epidemiol* 2012;26(6):572–77.
- [55] Wocadlo C, Rieger I. Motor impairment and low achievement in very preterm children at eight years of age. *Early Hum Dev* 2008;84(11):769–76.
- [56] Edwards J, Berube M, Erlandson K, Haug S, Johnstone H, Meagher M, et al. Developmental Coordination Disorder in School-Aged Children Born Very Preterm and/or at Very Low Birth Weight: A Systematic Review. *J Dev Behav Pediatr* 2011;32(9):678–87.
- [57] Williams J, Lee KJ, Anderson PJ. Prevalence of motor-skill impairment in preterm children who do not develop cerebral palsy: a systematic review. *Dev Med Child Neurol* 2010;52(3):232–37.
- [58] Arnaud C, Daubisse-Marliac L, White-Koning M, Pierrat V, Larroque B, Grandjean H, et al. Prevalence and Associated Factors of Minor Neuromotor Dysfunctions at Age 5 Years in Prematurely Born Children: The EPIPAGE Study. *Arch Pediatr Adolesc Med* 2007;161(11):1053.
- [59] Zwicker JG, Yoon SW, MacKay M, Petrie-Thomas J, Rogers M, Synnes AR. Perinatal and neonatal predictors of developmental coordination disorder in very low birthweight children. *Arch Dis Child* 2013;98(2):118–22.
- [60] Reynolds JE, Licari MK, Reid SL, Elliott C, Winsor AM, Bynevelt M. Reduced relative volume in motor and attention regions in developmental coordination disorder: A voxel-based morphometry study. *Int J Dev Neurosci: Off J Int Society Dev Neurosci* 2017;58:59–64. <https://doi.org/10.1016/j.ijdevneu.2017.01.008>.
- [61] Caeyenberghs K, Taymans T, Wilson PH, Vanderstraeten G, Hosseini H, van Waelvelde H. Neural signature of developmental coordination disorder in the structural connectome independent of comorbid autism. *Dev Sci* 2016;19(4):599–612. <https://doi.org/10.1111/desc.12424>
- [62] Langevin LM, MacMaster FP, Dewey D. Distinct patterns of cortical thinning in concurrent motor and attention disorders. *Dev Med Child Neurol* 2015;57(3):257–64. <https://doi.org/10.1111/dmcn.12561>
- [63] Langevin LM, Macmaster FP, Crawford S, Lebel C, Dewey D. Common white matter microstructure alterations in pediatric motor and attention disorders. *J Pediatr* 2014;164(5): 1157–64.e1. <https://doi.org/10.1016/j.jpeds.2014.01.018>.

- [64] Debrabant J, Vingerhoets G, Van Waelvelde H, Leemans A, Taymans T, Caeyenberghs K. Brain Connectomics of Visual-Motor Deficits in Children with Developmental Coordination Disorder. *J Pediatr* 2016;169:21-7.e2. <https://doi.org/10.1016/j.jpeds.2015.09.069>
- [65] Biotteau M, Péran P, Vayssière N, Tallet J, Albaret JM, Chaix, Y. Neural changes associated to procedural learning and automatization process in Developmental Coordination Disorder and/or Developmental Dyslexia. *Eur J Paediatr Neurol : EJPN: Official Journal of the European Paediatric Neurology Society* 2017;21(2):286-99. <https://doi.org/10.1016/j.ejpn.2016.07.025>
- [66] Debrabant J, Gheysen F, Caeyenberghs K, Van Waelvelde H, Vingerhoets G. Neural underpinnings of impaired predictive motor timing in children with Developmental Coordination Disorder. *Res Dev Disabil* 2013;34(5):1478-87. <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2013.02.008>
- [67] Kashiwagi M, Iwaki S, Narumi Y, Tamai H, Suzuki S. Parietal dysfunction in developmental coordination disorder: A functional MRI study. *Neuroreport* 2009;20(15): 1319-24. <https://doi.org/10.1097/WNR.0b013e32832f4d87>
- [68] Licari MK, Billington J, Reid SL, Wann JP, Elliott CM, Winsor AM, et al. Cortical functioning in children with developmental coordination disorder: A motor overflow study. *Exp Brain Res* 2015;233(6):1703-10. <https://doi.org/10.1007/s00221-015-4243-7>
- [69] 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. <https://doi.org/10.1016/j.nicl.2014.03.010>
- [70] Querne L, Berquin P, Vernier-Hauvette MP, Fall S, Deltour L, Meyer ME, et al. Dysfunction of the attentional brain network in children with Developmental Coordination Disorder: A fMRI study. *Brain Res* 2008;1244:89-102. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2008.07.066>
- [71] Reynolds JE, Billington J, Kerrigan S, Williams J, Elliott C, Winsor AM, et al. Mirror neuron system activation in children with developmental coordination disorder: A replication functional MRI study. *Res Dev Disabil* 2019;84:16-27. <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2017.11.012>
- [72] Reynolds JE, Licari MK, Billington J, Chen Y, Aziz-Zadeh L, Werner J, et al. Mirror neuron activation in children with developmental coordination disorder: A functional MRI study. *Int J Dev Neurosci: Off J Int Society Dev Neurosci* 2015;47(Pt B):309-19. <https://doi.org/10.1016/j.ijdevneu.2015.10.003>
- [73] Zwicker JG, Missiuna C, Harris SR, Boyd LA. Brain activation of children with developmental coordination disorder is different than peers. *Pediatrics* 2010;126(3):e678-86. <https://doi.org/10.1542/peds.2010-0059>
- [74] Zwicker JG, Missiuna C, Harris SR, Boyd LA. Brain activation associated with motor skill practice in children with developmental coordination disorder: An fMRI study. *Int J Dev Neurosci: Off J Int Society Dev Neurosci* 2011;29(2):145-52. <https://doi.org/10.1016/j.ijdevneu.2010.12.002>
- [75] Fliers E, Vermeulen S, Rijdsdijk F, Altink M, Buschgens C, Rommelse N, et al. ADHD and poor motor performance from a family genetic perspective. *J Am Acad Child Adolesc Psychiatry* 2009;48:25-34.
