

Comment évaluer les enfants ayant un trouble développemental de la coordination ?

Développement d'un outil d'évaluation ludique mesurant la coordination des enfants atteints du trouble développemental de la coordination âgés de 5 à 12 ans

ROMANE LOUETTE

CARLYNE ARNOULD

Laboratoire forme et fonctionnement humain (FFH), Pôle de recherche en sciences de la motricité, CERISIC, Départements de kinésithérapie et d'ergothérapie, Catégorie paramédicale, Haute école Louvain-en-Hainaut

romane.louette@gmail.com

arnouldc@helha.be

RÉSUMÉ. – Cette étude vise le développement d'un outil d'évaluation ludique, valide et fiable (le LUDO-TDC) capable d'investiguer de manière quantitative et qualitative la coordination des enfants atteints du trouble développemental de la coordination (TDC) âgés de 5 à 12 ans. La version expérimentale du questionnaire était composée de 49 tâches, nommées items, sélectionnées à partir d'échelles de mesure existantes et de la littérature. L'outil, présenté sous la forme d'un plateau de jeu, a été soumis à 20 enfants atteints de TDC (moyenne d'âge : 9 ± 2 ans ; sex ratio : 3 garçons/2 filles). Chaque session de jeu était filmée, puis analysée par l'expérimentateur qui attribuait, sur une échelle à 4 catégories de réponse, des scores à chaque tâche réalisée par les enfants pour évaluer quantitativement leur niveau de coordination et des scores à 10 critères qualitatifs utilisés pour évaluer les qualités avec lesquelles les enfants réalisaient l'ensemble des tâches du jeu. Les réponses ont été analysées avec le logiciel RUMM2020 qui utilise le modèle de Rasch, un modèle statistique permettant de vérifier que l'outil satisfait aux conditions d'une mesure objective. La capacité du LUDO-TDC à discriminer les enfants ayant un TDC des enfants sains du même âge et du même sexe a également été investiguée. L'analyse a montré que les deux premières catégories de réponse n'étaient pas bien discriminées et ont dû être regroupées ensemble, résultant ainsi en une échelle à 3 catégories de réponse. La version finale du LUDO-TDC, constituée de 32 items et de 8 critères qualitatifs, possède une très bonne précision de mesure (coefficient de fiabilité de 0,94

pour l'échelle quantitative et de 0,90 pour l'échelle qualitative). Le LUDO-TDC est également capable de discriminer de manière significative les enfants ayant un TDC des enfants sains du même âge ($p < 0,001$). Cette étude a donc permis de développer un outil d'évaluation unidimensionnel et fiable, le LUDO-TDC, capable d'évaluer la coordination des enfants atteints de TDC âgés de 5 à 12 ans. Les propriétés métriques de l'outil devraient permettre aux cliniciens travaillant avec des enfants atteints de TDC de faire un état des lieux du niveau de coordination de ces enfants, ainsi que de personnaliser le plan de rééducation et d'en vérifier son efficacité.

ABSTRACT. – This study aims to develop an enjoyable, valid and reliable assessment tool (the FUN-DCD) capable of quantitatively and qualitatively assessing the coordination of children between the ages of 5 and 12 with Developmental Coordination Disorder (DCD). The experimental version of the questionnaire was composed of 49 tasks, called items, selected from existing measurement scales and from the relevant literature. This tool, presented in the form of a board game, was submitted to 20 children with DCD (mean age of 9 ± 2 years; sex ratio of 3 boys to 2 girls). Each game session was video-taped and then analysed by the examiner. Scores were then attributed, on a scale with 4 response categories, for each task performed by the children in order to quantitatively evaluate their level of coordination. Additionally, scores were also attributed on a scale with 4 response categories, for 10 qualitative criteria used to assess the qualities with which the children completed the entire set of game tasks. The responses were analysed with RUMM2020 software which uses the Rasch model, a statistical model able to verify that the tool satisfies the criteria of an objective measurement. The capacity of the FUN-DCD to discriminate between children with DCD and healthy children of the same age and sex was also investigated. Analysis showed that the first two response categories were not well discriminated and should have been grouped together, thus resulting in a scale with 3 response categories. The final version of the FUN-DCD, consisting of 32 items and 8 qualitative criteria, displays a very high level of measurement precision (reliability coefficient of 0.94 for the quantitative scale, and 0.90 for the qualitative scale). The FUN-DCD was also able to discriminate children with DCD from healthy children of the same age ($p < 0.001$). This study has therefore enabled the elaboration of a reliable, unidimensional assessment tool, the FUN-DCD, capable of assessing the coordination level of children between the ages of 5 and 12 with DCD. The metric properties of the tool should allow clinicians working with children suffering from DCD to obtain an overview of the level of coordination of these children, as well as to customize their rehabilitation program and verify its efficiency.

MOTS-CLÉS. – Trouble développemental de la coordination — Dyspraxie — Coordination — Évaluation ludique — Modèle de Rasch

Plan de l'article

1. Introduction

2. Méthodes

2.1. Participants

2.2. Développement de l'outil d'évaluation LUDO-TDC

2.3. Procédure d'utilisation de l'outil d'évaluation LUDO-TDC

2.4. Analyses statistiques

2.4.1. Modèle de Rasch

2.4.2. Sélection des items et des critères pour créer le LUDO-TDC

2.4.3. Fiabilité des échelles de mesure du LUDO-TDC

2.4.4. Validité des échelles de mesure du LUDO-TDC
3. Résultats
3.1. Participants
3.2. Sélection des items et des critères du LUDO-TDC
3.2.1. Sélection des items du LUDO-TDC quantitatif
3.2.2. Sélection des items du LUDO-TDC qualitatif
3.3. Contenu du LUDO-TDC
3.4. Propriétés métriques du LUDO-TDC
3.5. Description du LUDO-TDC quantitatif
3.6. Description du LUDO-TDC qualitatif
3.7. Fiabilité du LUDO-TDC
3.8. Validité du LUDO-TDC
4. Discussion
5. Conclusion
Annexes
Annexe 1. Systèmes de cotation
A1.1. Système de cotation quantitatif
A1.2. Système de cotation qualitatif
Annexe 2. Détails quant aux analyses statistiques
A2.1. Modèle de Rasch
A2.2. Sélection des items et des critères pour créer le LUDO-TDC
A2.3. Fiabilité des échelles de mesure du LUDO-TDC
A2.4. Validité des échelles de mesure du LUDO-TDC
Annexe 3. Sélection des items du LUDO-TDC
A3.1. Sélection des items du LUDO-TDC quantitatif
A3.2. Sélection des items du LUDO-TDC qualitatif
Annexe 4. Nombres d'items retenus dans chaque domaine de coordination en fonction de la phase de développement du LUDO-TDC quantitatif

1. Introduction

Durant l'enfance, l'homme acquiert en très peu de temps un nombre incalculable d'habiletés motrices (i.e., capacités, se développant suite à un apprentissage, à réaliser des tâches à un niveau élevé d'efficacité) indispensables à sa survie et à son intégration dans la société (Geuze, 2005 ; Leplat, 2001). Ce rapide développement moteur résulte de l'interaction de l'homme avec son environnement (Geuze, 2005). En effet, soumis à des contraintes, mais aussi à des modèles, il apprend par imitation, essais-erreurs, répétition et entraînement (Gérard, & Brun, 2005 ; Pannetier, 2007). Ces apprentissages permettent d'établir des répertoires de gestes dirigés vers un but observable (Gérard, & Brun, 2005 ; Mazeau, & Le Lostec, 2010) ou des praxies. Les praxies sont des « séquences de mouvements aboutissant à la réalisation d'un geste volontaire, intentionnel, qui permet d'interagir avec le monde extérieur » (Pannetier, 2007). Ces praxies sont de véritables fichiers contenant la programmation cérébrale nécessaire pour réaliser des séquences de mouvements complexes (Broca, 2009 ; Pannetier, 2007). Il suffit ensuite à l'enfant d'ouvrir le programme moteur

correspondant à l'action qu'il veut réaliser pour que s'exécutent les séquences motrices, spatiales et temporelles qui permettront aux gestes d'être fluides, harmonieux et surtout automatisés (Pannetier, 2007). Ce dernier point signifie que l'enfant ne doit plus réfléchir à la tâche (e.g., écrire) qu'il est en train de faire et que des espaces cognitifs sont libérés pour servir à la réalisation d'une seconde tâche (e.g., écouter l'institutrice) (Pannetier, 2007).

Néanmoins, il arrive que le développement moteur de l'enfant ne se fasse pas toujours de manière appropriée. L'enfant peut ressentir des difficultés dans l'apprentissage des habiletés motrices et peiner à appliquer les principes de coordination censés lui permettre d'interagir facilement et de maintes façons avec son environnement (Geuze, 2005). Les coordinations sont en effet essentielles aux mouvements et aux déplacements quotidiens de l'homme. Elles permettent de réaliser des gestes bien définis et précis grâce à l'action conjuguée du système nerveux central et de la musculature squelettique (Leplat, 2001). Lorsque les praxies et les coordinations se mettent difficilement en place alors que l'enfant a été soumis à un apprentissage habituel et qu'il ne semble pas y avoir d'étiologie à ces troubles, le diagnostic d'un trouble développemental de la coordination (TDC) est posé (Mazeau & Le Lostec, 2010).