- [76] Martin NC, Piek JP, Hay D. DCD and ADHD: A genetic study of their shared aetiology. *Hum Mov Sci* 2006;25:110-24.
- [77] Polderman TJC, Van Dongen J, Boomsma DI. The relation between ADHD symptoms and fine motor control: A genetic study. *Child Neuropsychol* 2011;17:138-50.
- [78] Mosca SJ, Langevin LM, Dewey D, Mitchell Innes A, Lionel AC, Marshall CC, et al. Copy-number variations are enriched for neurodevelopmental genes in children with Developmental Coordination Disorder. *J Med Genet* 2016;53:812-19.
- [79] Bernier R, Hudac CM, Chen Q, Zeng C. Developmental trajectories for young children with 16p1.2 copy number variation. *Am J Med Genet Part B* 2017;174B:367-80.
- [80] Porro F, Rosato-Siri M, Leone E, Costessi L, Iaconcig A, Tongiorgi E, et al. Beta-adducin (Add2) KO mice show synaptic plasticity, motor coordination and behavioral deficits accompanied by changes in the expression and phosphorylation levels of the alpha- and gamma-adducin subunits. *Genes Brain Behav* 2010;9:84-96.
- [81] Müller Smith K, Williamson TL, Schwartz ML, et al. Impaired motor coordination and disrupted cerebellar architecture in Fgfr1 and Fgfr2 double knockout mice. *Brain Res* 2012; 1460:12-24.

- [82] Liégeois F, Morgan A, Vargha-Khadem F. Neurocognitive correlates of developmental verbal and orofacial dyspraxia. *In* : Coch D, Dawson G, Fischer KW, editors. Human behavior, learning, and the developing brain: A typical development. New York: Guilford Press; 2007. P. 168-98.
- [83] Vernes SC, Macdermot KD, Monaco AP, Fisher S. Assessing the impact of *FOXP1* mutations on developmental verbal dyspraxia. *Eur J Hum Genet* 2009;17:1354-8.
- [84] Lai CS, Fisher SE, Hurst JA, Vargha-Khadem F, Monaco AP. A forkhead-domain gene is mutated in a severe speech and language disorder. *Nature* 2001;413:519-23.
- [85] Pal DK, Li W, Lieberman P, Clark T, Strug LJ *et al.* Pleiotropic effects of the 11p13 locus on developmental verbal dyspraxia and EEG centrottemporal sharp waves. *Genes Brain Behav* 2010;9:1004-12.
- [86] Geuze RH. Postural control in children with developmental coordination disorder. *Neural Plast* 2005;12:183-96.
- [87] Deconinck FJA, De Clercq D, Savelsbergh GJP, Van Coster R, Oostra A, Dewitte G, *et al.* Differences in Gait Between Children With and Without Developmental Coordination Disorder. *Motor Control* 2006;10:125-42.
- [88] Cherg R, Liang LY, Chen YJ, Chen JY. The effects of a motor and a cognitive concurrent task on walking in children with developmental coordination disorder. *Gait Posture* 2009;29:204-07.
- [89] Grove CR, Lazarus JAC. Impaired re-weighting of sensory feedback for maintenance of postural control in children with developmental coordination disorder. *Hum Mov Sci* 2007;26:457-76.
- [90] Fong SS, Tsang WW, Ng GY. Altered postural control strategies and sensory organization in children with developmental coordination disorder. *Hum Mov Sci* 2012;31:1317-27.
- [91] Deconinck FJA, De Clercq D, Van Coster R, Oostra A, Dewitte G, Savelsbergh GJP, *et al.* Sensory contributions to balance in boys with developmental coordination disorder. *Adapt Phys Activity Q* 2008;25:17-35.
- [92] Fong SS, Ng SS, Chung LM, Ki WY, Chow LP, Mc Farlane DJ. Direction-specific impairment of stability limits and falls in children with developmental coordination disorder: Implications for rehabilitation. *Gait Posture* 2016;43:60-4.