Bien que plusieurs terminologies soient utilisées pour décrire les enfants présentant des troubles praxiques et de coordination d'origine développementale, c'est le terme TDC utilisé dans le *Manuel diagnostic et statistique des troubles mentaux* (DSM-IV et DSM-V) de l'*American Psychiatric Association* (1994; 2013) qui a été choisi internationalement (Vaivre-Douret *et al.*, 2011) et est recommandé par l'*European Academy for Childhood Disability* (EACD) (Blank *et al.*, 2012). Le DSM-V (2013) définit le TDC au travers de quatre critères. Premièrement, l'acquisition ou l'exécution de la coordination motrice est nettement en-dessous du niveau escompté compte tenu de l'âge chronologique et des opportunités pour l'apprentissage et la mise en pratique de nouvelles habiletés. Les difficultés se manifestent par de la maladresse (e.g., des objets qui s'échappent des mains), une vitesse d'exécution lente ou de mauvaises performances dans les habiletés motrices (e.g., utiliser des ciseaux, écrire, faire des activités sportives). Deuxièmement, la perturbation décrite dans le premier critère interfère de manière significative et persistante avec la performance dans les activités de la vie courante (appropriées pour l'âge chronologique) et a un impact sur la réussite scolaire/académique, les activités préprofessionnelles et professionnelles, les loisirs et les jeux. Troisièmement, les premiers symptômes apparaissent tôt dans le développement de l'enfant. Quatrièmement, les difficultés motrices ne sont pas consécutives à une déficience intellectuelle ou à un

problème visuel et ne sont pas attribuables à une condition neurologique. Bien que le terme de « dyspraxie développementale » reste largement utilisé dans les pays francophones, nous avons préféré employer l'appellation TDC, plus utilisée au niveau international, et la définition donnée par le DSM-V. En effet, cette définition exprime bien les difficultés éprouvées par les enfants atteints de TDC : ils sont maladroits et lents et leur TDC perturbe la réalisation de leurs activités de la vie journalière et leur scolarité.

Environ 6% des enfants âgés de 5 à 11 ans sont atteints de TDC (Breton, & Léger, 2007 ; Missiuna *et al.*, 2006), avec un « sex ratio » estimé à 3-4 garçons pour 1 fille (Kadesjö, & Gillberg, 1998 ; Kirby, Sugden, & Purcell, 2014). Les enfants sont souvent considérés à tort comme immatures, maladroits et paresseux. En réalité, il s'agit d'enfants qui souffrent de se retrouver dans une perpétuelle situation d'échec et qui dépensent, en vain, beaucoup d'énergie sur le plan cognitif afin de tenter d'aboutir aux objectifs demandés. Ils perdent alors confiance en eux et sont en proie à l'anxiété et à la tristesse qui peut même évoluer vers un état dépressif (Breton, & Léger, 2007 ; Gibbs, Appleton, & Appleton, 2007). Ils finissent par s'isoler des autres enfants car ils sont conscients qu'ils sont différents. Ils remarquent qu'ils sont beaucoup plus lents que leurs camarades, beaucoup plus maladroits et beaucoup plus vite fatigués aussi. Pour toutes ces raisons, ils sont souvent mis de côté lors des jeux de groupes et préféreront la compagnie des adultes. Ce sont des enfants qui sont souvent bavards car leur quotient intellectuel (QI) verbal élevé, nettement supérieur à leur QI performance, leur permet de compenser oralement les difficultés qu'ils rencontrent lors de l'expression écrite (Albaret, 1999).

La prise en charge conseillée face à un diagnostic de TDC est pluridisciplinaire et s'organise au cas par cas. Lors de celle-ci, il est important que les professionnels évaluent de manière spécifique les domaines déficitaires afin de pouvoir cibler au mieux la rééducation. À l'heure actuelle, il existe un certain nombre d'outils de mesure pour évaluer ces domaines (Breton, & Léger, 2007). L'outil le plus fréquemment utilisé et mentionné dans la littérature française et anglo-saxonne pour évaluer la coordination des enfants atteints de TDC âgés de 4 à 12 ans est la Batterie d'Évaluation du Mouvement chez l'Enfant (M-ABC) (Henderson, & Sugden, 1992). Cependant, il ne s'agit pas pour autant d'un « gold standard » (Venetsanou *et al.*, 2011). En effet, cet outil ne contient que huit items classés en trois sections distinctes (dextérité manuelle, maîtrise de balle et équilibre) (Geuze, 2005). Les tâches sont réalisées les unes après les autres et sont évaluées par un système de cotation principalement basé sur la réussite ou l'échec. Un deuxième système de cotation qualitatif complète

le premier mais il ne s'intéresse qu'au contrôle du corps, de la posture et à l'adaptation de l'enfant aux exigences des tâches (Gérard, & Brun, 2005). Le thérapeute ne dispose donc que de peu d'informations précises et qualitatives sur la réalisation de chaque tâche et ne recherche pas l'amusement de l'enfant lors de la passation du test. Il serait donc intéressant de développer un outil ludique capable de donner des informations pertinentes et précises aux thérapeutes tant par rapport à la capacité des enfants atteints de TDC à réaliser des tâches nécessitant de la coordination (évaluation quantitative) que par rapport aux qualités (e.g., vitesse et précision d'exécution des mouvements) avec lesquelles les enfants réalisent l'ensemble de ces tâches (évaluation qualitative). Rajouter un aspect ludique lors de l'évaluation paraît essentiel afin que l'évaluation se transforme en un moment de récréation sans générer de situations stressantes et de frustrations supplémentaires si l'enfant échoue à certaines tâches. L'utilisation d'un système de notation qualitatif et l'idée de présenter le test sous la forme d'un jeu sont inspirées du *Assisting Hand Assessment* (Krumlinde-Sundholm & Eliasson, 2003) qui évalue qualitativement les performances de la main assistante chez les enfants atteints de paralysie cérébrale unilatérale au travers d'une succession de missions à réaliser pour secourir un ami prisonnier d'un sorcier (jeu de la forteresse) ou pour pouvoir quitter une planète avec sa navette endommagée (jeu de l'extraterrestre) (Romein, & Bard, 2011).

Cependant, la coordination appartient au domaine des variables latentes, cachée au sein de l'individu comme l'intelligence, la douleur ou l'altruisme (Penta *et al.*, 2001). Il est donc impossible de la mesurer directement comme on mesurerait la longueur d'un objet à l'aide d'un mètre. C'est au travers des comportements, des performances observables que l'on peut donner une valeur à cette variable. Classiquement, un score est attribué à la performance observée dans chacune des tâches/épreuves, aussi appelées items, de l'outil d'évaluation que la personne doit réaliser. Des scores totaux bruts sont ainsi obtenus en sommant les scores d'une personne aux différents items de l'outil de mesure (Penta, Arnould, & Decruynaere, 2005). Ces scores totaux sont observés sur une échelle ordinale : plus le niveau de coordination de l'enfant est important et plus le score total est élevé. Ils ont une validité limitée, surtout lorsque des comparaisons quantitatives doivent être faites entre les personnes ou au cours du temps (Merbitz, Morris, & Grip, 1989; Wright & Linacre, 1989). En effet, les scores totaux ordinaux permettent de comparer le niveau de coordination des enfants en termes de « plus grand que », « plus petit que » ou « égal à », mais ne permettent pas de quantifier la quantité de progrès ou de détérioration effectuée(e) (Penta, Arnould, & Decruynaere, 2005). L'utilisation inadéquate de ces scores peut mener à des interprétations cliniques erronées. Les décisions

et actions thérapeutiques peuvent alors être inadéquates et avoir un impact néfaste sur la vie de l'enfant.

Suite aux limitations des scores totaux ordinaux, le modèle probabiliste de Rasch a été développé (Rasch, 1980) par le mathématicien du même nom. Ce modèle est de plus en plus utilisé dans le développement des outils de mesures de santé (Couturat, 2012). Il permet de convertir les scores totaux ordinaux en mesures à intervalles localisées sur une échelle linéaire dont l'unité de mesure est constante (Penta, Arnould, & Decruynaere, 2005). En outre, ce modèle statistique permet de vérifier si les qualités psychométriques nécessaires à une mesure objective sont rencontrées dans l'outil de mesure (Arnould *et al.*, 2012).

L'objectif de cette étude est le développement d'un outil d'évaluation ludique et fiable, le LUDO-TDC, mesurant quantitativement et qualitativement la coordination des enfants atteints de TDC âgés de 5 à 12 ans. La validité du LUDO-TDC sera également investiguée en vérifiant si l'outil est capable de discriminer les enfants atteints de TDC des enfants sains du même âge et du même sexe.

2. Méthodes

2.1. Participants

Pour faire partie de l'échantillon d'enfants atteints de TDC, les participants devaient être diagnostiqués d'un trouble développemental de la coordination ou d'une dyspraxie développementale, ainsi qu'être âgés de 5 à 12 ans. Cette limite d'âge inférieure a été définie d'après l'étude longitudinale de Silva & Ross qui montre qu'avant l'âge de 5 ans, le développement moteur de l'enfant n'est pas stable et que le système perceptivo-moteur n'est pas suffisamment établi pour permettre un diagnostic fiable (d'après Geuze, 2005). En effet, les enfants doivent avoir été exposés « aux apprentissages préscolaires et structurés de la part de l'adulte, ainsi qu'avoir construit les repères topologiques (au-dessus, en-dessous, ...) et corporels qui sont des bases indispensables à l'élaboration des praxies » (Gérard, & Brun, 2005). Ils doivent autrement dit avoir déjà acquis certaines praxies et ne plus être dans une phase de découvertes et d'apprentissages purs. Concernant la limite d'âge supérieure, elle correspond, en Belgique, à la fin des études primaires et au début des études secondaires. Il semblait, en effet, difficile d'élaborer un jeu qui soit attractif à la fois pour les enfants d'âge primaire et les adolescents. Les enfants atteints de TDC ne devaient présenter

aucune déficience mentale. Leur quotient intellectuel devait donc être supérieur à 70 (valeur indiquant une déficience mentale légère). Enfin, les enfants présentant des antécédents neurologiques connus, des troubles neuromoteurs ou neurosensoriels n'étaient pas inclus dans l'étude car il aurait été impossible de définir la part de responsabilité du TDC par rapport aux autres troubles. Le recrutement des enfants atteints de TDC s'est déroulé entre juin 2014 et février 2015. Des demandes de participation à l'étude ont été introduites auprès de 2 hôpitaux, de 2 cliniques, de 7 centres de rééducation et de 3 professionnels indépendants. Seule une neuropsychogogue indépendante a désiré s'impliquer dans le projet et a permis le recrutement de 8 enfants. Les autres enfants ($n = 12$) ont été recrutés par le biais de forums internet de parents ayant un enfant atteint de TDC. Seize parents, contactés sur deux forums différents, se sont montrés intéressés et 12 d'entre eux ont accepté que leurs enfants participent à l'étude. L'échantillon d'enfants atteints de TDC incluait donc 20 enfants.

Un échantillon contrôle d'enfants sains, âgés de 5 à 12 ans, a également été recruté en février 2015 dans un établissement scolaire d'enseignement primaire ordinaire et lors d'un stage d'animation de vacances afin d'investiguer la capacité du LUDO-TDC à discriminer les enfants atteints de TDC des enfants sains du même âge et du même sexe. À cette fin, chaque enfant sain a été apparié en âge et en sexe avec un pair atteint de TDC. Les enfants sains ne devaient pas présenter de pathologie qui puisse avoir un impact sur leur coordination.

L'étude a reçu l'autorisation d'être menée par le comité d'éthique belge *Academic Ethical Committee Brussels Alliance for Research and Higher Education*. Les enfants atteints de TDC ainsi que les enfants sains et leurs parents ont été informés du but de l'étude et du déroulement de celle-ci. Tous les parents des participants de l'étude ont donné leur consentement éclairé par écrit.

2.2. Développement de l'outil d'évaluation LUDO-TDC

L'outil d'évaluation a été conçu de manière à couvrir le plus largement possible les différents domaines de coordination. La version préliminaire de l'outil comportait 155 items qui ont été repris ou inspirés d'échelles et outils d'évaluation existants tels que la Batterie d'Évaluation du Mouvement chez l'Enfant (M-ABC) (Henderson & Sugden, 1992, Venetsanou *et al.*, 2011), le *Assisting Hand Assessment* (AHA) (Krumlinde-Sundholm & Eliasson, 2003), le questionnaire d'Activités de la Vie Quotidienne (AVQ) (Geuze, 2005), le questionnaire des Habilités Motrices Précoces (*Early Years Movement Skills Checklist*,

EYMSC) (Chambers & Sugden, 2002), le questionnaire ABILHAND-Kids (Arnould *et al.*, 2004), le Questionnaire d'Observation Motrice pour les Enseignants (*Motor Observation Questionnaire for Teachers*, MOQ-T) (Van Dellen, Vaessen, & Schoemaker, 1990), le *Developmental Coordination Disorder Questionnaire* (DCDQ, version 2007) (Wilson *et al.*, 2000), les *Children Activity Scales* (ChAS-P/T) (Rosenblum, 2006), les *McCarthy Scales of Children's Abilities* (MSCA) (Goldstein & Naglieri, 2011), le bilan neuropsychologique de l'enfant (NEPSY-II) (Volkmar, 2013), le *Test of Gross Motor Development 2* (TGMD-2) (Kim, Park, & Kang, 2012), le test de développement moteur de Bruininks-Ozeretsky (BOT-2, version 2005) (Goldstein & Naglieri, 2011), le test de Lincoln-Ozeretsky (Albaret & Castelnau, 2004) et l'échelle des coordinations motrices de Charlop-Atwell (Albaret & Noack, 1993). La version préliminaire de l'outil incluait 61 items de coordination motrice globale (i.e., activités nécessitant des mouvements coordonnés globaux du tronc et des membres) et 94 items de coordination motrice fine (i.e., activités nécessitant des mouvements de préhension et de manipulation d'objets avec les mains et les doigts).

Ces 155 items ont été soumis à trois experts travaillant avec des enfants atteints de TDC (un neuropsychologue, un ergothérapeute et un kinésithérapeute). Ils devaient estimer la pertinence des items et proposer d'éventuelles adaptations. Cent-vingt-et-un items ont été supprimés car ils étaient jugés trop faciles pour la population visée (33 items ; e.g., « manger avec une cuillère »), redondants (25 items ; e.g., « faire rebondir une balle sur le sol et la rattraper » et « faire rebondir une balle contre un mur et l'attraper » ; un seul des deux items redondants était alors conservé) ou étaient difficiles à intégrer dans un jeu de plateau (63 items ; e.g., « équilibre sur une jambe sur une poutre »). Vingt-huit items ont quant à eux été modifiés au niveau de leur contenu et/ou de leur formulation afin, soit d'en améliorer la compréhension, soit de les rendre plus ludiques (e.g., « reproduire des mouvements de doigts montrés » modifié en « faire pierre, papier, ciseaux des deux mains simultanément »). Neuf items ont enfin été ajoutés sur avis des 3 experts qui les jugeaient pertinents (e.g., « ouvrir/fermer un bocal avec un double système de fermeture »). L'opinion de deux parents a également été sollicitée afin d'avoir un autre point de vue, tout aussi pertinent puisqu'ils observent quotidiennement les répercussions du TDC sur la vie de leur enfant. Cependant, aucune modification n'a dû être opérée à ce stade de la sélection des items.

Une histoire (i.e., l'enfant doit faire un long voyage et relever des défis pour délivrer un apprenti magicien emprisonné par un sorcier) a été inventée autour

des 43 items afin de rendre l'évaluation de la coordination des enfants atteints de TDC ludique. À chaque étape du jeu correspondait une carte qui expliquait les défis à relever pour sauver l'apprenti magicien. L'évaluation devait avant tout être un moment de jeu et d'amusement pour les enfants et non une session de mesure analytique stressante. Ce principe a été repris du *Assisting Hand Assessment* (AHA), un outil d'évaluation mesurant l'efficacité avec laquelle la main assistante d'enfants souffrant d'une atteinte unilatérale aide la main saine dans la réalisation de tâches bimanuelles (Krumlinde-Sundholm & Eliasson, 2003). La fabrication de l'outil sous la forme d'un plateau de jeu a ensuite été réalisée. Le jeu était composé d'un grand plateau de jeu illustré, de 10 cartes à jouer (défis à relever regroupant plusieurs tâches), et d'une boîte remplie de jouets et d'accessoires nécessaires à la réalisation du jeu.

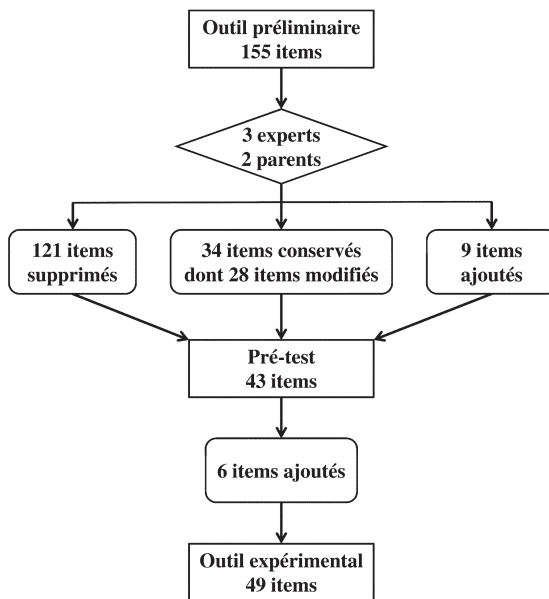


Figure n°1.

Processus du développement du LUDO-TDC : de la version préliminaire à la version expérimentale.

Un pré-test du jeu a ensuite été réalisé sur deux enfants sains (une fille de 6 ans et un garçon de 8 ans) afin que l'expérimentateur se familiarise avec l'outil, afin d'estimer le temps de passation du test, de vérifier le caractère ludique du jeu, et de voir si la formulation des items était parfaitement compréhensible pour les enfants. Suite à ce pré-test, 6 items naturellement présents dans le déroulement du jeu (e.g., « resserrer la taille d'un pantalon en faisant un nœud

simple ») ont été intégrés aux 43 items sélectionnés par les experts. Des fiches avec la représentation dessinée de certaines activités (e.g., « faire pierre, papier, ciseaux des deux mains simultanément ») ont également été créées afin d'illustrer les tâches à effectuer par l'enfant dans le cas où ce dernier ne comprendrait pas l'explication verbale. La version expérimentale du LUDO-TDC se composait donc de 49 items. La figure 1 présente le processus de développement de l'outil, de sa version préliminaire à sa version expérimentale.

2.3. Procédure d'utilisation de l'outil d'évaluation LUDO-TDC

L'examineur disposait d'instructions claires consignées dans un petit livret afin de pouvoir standardiser chaque session de jeu. La passation du jeu devait avoir lieu dans un endroit calme aménagé d'une table et de deux chaises. L'enfant devait être assis sur une chaise dont la hauteur, adaptée à sa taille, lui permettait d'avoir la surface de la table juste en-dessous de ses coudes (lorsque les coudes étaient fléchis à 90°). Cette position lui permettait de jouer sans faire de compensations. L'enfant devait retrousser ses manches s'il portait des manches longues afin de faciliter l'observation des mouvements des bras et avant-bras. Il devait également ôter ses chaussures et ses chaussettes en prévision de certaines épreuves du jeu. L'examineur devait être assis en face de l'enfant afin de pouvoir lui tendre les jouets et les accessoires nécessaires au jeu. La session de jeu était filmée afin que l'examineur puisse interagir avec l'enfant pour la rendre ludique et afin de faciliter le travail ultérieur de cotation (Krumlinde-Sundholm & Eliasson, 2003 ; Romein & Bard, 2011).

La durée d'une session de jeu était variable d'un enfant à l'autre. Elle durait entre 20 et 60 minutes (moyenne = 48 ± 12 minutes). L'enfant ne devait à aucun moment s'imaginer que c'était un test. L'examineur devait par conséquent rendre le moment amusant et ne jamais laisser l'enfant en situation d'échec et de frustration. C'est pourquoi une aide (verbale ou physique) était autorisée.