- [93] Bair WN, Barela JA, Whittall J, Jeka JJ, Clark JE. Children with developmental coordination disorder benefit from using vision in combination with touch information for quiet standing. *Gait Posture* 2011;34:183-90.
- [94] Smits-Engelsman BCM, Wilson PH. Noise, variability, and motor performance in developmental coordination disorder. *Dev Med Child Neurol* 2013;55:69-72.
- [95] Licari MK, Reynolds JE. Understanding Performance Variability in Developmental Coordination Disorder: What Does It All Mean? *Curr Dev Disord Rep* 2017;1-7.
- [96] Cacola P, Ibana M, Ricard M, Gabbard C. Children with developmental coordination disorder demonstrate a spatial mismatch when estimating coincident-timing ability with tools. *Res Dev Disabil* 2016;48:124-31.
- [97] Gentle J, Barnett AL, Wilmut K. Adaptations to walking on an uneven terrain for individuals with and without Developmental Coordination Disorder. *Hum Mov Sci* 2016;49:346-53.
- [98] Johnson DC, Wade MG. Children at risk for developmental coordination disorder: judgement of changes in action capabilities. *Dev Med Child Neurol* 2009;51:397-403.
- [99] Cantin N, Ryan J, Polatajko HJ. Impact of task difficulty and motor ability on visual-motor task performance of children with and without developmental coordination disorder. *Hum Mov Sci* 2014;34:217-32.
- [100] Purcell C, Wann JP, Wilmut K, Poulter D. Reduced looming sensitivity in primary school children with Developmental Co-ordination Disorder. *Dev Sci* 2012;15:299-306.
- [101] Assaiante C, Barlaam F, Cignetti F, Vaugoyeau M. Body schema building during childhood and adolescence: a neurosensory approach. *Clin Neurophysiol* 2014;44:3-12.
- [102] Rizzolatti G, Fogassi L, Gallese V. Neurophysiological mechanisms underlying the understanding and imitation of action. *Nat Rev Neurosci* 2001;2:661-70.
- [103] van Elk M, van Schie HT, Hunnius S, Vesper C, Bekkering H. You'll never crawl alone: neurophysiological evidence for experience-dependent motor resonance in infancy. *Neuroimage* 2008;43(4):808-814.
- [104] Iacoboni M, Dapretto M. The mirror neuron system and the consequences of its dysfunction. *Nat Rev Neurosci* 2006;7(12):942-51.

- [105] Reynolds JE, Kerrigan S, Elliott C, Lay BS, Licari MK. Poor Imitative Performance of Unlearned Gestures in Children with Probable Developmental Coordination Disorder. *J Mot Behav* 2017;49(4):378-87.
- [106] Dewey D, Kaplan BJ. Analysis of praxis task demands in the assessment of children with developmental motor deficits. *Dev Neuropsychol* 1992;8(4):367-79.
- [107] Sinani C, Sugden DA, Hill EL. Gesture production in school vs. clinical samples of children with Developmental Coordination Disorder (DCD) and typically developing children. *Res Dev Disabil* 2011;32:1270-82.
- [108] Wilson PH, Maruff P, Butson M, Williams J, Lum J, Thomas PR. Internal representation of movement in children with developmental coordination disorder: a mental rotation task. *Dev Med Child Neurol* 2004;46(11):754-59.
- [109] Wilson PH, Ruddock S, Smits-Engelsman B, Polatajko H, Blank R. Understanding performance deficits in developmental coordination disorder: a meta-analysis of recent research. *Dev Med Child Neurol* 2013;55(3):217-28.
- [110] Adams IL, Lust JM, Wilson PH, Steenbergen B. Compromised motor control in children with DCD: A deficit in the internal model? A systematic review. *Neurosci Biobehav Rev* 2014;47:225-44.
- [111] Wilson PH, Smits-Engelsman B, Caeyenberghs K, Steenbergen B, Sugden D, Clark J, et al. Cognitive and neuroimaging findings in developmental coordination disorder: new insights from a systematic review of recent research. *Dev Med Child Neurol* 2017;59:1117–29.
- [112] Biancotto M, Skabar B, Bulgheroni M, Carrozzi M, Zoia S. Neuromotor deficits in developmental coordination disorder: evidence from a reach-to-grasp task. *Res Dev Disabil* 2011;32:1293-300
- [113] Williams J, Thomas PR, Maruff P, Butson M, Wilson PH. Motor, visual and egocentric transformations in children with Developmental Coordination Disorder. *Child Care, Health, Dev* 2006;32:633-47.
- [114] Jover M, Schmitz C, Centelles L, Chabrol B, Assaiante C. Anticipatory postural adjustments in a bimanual load-lifting task in children with developmental coordination disorder. *Dev Med Child Neurol* 2010;52:850-55.
- [115] Adams IL, Ferguson GD, Lust JM, Steenbergen B, Smits-Engelsman BC. Action planning and position sense in children with Developmental Coordination Disorder. *Hum Mov Sci* 2016;46:196-208.