Un double système de cotation polytomique (composé de plus de 2 catégories de réponse ordonnées) a été mis en place afin d'évaluer quantitativement et qualitativement le niveau de coordinations des enfants atteints de TDC. Le premier système de cotation quantitatif évaluait la capacité de l'enfant à réaliser chaque item du jeu sur une échelle à 4 catégories de réponse : 0 = réalisation impossible de la tâche, 1 = beaucoup de difficultés qui affectent la réalisation de la tâche, 2 = légères difficultés qui n'affectent pas ou peu la réalisation de la tâche, et 3 = aucune difficulté à réaliser la tâche. Le second système de cotation

qualitatif a été inspiré du système de cotation du AHA (Krumlinde-Sundholm & Eliasson, 2003) et consistait à évaluer 10 qualités (aussi appelés critères qualitatifs) avec lesquelles les enfants réalisaient l'ensemble des tâches. Les critères qualitatifs évalués étaient les suivants : la vitesse, l'harmonie des mouvements, la coordination, l'organisation séquentielle des gestes, la précision, l'adresse, le calibrage de la force, l'utilisation correcte des objets/outils, la capacité d'effectuer des doubles tâches, et la persévérance dans les erreurs. L'évaluation qualitative était transversale à toutes les tâches du jeu et se basait sur la performance la plus souvent observée lors de la session de jeu. La cotation qualitative se faisait également sur une échelle à 4 niveaux de réponse (de 0 à 3) dont la signification globale était similaire au système de cotation quantitatif tout en étant adapté à chacun des 10 critères qualitatifs. L'annexe 1 explique en détails les deux systèmes de cotation avant et après l'analyse par le modèle de Rasch.

2.4. Analyses statistiques

2.4.1. Modèle de Rasch

Les scores quantitatifs et qualitatifs obtenus suite à la vision des vidéos des sessions de jeu des enfants atteints de TDC ont été analysés à l'aide du logiciel RUMM2020® (Laboratoire RUMM Pty Ltd, Perth, Western Australia) (Andrich, Sheridan, & Luo, 2004; Andrich & Sheridan, 2005) qui utilise le modèle de Rasch (1980). Ce dernier prescrit que la probabilité que l'examineur attribue un certain score à l'enfant dépend uniquement de son niveau de coordination, de la difficulté de l'item (échelle de cotation quantitative) ou du critère qualitatif (échelle de cotation qualitative) et de la difficulté des seuils. Les seuils des items/critères correspondent au niveau de coordination pour lequel deux catégories de réponse adjacentes ont la même probabilité d'apparition. Autrement dit, c'est le niveau de coordination nécessaire pour obtenir une probabilité identique que l'examineur choisisse « beaucoup de difficultés » plutôt qu'« impossible », ou « légères difficultés » plutôt que « beaucoup de difficultés », ou encore « aucune difficulté » plutôt que « légères difficultés ». Les seuils constituent les graduations de l'échelle de mesure.

Le modèle de Rasch transforme de manière logarithmique les scores totaux bruts (i.e., la somme des scores à chacun des items/critères), qui sont des données ordinales, en mesures à intervalles exprimées en logits. Le logit est une unité de mesure, constante à travers toute l'échelle de mesure, qui exprime le niveau de coordination d'un enfant nécessaire pour réaliser un item ou le niveau de sa performance en terme de qualité à travers l'ensemble des tâches du

jeu. Pour une interprétation plus aisée de l'échelle de mesure, le logit a ensuite été converti sur une échelle en centiles (en pour cent).

L'analyse des scores du système de cotation quantitatif s'est faite séparément de celle du système de cotation qualitatif. Il s'agit de deux échelles de mesure distinctes que le clinicien pourra choisir en fonction de ses besoins.

2.4.2. Sélection des items et des critères pour créer le LUDO-TDC

À partir de l'analyse vidéo des 49 items et des 10 critères qualitatifs, des analyses successives ont été effectuées afin de supprimer les items et critères qualitatifs ne satisfaisant pas aux critères d'une mesure objective (i.e., items/critères non extrêmes, dont les catégories de réponse sont ordonnées, bien ciblés par rapport à l'échantillon, unidimensionnels, présentant une indépendance locale). Le lecteur intéressé trouvera plus de détails quant au modèle de Rasch et quant à la sélection des items/critères dans l'annexe 2.

2.4.3. Fiabilité des échelles de mesure du LUDO-TDC

La fiabilité est un concept théorique qui indique la quantité d'erreurs de mesure associée aux scores. Idéalement, les mesures observées ne devraient refléter que la quantité de la variable mesurée, à savoir la coordination et la performance qualitative avec laquelle les tâches nécessitant une coordination sont réalisées. Cependant, en pratique, ces mesures sont toujours entachées d'un certain degré d'erreurs. Un coefficient de fiabilité (R) proche de 1 signifie que l'outil est fiable car les mesures observées représentent essentiellement les capacités réelles des enfants.

Un autre indice de fiabilité, l'index de séparation des personnes (G), a été développé dans le cadre du modèle de Rasch (Penta, Arnould, & Decruynaere, 2005). Cet index permet de calculer le nombre de niveaux de coordination/performance qualitative différents qui peuvent être statistiquement distingués, grâce au LUDO-TDC, à l'intérieur de l'échantillon (Fisher, 1992; Penta, Arnould, & Decruynaere, 2005). Les formules du coefficient de fiabilité, de l'index de séparation des personnes, et du nombre de niveaux de coordination/performance qualitative statistiquement distingués sont indiquées dans l'annexe 2.

2.4.4. Validité des échelles de mesure du LUDO-TDC

La validité conceptuelle ou théorique consiste à vérifier que les mesures de l'outil supportent les concepts théoriques qu'elles sont censées refléter (Penta,

Arnould, & Decruynaere, 2005). Une des hypothèses théoriques facilement vérifiable est que les niveaux de coordination et les performances qualitatives réalisées lors de tâches nécessitant une coordination des enfants atteints de TDC devraient être inférieurs à ceux des enfants sains du même âge. Afin de vérifier cette hypothèse, des enfants sains ont été évalués au LUDO-TDC et ont été appariés en âge et en sexe aux enfants atteints de TDC (cf. annexe 2). La comparaison des mesures de coordination et des performances qualitatives des enfants ayant un TDC avec celles des enfants sains a été effectuée à l'aide d'un test *t*-paire car les données satisfaisaient les critères de normalité et d'homoscédasticité. Une *p*-valeur inférieure à 0,05 indique une différence statistiquement significative entre les deux groupes d'enfants.

3. Résultats

3.1. Participants

Le tableau 1 présente la description de l'échantillon des enfants atteints d'un TDC ($n=20$). L'âge moyen des enfants était de 9 ans (± 2 ans). Aucun enfant de 5 ans n'a été évalué bien que l'outil d'évaluation ait été conçu pour évaluer des enfants dès cet âge. Les garçons étaient plus représentés dans l'échantillon que les filles avec un ratio de 3:2. Les enfants de l'échantillon étaient majoritairement droitiers (75%). Dix-huit enfants suivaient un enseignement ordinaire dont 4 bénéficiaient d'une aide du service d'aide à l'intégration et 2 enfants étaient inscrits dans un enseignement spécialisé de type 8 (troubles des apprentissages ici liés à de troubles de langage de type dysphasie). Dans notre échantillon, seul 5% des enfants avaient reçu le diagnostic de TDC. Quarante-cinq pour cent des enfants avaient reçu le diagnostic d'une dyspraxie développementale (DD) visuo-spatiale, 30% celui d'une DD de l'habillage, 10% celui d'une DD constructive, 10% celui d'une DD sans type spécifié, et 5% celui d'une DD idéatoire. Tous les enfants, excepté deux, étaient pris en charge par des professionnels de la santé, principalement des logopèdes (80%) et des neuropsychologues (45%).

L'échantillon des enfants sains ($n=20$) présentait les mêmes caractéristiques en terme d'âge et de sexe que l'échantillon d'enfants atteints de TDC puisque les enfants étaient appariés sur base de ces critères. Nonante-cinq pour cent de l'échantillon d'enfants sains étaient droitiers et tous les enfants étaient dans l'enseignement ordinaire.

Age (en années), moyenne \pm SD [min-max]	9 \pm 2 [6 - 12]
Sexe	
Garçons	12
Filles	8
Latéralité	
Droitier	15
Gaucher	4
Ambidextre	1
Type d'enseignement	
Ordinaire	14
Ordinaire avec service d'aide à l'intégration (SAI)	4
Spécialisé (type 8)	2
Diagnostic	
TDC	1
Dyspraxie développementale visuo-spatiale	17
Dyspraxie développementale de l'habillage	6
Dyspraxie développementale constructive	2
Dyspraxie développementale sans type spécifié	2
Dyspraxie développementale idéatoire	1
Rééducation	
Logopédie	16
Neuropsychologie	9
Autres (pédopsychiatrie, graphothérapie, orthoptie, ...)	7
Psychomotricité	5
Kinésithérapie	3
Ergothérapie	2
Aucune	2

Tableau n°1.
Description de l'échantillon d'enfants atteints de TDC (n=20)

TDC = trouble développemental de la coordination; SD = écart-type; min = minimum; max = maximum.

3.2. Sélection des items et des critères du LUDO-TDC

3.2.1. Sélection des items du LUDO-TDC quantitatif

Une analyse préalable a mis en évidence que les 4 catégories de réponse de la majorité des items n'étaient pas utilisées comme postulé à priori. En effet, les deux premières catégories de réponse (« réalisation impossible de la tâche » (0) et « beaucoup de difficultés qui affectent la réalisation de la tâche » (1))

n'étaient pas bien discriminées à cause du faible taux de réponses qui y était observé. Les deux premières catégories de réponse ont donc été regroupées ensemble, résultant ainsi en une échelle à 3 catégories de réponse : 0 = « grandes difficultés » (qui affectent la réalisation de la tâche ou qui la rendent impossible à réaliser), 1 = « légères difficultés » (qui n'affectent pas ou peu la réalisation de la tâche), et 2 = « aucune difficulté » (à réaliser la tâche) (cf. annexe 1).

Dix-sept items ne satisfaisaient pas aux critères d'une mesure objective et ont donc été supprimés. Trente-deux items unidimensionnels non extrêmes, bien ciblés par rapport à l'échantillon, ayant les 3 catégories de réponse ordonnées et présentant une indépendance locale constituent donc la version finale du LUDO-TDC quantitatif. Le lecteur intéressé trouvera le détail de la sélection des items du LUDO-TDC quantitatif dans l'annexe 3.

3.2.2. Sélection des items du LUDO-TDC qualitatif

Une analyse préalable a également mis en évidence que les 4 catégories de réponse de la majorité des critères qualitatifs n'étaient pas utilisées comme postulé a priori. À nouveau, les deux premières catégories de réponse n'étaient pas bien discriminées à cause du faible taux de réponses qui y était observé. Elles ont donc été regroupées ensemble, résultant ainsi en une échelle à 3 catégories de réponse dont la signification globale était similaire au LUDO-TDC quantitatif tout en étant adapté à chacun des 10 critères qualitatifs (cf. annexe 1). Une échelle dichotomique (0 = « difficultés » et 1 = « aucune difficulté » ; regroupement des deux premières catégories de l'échelle de réponse à 3 catégories) a dû être mise en place pour deux critères qualitatifs « faciles » (i.e., « calibrage de la force » et « utilisation correcte des objets ») (cf. annexe 1). En effet, la catégorie de réponse « grandes difficultés » (0) n'était jamais observée dans l'échantillon pour ces deux critères qualitatifs (cf. annexe 3).

Deux critères qualitatifs ne satisfaisaient pas aux critères d'une mesure objective et ont donc été supprimés. Huit critères qualitatifs unidimensionnels non extrêmes, bien ciblés par rapport à l'échantillon, ayant des catégories de réponse ordonnées (3 catégories pour 6 critères, 2 catégories pour 2 critères) et présentant une indépendance locale constituent donc la version finale du LUDO-TDC qualitatif. Le lecteur intéressé trouvera le détail de la sélection des items du LUDO-TDC qualitatif dans l'annexe 3.

3.3. Contenu du LUDO-TDC

La version finale du LUDO-TDC est tout d'abord composée d'une échelle de mesure quantitative constituée de 32 items investiguant 7 domaines de

coordination. Le LUDO-TDC quantitatif inclut 8 items de coordination motrice globale et 24 items de coordination motrice fine. Les 8 items de coordination globale couvrent les domaines de coordinations locomotrices (3 items mettant en action tout le corps qui se déplace [e.g., « faire un demi-tour sur soi-même en sautant »]), de coordinations manipulatoires (2 items bilatéraux mettant en action les membres pour contrôler/bouger les objets [e.g., « dribbler sur place en alternant les mains »]), et de coordinations non-locomotrices (3 items mettant en action le corps sans déplacement [e.g., « frapper du pied droit et de la main controlatérale »]). Les 24 items de motricité fine couvrent les domaines des praxies idéatoires (18 items nécessitant une organisation séquentielle de gestes à effectuer pour manipuler un objet [e.g., « découper la forme dessinée », « ouvrir le cadenas avec la clé », « fermer le petit bouton de la chemise »]; 15 activités de la vie journalière dont 3 spécifiques à l'habillement), des praxies idéo-motrices (3 items nécessitant une organisation du geste moteur en l'absence de manipulation réelle de l'objet [e.g., « pierre, papier, ciseaux des 2 mains simultanément »]), des praxies visuo-spatiales (2 items nécessitant le maniement des relations spatiales [e.g., « relier les points avec une latte »]), et des dissociations main interne - main externe (1 item nécessitant une manipulation à l'intérieur de la main [e.g., « faire une boulette de papier avec une main »]). Les nombres d'items retenus dans chaque domaine de coordination en fonction de la phase de développement du LUDO-TDC quantitatif sont présentés dans l'annexe 4.

Le LUDO-TDC inclut également une échelle de mesure qualitative constituée de 8 critères qualitatifs (vitesse, harmonie des mouvements, coordination, précision, adresse, calibrage de la force, utilisation correcte des objets/outils, et capacité d'effectuer des doubles tâches) permettant d'évaluer la performance qualitative avec laquelle les enfants effectuent les tâches de coordination.

3.4. Propriétés métriques du LUDO-TDC

Le calibrage du LUDO-TDC quantitatif et qualitatif sont présentés respectivement dans les tableaux 2 et 3. Les items et les critères qualitatifs ont été classés, de haut en bas, par ordre de difficulté croissante. Des valeurs en pourcentage de logits plus élevées indiquent des activités/critères qualitatifs plus difficiles. Par exemple, l'item « frapper du pied et de la main controlatérale » requiert le plus bas niveau de coordination alors que l'item « pierre, papier, ciseaux des 2 mains simultanément » requiert le plus haut niveau de coordination (tableau 2). La distribution des items du LUDO-TDC quantitatif s'étend sur un peu plus de 30 % de logits tandis que celle des critères du LUDO-TDC qualitatif

s'étend sur environ 40 % de logits. L'erreur standard (SE), associée à la difficulté des items/critères, indique la précision de l'estimation. La valeur moyenne de la SE est de 4,03 % pour le LUDO-TDC quantitatif et de 4,95 % pour le LUDO-TDC qualitatif. L'indice d'ajustement χ^2 et ses probabilités indiquent que les 32 items du LUDO-TDC quantitatif et les 8 critères du LUDO-TDC qualitatif contribuent à la définition d'une mesure unidimensionnelle de la coordination et de la performance qualitative dans des tâches de coordination (probabilités du $\chi^2 > 0,05$).

Items	Difficulté (% de logits)	SE (% de logits)	Chi-carré (χ^2)	Probabilité du χ^2
01. Frapper du pied droit et de la main controlatérale	31,13	6,02	0,80	0,67
02. Manipuler les cartes du jeu à 2 mains	31,60	5,92	0,75	0,69
03. Suspendre des cartes sur un fil avec des pinces	31,81	5,23	2,91	0,23
04. Attraper un ballon avec les deux mains	34,65	4,87	2,17	0,34
05. Rouler un boudin de plastiline avec les 2 mains sur une table	40,23	4,48	0,47	0,79
06. Frapper du pied droit et de la main homolatérale	41,30	4,43	0,21	0,90
07. Rouler un boudin de plastiline entre ses mains	45,66	4,07	1,56	0,46
08. Ouvrir/fermer ses mains en alternance	45,67	4,16	0,28	0,87
09. Tailler un crayon	46,70	3,89	1,00	0,61
10. Fermer les pressions de la chemise	47,55	3,99	2,52	0,28
11. Défaire des nœuds simples	47,87	4,09	2,30	0,30
12. Mettre une chemise à courtes manches	48,45	3,78	1,13	0,57
13. Mettre la feuille pliée dans une enveloppe	49,16	3,72	0,74	0,69
14. Ouvrir le cadenas avec la clé	49,57	3,85	4,49	0,11
15. Toucher la pulpe de ses doigts avec le pouce simultanément des deux mains	49,85	3,82	1,87	0,39
16. Transporter des billes avec une cuillère	49,96	3,74	2,25	0,32
17. Relier des points avec une latte	50,64	3,84	0,07	0,97
18. Jouer de la boîte à musique	53,12	3,86	2,30	0,32
19. Faire une boulette de papier à une main	53,84	4,01	0,84	0,66
20. Attacher le collier par un nœud simple	55,74	3,36	2,81	0,24
21. Découper la forme dessinée	56,00	4,25	1,20	0,55
22. Enfiler des perles selon un ordre de couleurs	56,08	3,51	0,30	0,86
23. Fermer le petit bouton de la chemise	56,15	3,49	0,46	0,79
24. Jouer du xylophone selon un modèle	56,31	3,72	4,40	0,11
25. Lancer le ballon sur une cible	56,37	3,74	2,74	0,25
26. Sauter sur place en frappant dans ses mains	56,98	3,49	2,02	0,36
27. Frapper du pied droit et des mains en alternance	58,56	3,61	1,27	0,53
28. Faire un demi-tour sur soi-même en sautant	58,88	3,37	2,41	0,30
29. Dribbler sur place en alternant les mains	60,89	3,24	2,17	0,34
30. Tracer le chemin dans un modèle	61,13	3,88	0,17	0,92
31. "Pantin" en criant le mot choisi	64,20	3,60	0,85	0,65
32. "Pierre, papier, ciseaux" des 2 mains simultanément	64,23	3,85	1,12	0,57

Tableau n°2.
Calibration du LUDO-TDC quantitatif chez les enfants atteints de TDC
âgés de 5 à 12 ans.

TDC = trouble développemental de la coordination; SE = Erreur standard.

Les tableaux 2 et 3 révèlent la hiérarchie des items/critères en terme de difficulté ou de niveau de coordination/performance qu'ils nécessitent pour réussir la/les tâche(s). Au niveau du LUDO-TDC quantitatif, les activités mettant en jeu la coordination motrice globale (e.g., « pantin en criant le mot choisi », « dribbler sur place en alternant les mains », « faire un demi-tour sur soi-même en tournant ») et les activités de coordination motrice fine nécessitant une bonne organisation spatio-temporelle (e.g., « pierre, papier, ciseaux des 2 mains simultanément », « tracer le chemin dans un modèle », « jouer du xylophone selon un modèle », « enfiler des perles selon un ordre de couleurs ») semblent être les plus difficiles à exécuter. Au niveau du LUDO-TDC qualitatif, la coordination, la précision, la capacité d'effectuer des doubles tâches, le calibrage de la force, et la vitesse sont les qualités qui sont les plus difficiles à réaliser dans des tâches de coordination.