- [116] Kane K, Barden J. Frequency of anticipatory trunk muscle onsets in children with and without developmental coordination disorder. *Phys Occup Ther Pediatr* 2013;34:75-89.
- [117] Wilmut K, Du W, Barnett AL. Navigating through apertures: perceptual judgements and actions of children with Developmental Coordination Disorder. *Dev Sci* 2017;20(6).
- [118] Cignetti F, Vaugoyeau M, Fontan A, Jover M, Livet MO, Hugonencq C, et al. Feedforward motor control in developmental dyslexia and developmental coordination disorder: does comorbidity matter? *Res Dev Disabil* 2018;76:25-34.
- [119] Vaivre-Douret L. Developmental coordination disorders: state of art. *Clin Neurophysiol* 2014;44:13-23.
- [120] Cignetti F, Nemmi F, Vaugoyeau M, Girard N, Albaret JM, Chaix Y, et al. Cortico-subcortical functional connectivity in developmental dyslexia and developmental coordination disorder: similarities and differences. *Cereb Cortex Com* (in Press).
- [121] Parush S, Yochman A, Cohen D, Gershon E. Relation of visual perception and visual-motor integration for clumsy children. *Percept Mot Skills* 1998;86(1):291–95. <https://doi.org/10.2466/pms.1998.86.1.291>
- [122] 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(1–2):111–33. [https://doi.org/10.1016/s0167-9457\(01\)00031-8](https://doi.org/10.1016/s0167-9457(01)00031-8)
- [123] Wilson PH, McKenzie BE. Information processing deficits associated with developmental coordination disorder: A meta-analysis of research findings. *J Child Psychol Psychiatr* 1998;39(6):829–40.
- [124] Sigmundsson H, Hopkins B. Do « clumsy » children have visual recognition problems? *Child Care Health Dev* 2005;31(2):155–58. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2214.2004.00463.x>

- [125] Tsai CL, Wilson PH, Wu SK. Role of visual-perceptual skills (non-motor) in children with developmental coordination disorder. *Hum Mov Sci* 2008;27(4):649-664. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2007.10.002>
- [126] Wilson Peter H, Ruddock S, Smits-Engelsman B, Polatajko H, Blank R. (2013). Understanding performance deficits in developmental coordination disorder: A meta-analysis of recent research. *Dev Med Child Neurol* 2013;55(3):217-28. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8749.2012.04436.x>
- [127] Piek JP, Dyck MJ, Francis M, Conwell A. Working memory, processing speed, and set-shifting in children with developmental coordination disorder and attention-deficit-hyperactivity disorder. *Dev Med Child Neurol* 2007;49(9):678-83. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8749.2007.00678.x>
- [128] Mandich A, Buckolz E, Polatajko H. On the ability of children with developmental coordination disorder (DCD) to inhibit response initiation: The Simon effect. *Brain Cogn* 2002;50(1):150-62. [https://doi.org/10.1016/s0278-2626\(02\)00020-9](https://doi.org/10.1016/s0278-2626(02)00020-9)
- [129] Pratt ML, Leonard HC, Adeyinka H, Hill EL. The effect of motor load on planning and inhibition in developmental coordination disorder. *Res Dev Disabil* 2014;35(7):1579-87. <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2014.04.008>
- [130] Rahimi-Golkhandan S, Steenbergen B, Piek J, Wilson P. Reprint of « Deficits of hot executive function in developmental coordination disorder: Sensitivity to positive social cues ». *Hum Mov Sci* 2015;42:352-67. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2015.06.004>
- [131] Adams ILJ, Lust JM, Wilson PH, Steenbergen B. Compromised motor control in children with DCD: A deficit in the internal model? A systematic review. *Neurosci Biobehav Rev* 2014;47:225-44. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2014.08.011>
- [132] Alloway TP. Working memory, reading, and mathematical skills in children with developmental coordination disorder. *J Exp Child Psychol* 2007;96(1):20-36. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2006.07.002>
- [133] Alloway TP, Archibald L. Working memory and learning in children with developmental coordination disorder and specific language impairment. *J Learn Disabil* 2008;41(3):251-62. <https://doi.org/10.1177/0022219408315815>
- [134] Gomez A, Piazza M, Jobert A, Dehaene-Lambertz G, Dehaene S, Huron C. Mathematical difficulties in developmental coordination disorder: Symbolic and nonsymbolic number processing. *Res Dev Disabil* 2015;43-44:167-78. <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2015.06.011>
- [135] Gomez A, Piazza M, Jobert A, Dehaene-Lambertz G, Huron C. Numerical abilities of school-age children with Developmental Coordination Disorder (DCD): A behavioral and eye-tracking study. *Hum Mov Sci* 2017;55:315-26. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2016.08.008>
- [136] Gomez A, Huron C. Subitizing and counting impairments in children with developmental coordination disorder. *Res Dev Disabil* 2020;104:103717. <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2020.103717>
- [137] Bara F, Gentaz E. Apprendre à écrire. *Médecine & enfance* 2007;206-10.