Critères qualitatifs	Difficulté (% de logits)	SE (% de logits)	Chi-carré (χ^2)	Probabilité du χ^2
1. Utilisation correcte des objets	23,08	8,35	1,33	0,51
2. Harmonie des mouvements	36,82	4,07	0,21	0,90
3. Adresse	39,33	4,20	1,54	0,46
4. Vitesse	52,47	5,26	1,37	0,50
5. Calibrage de la force	57,12	5,11	2,49	0,29
6. Capacité d'effectuer des doubles tâches	59,68	3,47	0,13	0,94
7. Précision	66,41	4,22	1,87	0,39
8. Coordination	66,56	4,89	0,74	0,69

Tableau n°3.
Calibration du LUDO-TDC qualitatif chez les enfants atteints de TDC âgés de 5 à 12 ans.

TDC = Trouble développemental de la coordination ; SE = Erreur standard.

3.5. Description du LUDO-TDC quantitatif

La figure 2 illustre le fonctionnement de l'échelle de mesure du LUDO-TDC quantitatif. Le panneau du haut représente la distribution des mesures de la coordination des enfants atteints de TDC (en gris foncé) et des enfants sains (en gris clair) qui leur sont appariés en âge et en sexe. Les niveaux de coordination des enfants atteints de TDC s'étendent de 18 % à 74 % de logits tandis que les niveaux des enfants sains sont compris entre 44 % et 98 % de logits. Globalement, le groupe des enfants sains a donc un meilleur niveau de coordination que le groupe pathologique. Le panneau du bas met en évidence la relation ovale entre les scores totaux bruts et les mesures linéaires de coordination (en

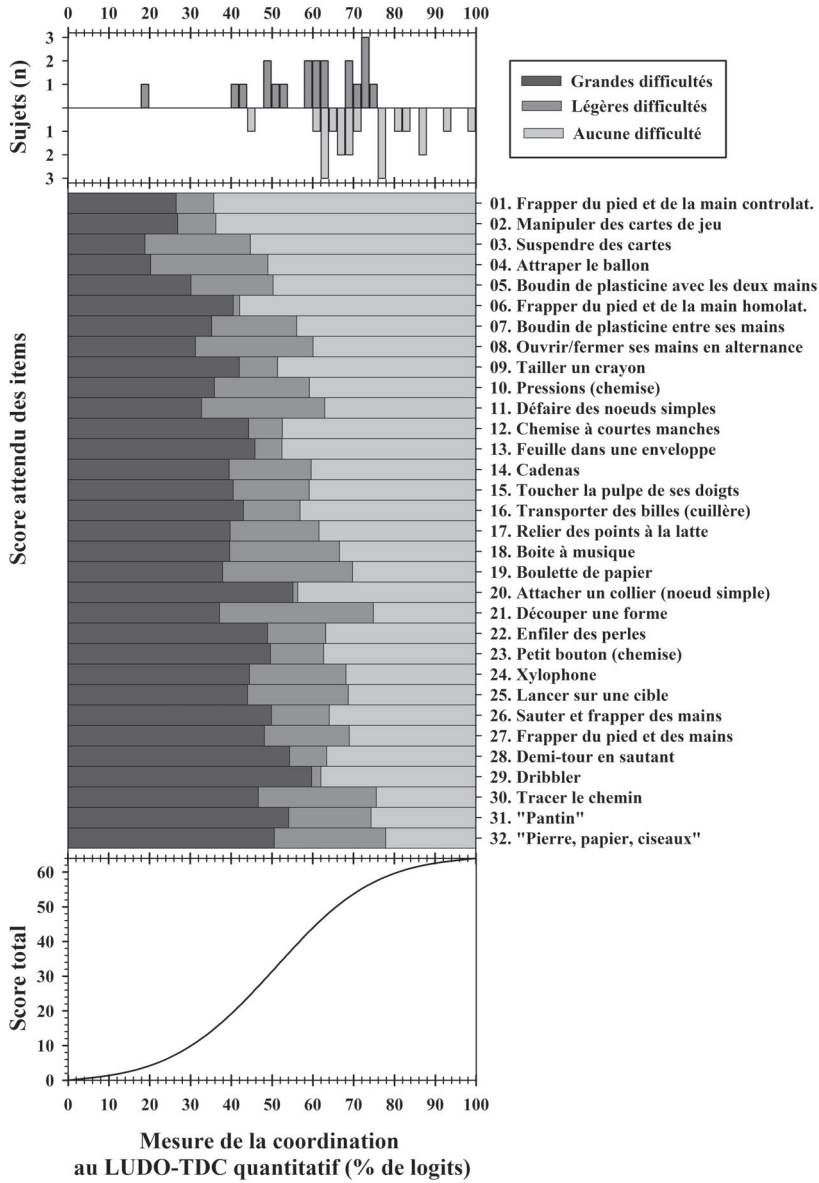


Figure n°2.

Description du LUDO-Tdc quantitatif.

Panneau du haut : distribution des mesures de coordination des 20 enfants atteints d'un trouble développemental de la coordination (TDC), en gris foncé, et des enfants sains appariés en âge et en sexe, en gris clair. Panneau du milieu : score attendu pour chaque item en fonction du niveau de coordination. Panneau du bas : relation ogivale entre les scores totaux bruts et les mesures linéaires de coordination mesurées par le LUDO-Tdc quantitatif.

% de logits). Le score total maximal est de 64 points (32 items * score maximal de 2). Cette relation est relativement linéaire entre les scores totaux de 10 à 55 points. Dans cette étendue, une augmentation d'un point sur le score total brut représente une progression de $\pm 1\%$ de logits dans le niveau de coordination de l'enfant. En dehors de cette plage centrale, la même progression d'un point sur le score total brut (e.g., de 59 à 60 points) traduit une plus grande progression dans le niveau de coordination (e.g., 2,3% de logits). Cette différence représente la non-linéarité des scores totaux bruts. Le panneau du milieu montre le score attendu (parmi les 3 catégories de réponse) qui devrait être obtenu pour chaque activité du LUDO-TDC, compte tenu du score total brut et du niveau de coordination. Les items sont classés de haut en bas par ordre croissant de difficulté. Par exemple, un enfant ayant obtenu un score total brut de 32 points, équivalant à 50% de logits, a une grande probabilité de présenter de grandes difficultés (score de 0) aux activités 20, 26, 28, 29, 31, et 32 alors qu'il ne devrait avoir aucune difficulté (score de 2) à réaliser les 4 items les plus faciles ainsi que le 6^e item « frapper du pied droit et de la main homolatérale ». Toutes les autres tâches du LUDO-TDC devraient être réalisées par cet enfant avec de légères difficultés (score de 1).

3.6. Description du LUDO-TDC qualitatif

La figure 3 illustre le fonctionnement de l'échelle de mesure du LUDO-TDC qualitatif. Le panneau du haut représente la distribution des performances qualitatives des enfants atteints de TDC (en gris foncé) et des enfants sains (en gris clair) qui leur sont appariés en âge et en sexe. Les niveaux de performance des enfants atteints de TDC s'étendent de 8% à 86% de logits tandis que les niveaux des enfants sains sont compris entre 32% et 100% de logits. Globalement, les enfants sains ont de meilleures performances qualitatives avec lesquelles ils effectuent les tâches de coordination que les enfants atteints de TDC. Le panneau du bas met en évidence la relation ogivale entre les scores totaux bruts et les mesures linéaires de performance qualitative (en % de logits). Le score total maximal est de 14 points ([6 critères polytomiques * score maximal de 2] + [2 critères dichotomiques * score maximal de 1]). Le panneau du milieu montre le score attendu qui devrait être obtenu pour chaque critère qualitatif du LUDO-TDC, compte tenu du score total brut et du niveau de performance. Les items sont classés de haut en bas par ordre croissant de difficulté. Par exemple, un enfant ayant obtenu un score total brut de 7 points, équivalant à 50% de logits, a une grande probabilité de présenter de grandes difficultés pour effectuer des doubles tâches; de la difficulté pour calibrer sa force; de lé-

gères difficultés pour harmoniser ses mouvements, être adroit/rapide/précis, et pour coordonner ses mouvements; mais il ne devrait avoir aucune difficulté à utiliser correctement les objets/outils.

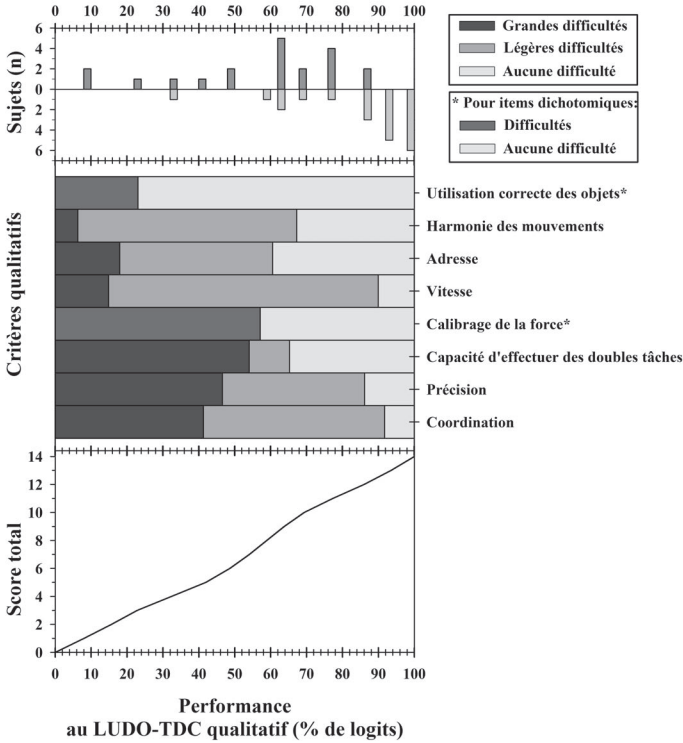


Figure n°3.
Description du LUDO-TDC qualitatif.