- [138] Paz-Villagran V, Gilhodes JC, Velay JL. Les enfants dysgraphiques sont-ils réellement plus lents que les autres ? *Développements* 2012;4:38-44.
- [139] Miller LT, Missiuna CA, Macnab JJ, Malloy-Miller T, Polatajko HJ. Clinical description of children with Developmental Coordination Disorder. *Can J Occup Ther* 2001;68:5-15.
- [140] Albaret JM, Kaiser ML, Soppelsa R. Des modèles à l'intervention. In: *Troubles de l'écriture chez l'enfant*. Paris: De Boeck Solal; 2013. p. 155-73.
- [141] Danna J, Velay JL, Albaret JM. Dysgraphies. In: Pinto S, Sato M, editors. *Traité de neurolinguistique*. Louvain-la-Neuve: De Boeck Supérieur; 2016. p. 337-46.
- [142] Hamstra-Bletz E, De Bie J, Den Brinker BPLM. Beknopte beoordelingsmethode voor kinderhandschriften [The concise assessment method for children's handwriting]. Lisse: Swets & Zeitlinger; 1987.
- [143] Charles M, Soppelsa R, Albaret JM. BHK—échelle d'évaluation rapide de l'écriture chez l'enfant. Paris: Éditions et Applications Psychologiques; 2003.
- [144] O'hare A, Khalid S. The association of abnormal cerebellar function in children with Developmental Coordination Disorder and reading difficulties. *Dyslexia* 2002;8:234-48.
- [145] Huau A, Velay JL, Jover M. Graphomotor skills in children with Developmental Coordination Disorder (DCD): Handwriting and learning a new letter. *Hum Mov Sci* 2015;42:318-32.

- [146] Rosenblum S, Weiss PL, Parush S. Product and process evaluation of handwriting difficulties. *Educ Psychol Rev* 2003;15:41-81.
- [147] Rosenblum S, Dvorkin AY, Weiss PL. Automatic segmentation as a tool for examining the handwriting process of children with dysgraphic and proficient handwriting. *Hum Mov Sci* 2006;25:608-21.
- [148] Di Brina C, Niels R, Overvelde A, Levi G, Hulstijn W. Dynamic time warping: A new method in the study of poor handwriting. *Hum Mov Sci* 2008;27:242-55.
- [149] Rosenblum S, Livneh-Zirinski M. Handwriting process and product characteristics of children diagnosed with Developmental Coordination Disorder. *Hum Mov Sci* 2008;27:200-14.
- [150] Prunty MM, Barnett AL, Wilmut K, Plumb MS. Handwriting speed in children with Developmental Coordination Disorder: Are they really slower? *Res Dev Disab* 2013; 34:2927-36.
- [151] Smits-Engelsman BC, Niemeijer AS, Van Galen GP. Fine motor deficiencies in children diagnosed as DCD based on poor grapho-motor ability. *Hum Mov Sci* 2001;20:161-82.
- [152] Prunty MM, Barnett AL, Wilmut K, Plumb MS. An examination of writing pauses in the handwriting of children with Developmental Coordination Disorder. *Res Dev Disab* 2014;35:2894-905.
- [153] Jolly C, Huron C, Gentaz E. A one-year survey of cursive letter handwriting in a French second-grade child with Developmental Coordination Disorder. *L'Année Psychologique* 2014;114:421-45.
- [154] Jolly C, Gentaz E. Analysis of cursive letters, syllables, and words handwriting in a French second-grade child with Developmental Coordination Disorder and comparison with typically developing children. *Front Psychol* 2014;4:1022.
- [155] Chang SH, Yu NY. Computerized handwriting analysis in children with/without motor in coordination. *IFMBE Proceedings* 2009;23:402-5.
- [156] Van Galen GP. Handwriting: Issues from a psychomotor theory. *Hum Mov Sci* 1991;10:165-91.
- [157] Gheysen F, Van Waelvelde H, Fias W. Impaired visuo-motor sequence learning in Developmental Coordination Disorder. *Res Dev Disab* 2011;32:749-56.
- [158] Weintraub N, Graham S. The contribution of gender, orthographic, finger function, and visual-motor processes to the prediction of handwriting status. *Occup Particip Health* 2000;20(2):121-40.
- [159] Feder K, Majnemer A, Bourbonnais D, Platt R, Blayney M, Synnes A. Handwriting performance in preterm children compared with term peers at age 6 to 7 years. *Dev Med Child Neurol* 2005;47:163-70.
- [160] Douret L, Auzias M. Le développement de l'organisation motrice et temporo-spatiale de l'écriture chez l'enfant. *ANAE* 1993;5:29-35.
- [161] Lopez C, Hemimou C, Golse B, Vaivre-Douret L. Developmental dysgraphia is often associated with minor neurological dysfunction in children with Developmental Coordination Disorder (DCD). *Clin Neurophysiol* 2016;48:207-217.
- [162] Beery KE, Buktenica NA, Beery NA. The Beery-Buktenica developmental test of visual-motor integration (VMI). 5<sup>th</sup> edition. Lutz, FL: Psychological Assessment Resources; 2004.
- [163] Kaiser ML, Albaret JM, Doudin PA. Relationship between visual-motor integration, eye-hand coordination, and quality of handwriting. *J Occup Ther Schools Early Interv* 2009;2:87-95.
- [164] Rosenblum S. Do motor ability and handwriting kinematic measures predict organizational ability among children with Developmental Coordination Disorders? *Hum Mov Sci* 2015;43:201-15.
- [165] Scordella A, Di Sano S, Aureli T, Cerratti P, Verratti V, Fano-Illic G, et al. The role of general dynamic coordination in the handwriting skills of children. *Front Psychol* 2015;6:580.
- [166] Weil JM, Cunningham Amundson SJ. Relationship between visuomotor and handwriting skills of children in kindergarten. *Am J Occup Ther* 1994;48:982-8.
- [167] Smits-Engelsman BC, Wilson PH, Westenberg Y, Duysens J. Fine motor deficiencies in children with Developmental Coordination Disorder and learning disabilities: An underlying open-loop control deficit. *Hum Mov Sci* 2003;22:495-513.
- [168] Lopez C, Vaivre-Douret L. Investigations exploratoires des troubles de l'écriture chez des enfants scolarisés du CP au CM2. *ANAE* 2021;170:77-79.
- [169] Mazeau M. Les dyspraxies : points de repères. *Arch Pédiatr* 2010;17(3):314-8.
- [170] Mazeau M. La dyspraxie aujourd'hui. *Développements* 2013;16-17:94-102.

- [171] Schoemaker MM, Niemeijer AS, Reynders K, Smits-Engelsman BC. Effectiveness of neuromotor task training for children with Developmental Coordination Disorder: A pilot study. *Neural Plast* 2003;10(1-2):155-63.
- [172] Hoy MM, Egan MY, Feder KP. A systematic review of interventions to improve handwriting. *Can J Occup Ther* 2011;78(1):13-25.
- [173] Barray V. Dyspraxie/trouble de l'acquisition de la coordination et écriture manuelle, partie 1 : Présentation d'une méthode d'apprentissage. *Développements* 2012a;11(2):37-52.
- [174] Barray V. Écriture manuelle et dyspraxie/ trouble de l'acquisition de la coordination, partie 2 : Intérêt à long terme. *Développements* 2012b;12(3):6-17.
- [175] Baldi S, Nunzi M, Di Brina C. Efficacy of a task-based training approach in the rehabilitation of three children with poor handwriting quality: A pilot study. *Percept Mot Skills* 2015;120:323-35.
- [176] Albaret JM, Chaix Y. Troubles d'acquisition de la coordination (TAC). C'est quoi ? Et comment ça se soigne ? *Pédiatrie Pratique* 2015;265:1-6.
- [177] Lockhart J, Law M. The effectiveness of a multisensory writing program for improving cursive writing ability in children with sensory motor difficulties. *Can J Occup Ther* 1994;61(4):206-14.
- [178] Denton PL, Cope S, Moser C. The effects of sensorimotor-based intervention versus therapeutic practice on improving handwriting performance in 6- to 11-year-old children. *Am J Occup Ther* 2006;60(1):16-27.
- [179] Polatajko HJ, Cantin N. Developmental Coordination Disorder (Dyspraxia): An overview of the state of the art. *Semin Pediat Neurol* 2005a;12:250-8.
- [180] Polatajko HJ, Cantin N. La prise en charge des enfants atteints d'un trouble de l'acquisition de la coordination (TAC): Approches thérapeutiques et niveau de preuve. In: Geuze RH, editor. *Le trouble d'acquisition de la coordination*. Marseille: Solal; 2005b. p. 147-95.
- [181] Kaiser ML, Albaret JM, Doudin PA. Efficacy of an explicit handwriting program. *Percept Mot Skills* 2011;112(2):610-8.
- [182] Jones D, Christensen CA. Relation between automaticity in handwriting and students' ability to generate written text. *J Educ Psychol* 1999;91:44-9.
- [183] Graham S, Harris KR, Fink B. Is handwriting causally related to learning to write? Treatment of handwriting problems in beginning writers. *J Educ Psychol* 2000;92:620-33.
- [184] Jongmans MJ, Linthorst-Bakker E, Westenberg Y, Smits-Engelsman BC. Use of a task-oriented self-instruction method to support children in primary school with poor handwriting quality and speed. *Hum Mov Sci* 2003;22(4-5):549-66.
- [185] Reid D, Chiu T, Sinclair G, Wehrmann S, Naseer Z. Outcomes of an occupational therapy school-based consultation service for students with fine motor difficulties. *Can J Occup Ther* 2006;73(4):215-24.
- [186] Le Lostec C. Trouble du graphisme : les difficultés rencontrées par l'enfant dyspraxique. Que proposer ? *ANAE* 2006;88-89:179-83.