Panneau du haut : distribution des performances qualitatives des 20 enfants atteints d'un trouble développemental de la coordination (TDC), en gris foncé, et des enfants sains appariés en âge et en sexe, en gris clair. Panneau du milieu : score attendu pour chaque critère qualitatif en fonction du niveau de performance. Panneau du bas : relation ogivale entre les scores totaux bruts et les mesures linéaires de performance mesurées par le LUDO-TDC qualitatif.

3.7. Fiabilité du LUDO-TDC

La distribution des mesures de coordination des enfants atteints de TDC au LUDO-TDC quantitatif et de leurs performances au LUDO-TDC qualitatif ainsi que la distribution des seuils des items/critères sont présentés à la figure 4. La moyenne des seuils des items/critères est fixée par convention à 50 % de logits. La mesure de coordination moyenne au LUDO-TDC quantitatif (panneau de gauche de la figure 4) de notre échantillon d'enfants atteints de TDC est

de 50 % de logits indiquant que le LUDO-TDC quantitatif propose des tâches adaptées/ciblées par rapport à l'échantillon. Autrement dit, les tâches ne sont ni trop faciles, ni trop difficiles pour les enfants ayant un TDC. La performance moyenne au LUDO-TDC qualitatif (panneau de droite de la figure 4) de notre échantillon d'enfants atteints de TDC est de 57 % de logits indiquant que le LUDO-TDC qualitatif propose également des critères qualitatifs relativement bien ciblés par rapport à l'échantillon.

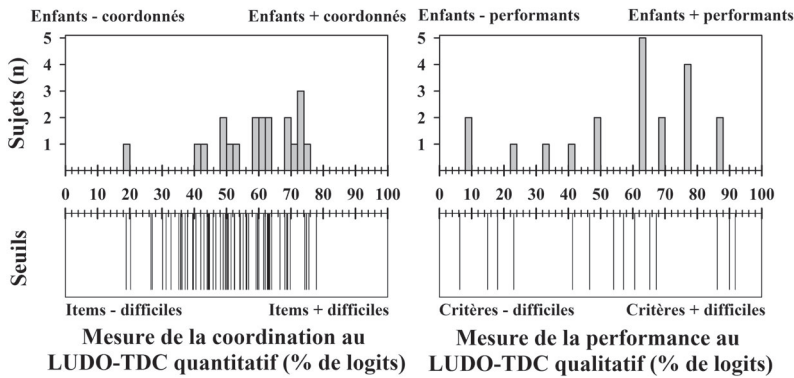


Figure n°4.
Ciblage des mesures des enfants atteints d'un trouble développemental de la coordination (TDC) au LUDO-TDC par rapport aux seuils des items.

Panneau de gauche : Distribution des mesures de coordination des enfants atteints de TDC (panneau du haut) et celle des seuils des items du LUDO-TDC quantitatif (panneau du bas). Panneau de droite : Distribution des mesures de performance qualitative des enfants atteints de TDC (panneau du haut) et celle des seuils des critères du LUDO-TDC qualitatif (panneau du bas).

Les seuils (représentant les graduations de l'échelle) des items du LUDO-TDC quantitatif couvrent uniformément un large éventail de niveaux de coordination allant de 18 à 78 % de logits (panneau de gauche de la figure 4). Parmi cette étendue de mesures, il n'existe pas de zones majeures de coordination non couvertes par les seuils de l'échelle de mesure, ce qui empêcherait de quantifier précisément les sujets. De ce fait, la fiabilité du LUDO-TDC quantitatif est excellente ($R=0,94$) dans notre échantillon. La précision de cette échelle de mesure est suffisamment élevée pour distinguer 6 niveaux de coordination statistiquement différents au sein de l'échantillon.

Les seuils des critères du LUDO-TDC qualitatif couvrent non uniformément une étendue de performances allant de 6 à 92 % de logits (panneau de droite de la figure 4). Parmi cette étendue de mesures, il existe des zones majeures de mesures (e.g., entre 23 et 41 % de logits et entre 67 et 86 % de logits) non cou-

vertes par les seuils du LUDO-TDC qualitatif, ce qui empêche de distinguer des sujets localisés dans ces zones. De ce fait, la fiabilité du LUDO-TDC qualitatif est un peu moins bonne ($R=0,90$) dans notre échantillon mais reste largement acceptable d'un point de vue clinique. La précision de cette échelle de mesure est suffisamment élevée pour distinguer 4 niveaux de performance qualitative statistiquement différents au sein de l'échantillon.

3.8. Validité du LUDO-TDC

La figure 5 (panneau de gauche) illustre que les enfants sains présentent des mesures de coordination au LUDO-TDC quantitatif (moyenne \pm SD = 73 ± 13 % de logits) significativement plus élevées que les enfants atteints de TDC auxquels ils ont été appariés (moyenne \pm SD = 59 ± 14 % de logits) ($p < 0,001$). La figure 5 (panneau de droite) montre également que les enfants sains réalisent les tâches au LUDO-TDC qualitatif avec un degré de qualité significativement supérieur (moyenne \pm SD = 84 ± 18 % de logits) à celui des enfants atteints de TDC auxquels ils ont été appariés (moyenne \pm SD = 57 ± 24 % de logits) ($p < 0,001$). L'hypothèse selon laquelle le LUDO-TDC est capable de discriminer la coordination des enfants ayant un TDC et la performance qualitative avec laquelle ils réalisent les tâches de coordination par rapport à celles des enfants sains est ainsi confirmée.

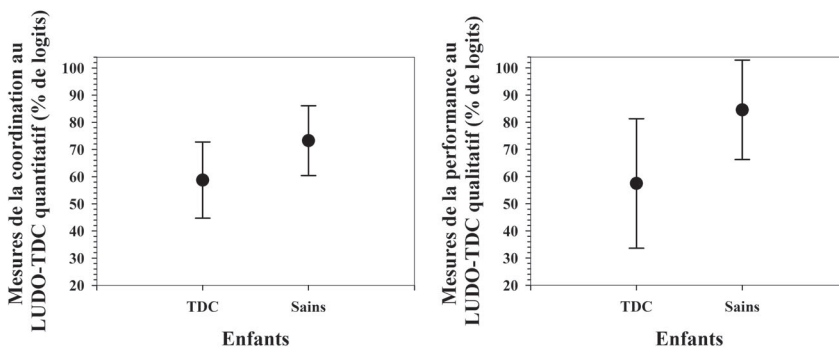


Figure n°5.

Comparaison des mesures au LUDO-TDC entre les enfants atteints d'un trouble développemental de la coordination (TDC) et les enfants sains.

Panneau de gauche : Comparaison des mesures de coordination au LUDO-TDC quantitatif entre les sujets atteints de TDC et les enfants sains appariés en âge et en sexe.
 Panneau de droite : Comparaison des performances qualitatives avec lesquelles les enfants réalisent les tâches de coordination au LUDO-TDC qualitatif entre les sujets atteints de TDC et les enfants sains appariés en âge et en sexe. Les moyennes (points) et les écarts-types (barres verticales) sont indiqués.

4. Discussion

Le but de cette étude était de développer un outil d'évaluation ludique, le LUDO-TDC, capable de mesurer, tant quantitativement que qualitativement la coordination des enfants atteints de TDC âgés de 5 à 12 ans. La capacité du LUDO-TDC à discriminer les enfants ayant un TDC des enfants sains du même âge et du même sexe a également été investiguée. Développé à partir d'échelles existantes, l'outil préliminaire composé de 155 items et de 10 critères qualitatifs a été soumis à l'avis de 3 experts. Seuls les items ($n=49$) et critères qualitatifs ($n=10$) que les experts jugeaient pertinents ont été conservés. L'analyse par le modèle de Rasch des données de 20 enfants atteints de TDC a mis en évidence que les deux premières catégories de réponse des échelles initiales à 4 niveaux n'étaient pas bien discriminées. Ces deux catégories de réponse ont, dès lors, dû être regroupées ensemble, résultant ainsi en des échelles à 3 niveaux. Lors de la création d'un autre outil d'évaluation, ABILHAND, mesurant l'habileté manuelle des adultes hémiplegiques chroniques, il a également été constaté que les patients n'arrivaient pas à discriminer les deux catégories intermédiaires de l'échelle initiale à 4 niveaux (Penta *et al.*, 2001). Par conséquent, ces deux catégories ont dû être regroupées ensemble pour former une échelle finale à 3 niveaux. Une autre étude (Arnould *et al.*, 2004) a montré que les parents d'enfants atteints de paralysie cérébrale discriminaient bien l'échelle à 3 catégories de réponse d'un questionnaire mesurant l'habileté manuelle, ABILHAND-Kids, alors que les enfants ne discriminaient que deux catégories de réponse. Ces résultats semblent donc confirmer le bien-fondé d'utiliser une échelle à 3 catégories de réponse. Le modèle de Rasch a également permis de sélectionner les items et critères qualitatifs satisfaisant aux critères d'une mesure objective. Suite à cette analyse, la version finale du LUDO-TDC, incluait 32 items permettant de mesurer le niveau de coordination des enfants atteints de TDC et 8 critères qualitatifs permettant d'évaluer la performance qualitative avec laquelle les enfants réalisent les tâches de coordination.

Septante-cinq pour cent des items de la version finale du LUDO-TDC quantitatif concernent la coordination motrice fine avec le domaine des praxies idéatoires (56% des items dont 9% concernent spécifiquement les praxies de l'habillage) qui est le plus représenté.