- [187] Freeman A, Mackinnon J, Miller L. Keyboarding for students with handwriting problems. *Phys Occup Ther Pediatr* 2005;25:119-47.
- [188] Guillemin AL, Leveque-Dupin S. Comment l'ordinateur peut-il devenir un outil de compensation efficace de la dysgraphie pour la scolarité ? *Développements* 2012;12:25-31.
- [189] Le Flem A, Gardie C. Pertinence et limites des aménagements pédagogiques et des compensations pour l'enfant dyspraxique : du conseil pédagogique à l'utilisation de l'ordinateur en classe. *ANAE* 2011;111:57-65.
- [190] Despres G. Les aides techniques au collège auprès d'adolescents avec des troubles des apprentissages. *Développements* 2010;6:43-52.
- [191] Couteret P. Les Tice au service des élèves avec Troubles spécifiques des apprentissages (TSA). *La Nouvelle Revue de l'Adaptation et de la Scolarisation* 2009;48:311-25.
- [192] Vaivre-Douret L, Lopez C, Dutruel A, Vaivre S. Phenotyping features in the genesis of pre-scriptural gestures in children to assess handwriting developmental levels. *Sci Rep* 2021;11:731.
- [193] Vaivre-Douret L, Lopez C. Organisation développementale du geste graphomoteur chez l'enfant scolarisé en primaire : caractéristiques gestuelles et spatio-temporelles/cinématiques. *ANAE* 2021;170:19-33.
- [194] Classification internationale du fonctionnement du handicap et de la santé (CIF). Genève: OMS; 2001.

- [195] Engel-Yeger B, Hanna KA. The relationship between Developmental Co-ordination Disorders, child's perceived self-efficacy and preference to participate in daily activities. *Child Care Health Dev* 2010;36:670-7.
- [196] Dunford C, Missiuna C, Street E, Sibert J. Children's perceptions of the impact of Developmental Coordination Disorder on activities of daily living. *Br J Occup Ther* 2005;68(5):207-14.
- [197] Summers J, Larkin D, Dewey D. Activities of daily living in children with Developmental Coordination Disorder: Dressing, personal hygiene, and eating skills. *Hum Mov Sci* 2008;27:215-29.
- [198] Wang TN, Tseng MH, Wilson BN, Hu FC. Functional performance of children with Developmental Coordination Disorder at home and at school. *Dev Med Child Neurol* 2009;51:817-25.
- [199] Bart O, Jarus T, Erez Y, Rosenberg L. How do young children with DCD participate and enjoy daily activities. *Res Dev Disabil* 2011;32:1317-22.
- [200] Missiuna C, Moll S, King S, King G, Law M. A trajectory of troubles: Parents' impressions of the impact of Developmental Coordination Disorder. *Phys Occup Ther Pediatr* 2007;27:81-101.
- [201] Van der Linde BW, Van Netten JJ, Otten E, Postema K. Activities of daily living in children with Developmental Coordination Disorder: Performance, learning, and participation. *Phys Ther* 2015;95(11):1496-506.
- [202] Goffer A, Josman N, Rosenblum S. Do-Eat: Performance-based assessment tool for children. Haifa, Israël: University of Haifa; 2009.
- [203] 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* 2010;64:47-58.
- [204] Van der Linde BW, Van Netten JJ, Otten E, Postema K, Geuze RH, Schoemaker MM. Development and psychometric properties of the DCD Daily: A new test for clinical assessment of capacity in activities of daily living in children with Developmental Coordination Disorder. *Clinical Rehab* 2013;27:834-44.
- [205] Liberman L, Ratzon N, Bart O. The profile of performance skills and emotional factors in the context of participation among young children with Developmental Coordination Disorder. *Res Dev Disabil* 2013;34:87-94.
- [206] Wuang YP, Wang CC, Mao-Hsiung H. Health-related quality of life in children with Developmental Coordination Disorder and their parents. *OTJR* 2012;32:142-50.
- [207] Gomez A, Piazza M, Jobert, Dehaene-Lambertz G, Huron C. Numerical abilities of school-age children with Developmental Coordination Disorder (DCD): A behavioral and eye-tracking study. *Hum Mov Sci* 2017;55:315-26.
- [208] Mazeau M. *Troubles visuo-spatiaux*, Tom Pousse éd. sous presse, 2021.
- [209] Mazeau M, Le Lostec C, Lirondière S. *L'enfant dyspraxique et les apprentissages*. 2<sup>ème</sup> édition. Paris: Masson; 2016.
- [210] Raz-Silbiger S, Lifshitz N, Katz N, Steinhart S. Relationship between motor skills, participation in leisure activities and quality of life of children with Developmental Coordination Disorder: Temporal aspects. *Res Dev Disabil* 2015;38:171-80.
- [211] Kennedy-Behr A, Rodger S, Mickan S. Play or hard work: Unpacking well-being at preschool. *Res Dev Disabil* 2015;38:30-8.
- [212] 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;18:389-413.
- [213] 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.
- [214] Poulsen AA, Ziviani JM, Cuskelly M, Smith R. Boys with Developmental Coordination Disorder: Loneliness and team sports participation. *Am J Occup Ther* 2007;61:451-62.
- [215] Jarus T, Lourie-Gelberg Y, Engel-Yeger B, Bart O. Participation patterns of school-aged children with and without DCD. *Res Dev Disabil* 2011;32:1323-31.
- [216] Engel-Yeger B. Developmental Coordination Disorder and participation. In: Cairney J, editor. *Developmental Coordination Disorder and its consequences*. Toronto, ON, Canada: University of Toronto Press; 2015. p. 33-61.

- [217] Brunet O, Lézine I, Echelle de développement psychomoteur de la première enfance. Paris: ECPA-Pearson; 2001.
- [218] Vaivre-Douret L. DF-MOT- Développement fonctionnel moteur de 0 à 48 mois. Paris: ECPA-Pearson; 1999.
- [219] Wilson BN, Creighton D, Crawford SG, Heath JA, Semple L, Tan B, et al. Psychometric properties of the Canadian little developmental coordination disorder questionnaire for preschool children (Little DCDQ). *Phys Occup Ther Pediatr* 2015;35(2):116-31.
- [220] Wilson BN, Kaplan BJ, Crawford SG, Campbell A, Dewey D. Reliability and validity of a parent questionnaire on childhood motor skills (DCDQ). *Am J Occup Ther* 2000;54:484-93.
- [221] Rogé, B. Manuel de l'échelle de développement psychomoteur de Lincoln-Oseretsky (LOMBS). Paris: ECPA-Pearson; 1984.
- [222] Van Waelvelde H, Peersman W, Lenoir M, Bouwien C, Smits-Engelsman M. Convergent validity between two motor tests: Movement-ABC and PDMS-2. *Adapt Phys Activ Q* 2007a;24(1):59-69.
- [223] Watter P, Rodger S, Marinac J, Woodyatt G. Multidisciplinary assessment of children with Developmental Coordination Disorder: Using the ICF framework to inform assessment. *Phys Occup Ther Pediatr* 2008;28(4):331-52.
- [224] Kaplan BJ, Wilson BN, Dewey D, Crawford SG. DCD may not be a discrete disorder. *Human Mov Sci* 1998;17(4-5):471-90.
- [225] Vaivre-Douret L. EMG - Évaluation de la motricité gnosopraxique distale. Paris: ECPA-Pearson; 2004.
- [226] Venetsanou F, Kambas A, Aggeloussis N, Fatouros I, Taxildaris K. Motor assessment of preschool aged children: A preliminary investigation of the validity of the Bruininks-Oseretsky Test Of Motor Proficiency - short form. *Hum Mov Sci* 2009;28(4):543-50.
- [227] Vaivre-Douret L. Dyspraxie de l'enfant. *La Revue du Praticien Médecine Générale* 2019;32(100):332-36.
- [228] Crawford SG, Dewey D. Co-occurring disorders: a possible key to visual perceptual deficits in children with developmental coordination disorder. *Hum Mov Sci* 2008;27:154-69.
- [229] Loh PR, Piek JP, Barrett NC. Comorbid ADHD and DCD: examining cognitive functions using the WISC-IV. *Res Dev Disabil* 2011;32:1260-9.
- [230] Asselborn T, Chapatte M, Dillenbourg P. Extending the spectrum of dysgraphia: a data driven strategy to estimate handwriting quality. *Sci Rep* 2020;10(1):31-40.
- [231] Robert M, 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;56(6):595-600.
- [232] Langass T, Mon-Williams M, Wann JP, Pascal E, Thompson C. Eye movements, prematurity and developmental co-ordination disorder. *Vision Res* 1998;38:1817-26.
- [233] Haute Autorité de santé (HAS). Comment améliorer le parcours de santé d'un enfant avec troubles spécifiques du langage et des apprentissages ? Saint-Denis: HAS; 2017.

**Tableau 1 : Critères diagnostiques du DSM-5 concernant le trouble développemental de la coordination (TDC) [6]**

- 
- 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 (par exemple : laisser échapper ou heurter des objets), ainsi que de la lenteur et de l'imprécision dans la réalisation des tâches motrices (par exemple : attraper un objet, utiliser des ciseaux ou des couverts, écrire à la main, faire du vélo ou participer à des sports).
  - B. Les déficiences des compétences motrices du critère A interfèrent de façon significative et persistante avec les activités de la vie quotidienne correspondant à l'âge chronologique (par exemple : soins et hygiène personnelle) et ont un impact sur les performances universitaires/scolaires, les activités préprofessionnelles et 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 (par exemple : une infirmité motrice cérébrale, une dystrophie musculaire, une maladie dégénérative).
- 

**Légende figure :**

Figure 1 : Âges des populations étudiées (extrait Expertise Collective Inserm [1])  
*L'étendue de l'âge des populations analysées dans chaque étude est représentée par la longueur de chaque trait horizontal*