Le domaine des praxies idéatoires est en effet considéré dans la littérature comme étant un des domaines posant le plus de difficultés aux enfants atteints de TDC (Breton & Léger, 2007). Une revue de 31 études décrivant les caractéristiques des enfants atteints de TDC (Geuze, 2005) a répertorié les

activités les plus fréquemment rapportées comme déficitaires : l'écriture et le dessin (6% des items du LUDO-TDC quantitatif), l'habillage (9% des items), la manipulation d'outils (47% d'items non spécifiques à l'habillage), les jeux de construction (non représenté dans le LUDO-TDC quantitatif), et les jeux de plein air ainsi que les sports ($\pm 15\%$ des items de coordinations locomotrices et manipulatoires). Les critères qualitatifs retenus dans la version finale du LUDO-TDC qualitatif concernaient la coordination, la précision, la capacité d'effectuer des doubles tâches, la vitesse, l'adresse, l'harmonie des mouvements, le calibrage de la force, et l'utilisation correcte des objets.

Le modèle de Rasch a également permis la transformation des scores totaux bruts, obtenus suite à l'évaluation de la session de jeu, en mesures linéaires qui peuvent être utilisées pour suivre l'évolution de la coordination des enfants atteints de TDC. La difficulté des items et celle des critères qualitatifs ont pu être déterminées en fonction des scores attribués pour l'ensemble des enfants par l'expérimentateur à chacun de ceux-ci. Les items et les critères ont pu être classés par ordre croissant de difficulté selon le niveau de coordination et de performance qualitative nécessaire à leur réussite. Les enfants ont également pu être classés sur cette échelle selon leur niveau de coordination/performance qualitative. La hiérarchie des critères du LUDO-TDC qualitatif observée semble pertinente et relativement représentative des difficultés décrites dans la littérature. Ainsi, il est normal que, dans un trouble développemental de la coordination, le critère qualitatif le plus difficile à réaliser soit la coordination. Ensuite, ce sont les critères de la précision, de la capacité d'effectuer des doubles tâches, du calibrage de la force et de la vitesse qui sont définis comme étant les plus difficiles. Des études scientifiques s'intéressant à la réalisation des tâches motrices ont en effet mis en évidence une lenteur, une inexactitude, une imprécision, et une variabilité plus importantes de la performance motrice des enfants atteints de TDC comparés à leurs pairs sains. Certaines études expliquent aussi que les enfants ayant un TDC auraient des difficultés à maintenir stable la pression qu'ils exercent avec leurs doigts sur une manette (Huron, 2011). Il est toutefois nécessaire de nuancer la difficulté du critère du calibrage de la force dans notre étude. En effet, la hiérarchie des critères est influencée par le fait que, pour deux d'entre-eux (« calibrage de la force » et « utilisation correcte des objets »), le système de notation à 3 catégories de réponse a été modifié en une échelle dichotomique étant donné que la première catégorie de réponse n'était pas discriminée par l'expérimentateur. Par ailleurs, il n'est pas étonnant que le critère relatif à la capacité d'effectuer des doubles tâches soit difficile étant donné que les enfants atteints de TDC n'arrivent pas à automatiser leurs gestes et que chacune de leurs actions nécessite un effort sur le plan cognitif (Ma-

zeau & Le Lostec, 2010). La hiérarchie des items du LUDO-TDC quantitatif est moins évidente mais semble cliniquement pertinente puisque les tâches les plus difficiles concernent des activités mettant en jeu la coordination motrice globale (e.g., « pantin en criant le mot choisi », « faire un demi-tour sur soi-même en tournant ») et des activités de coordination motrice fine nécessitant une bonne organisation spatio-temporelle (e.g., « pierre, papier, ciseaux des 2 mains simultanément », « tracer le chemin dans un modèle », « enfiler des perles selon un ordre de couleurs »).

Le LUDO-TDC est une échelle unidimensionnelle qui mesure de façon dominante la coordination et la performance qualitative avec laquelle les tâches de coordination sont réalisées sans que d'autres caractéristiques ne viennent biaiser les résultats de l'évaluation. Les items du LUDO-TDC quantitatif couvrent uniformément une large étendue de niveaux de coordination distincts. La fiabilité du LUDO-TDC quantitatif est excellente ($R=0,94$) et permet de distinguer 6 niveaux de coordination statistiquement différents. Cela démontre que les items choisis sont adaptés et ont le potentiel de mesurer la coordination d'une large gamme d'enfants atteints de TDC. Les critères du LUDO-TDC qualitatif couvrent une large plage de performances mais présente quelques zones pour lesquelles des enfants de niveaux relativement proches ne peuvent être distingués. La fiabilité du LUDO-TDC qualitatif est donc moindre ($R=0,90$) mais reste néanmoins excellente d'un point de vue clinique et permet de discriminer 4 niveaux de performance statistiquement différents. La fiabilité du LUDO-TDC est donc proche de celle du M-ABC ($R=0,96$), l'outil le plus utilisé actuellement pour évaluer les coordinations des enfants atteints de TDC (Geuze, 2005). Compte tenu de sa bonne fiabilité, le LUDO-TDC semble donc posséder les qualités psychométriques requises pour mesurer des changements de coordination cliniquement significatifs, obtenus suite à une rééducation. Cependant, la sensibilité aux changements du LUDO-TDC doit encore être investiguées dans des études longitudinales.

La capacité du LUDO-TDC à discriminer les mesures de coordination et les performances qualitatives des enfants atteints de TDC de celles des enfants sains appariés en âge et en sexe a également été investiguée. Les échelles quantitatives et qualitatives du LUDO-TDC sont toutes deux capables de discriminer de manière significative les deux populations d'enfants ($p<0,001$). Cependant, la taille des échantillons est insuffisante pour déterminer le pourcentage exact d'enfants ayant un TDC qui peuvent être discriminés par le LUDO-TDC. Il faudrait dans le futur créer des normes afin de déterminer le niveau minimal de coordination à acquérir pour chaque tranche d'âge afin de ne pas présenter

de déficit. Ces normes permettraient aux thérapeutes d'évaluer le vrai niveau de coordination des enfants atteints de TDC en prenant en compte l'effet des changements développementaux liés à l'âge.

La nature hiérarchique des échelles quantitative et qualitative du LUDO-TDC, grâce au classement des items/critères par ordre croissant de difficulté selon le niveau de coordination/performance nécessaire à leur réussite, semble très intéressante pour les thérapeutes. En effet, elle permet d'identifier un pattern de progression que les enfants devraient suivre compte tenu de leur niveau de coordination ou de performance qualitative dans des tâches de coordination. Ce pattern de progression peut être utilisé par les thérapeutes afin d'orienter la prise en charge vers des objectifs adaptés à l'enfant et réalisables dans le temps. Le LUDO-TDC peut également permettre aux thérapeutes de vérifier l'efficacité de leur prise en charge.

Le LUDO-TDC se destine aussi bien aux ergothérapeutes, acteurs principaux de la rééducation du TDC, qu'aux kinésithérapeutes et aux psychomotriciens (nouvelle discipline émergente mais pas encore reconnue comme telle). Tous ces intervenants sont susceptibles et capables de guider l'enfant vers un meilleur développement de ses habiletés praxiques et vers une meilleure compensation de certaines d'entre-elles en l'encourageant à utiliser différentes modalités sensorielles, une représentation d'images mentales ou encore un support audio-verbal (Breton & Léger, 2007; Gérard & Brun, 2005; Pannetier, 2007). Le kinésithérapeute, comme le psychomotricien, va permettre de travailler le schéma corporel de l'enfant, son intégration sensorimotrice, son organisation et sa structuration spatiale, ainsi que ses coordinations globales et ses praxies. Il peut aussi utiliser des techniques de relaxation (Breton & Léger, 2007). L'ergothérapeute axera quant à lui son intervention sur l'organisation visuo-spatiale, la motricité fine et la planification des gestes quotidiens. Le rôle de chacun tient une place à part entière dans la prise en charge de l'enfant qui doit être multidisciplinaire. L'action de chacun est bénéfique pour le travail de l'autre et surtout pour l'enfant. L'évolution de ce dernier en dépendra et dépendra aussi de ses capacités sur les plans cognitif et langagier et de son état psychoaffectif (Gérard & Brun, 2005).

L'étude présente certaines limites. Premièrement, des enfants atteints d'un TDC non diagnostiqués pourraient être présents dans l'échantillon d'enfants sains étant donné que le TDC toucherait environ 6% des enfants âgés entre 5 et 12 ans (Breton, & Léger, 2007; Missiuna *et al.*, 2006). Quant à l'échantillon d'enfants atteints de TDC, il pourrait contenir des enfants diagnostiqués comme tel mais qui ne seraient pas atteints de ce trouble étant donné la

fréquence des erreurs de diagnostic (Mazeau, & Le Lostec, 2010). Deuxièmement, l'étude portait sur la tranche d'âge d'enfants âgés de 5 à 12 ans. Comme expliqué précédemment, aucun enfant atteint de TDC âgé de 5 ans n'a pu être recruté. Bien que l'outil semble tout à fait adapté à cette catégorie d'âge puisqu'il a été conçu comme tel, il serait intéressant de refaire l'étude en intégrant des enfants de 5 ans. Troisièmement, la taille de l'échantillon est insuffisante pour le calibrage d'un instrument bien ciblé lequel nécessite 100 à 200 données (Linacre, 1994). Cependant, notre échantillon de 20 enfants atteints de TDC permet d'avoir un aperçu prometteur des qualités psychométriques du LUDO-TDC. Quatrièmement, il serait intéressant de développer une histoire plus adaptée aux plus grands. Le thème du jeu proposé dans le LUDO-TDC a été pensé de manière à convenir aussi bien aux garçons qu'aux filles et aussi bien aux plus petits qu'aux plus grands. Dans la pratique, certains enfants de 10-12 ans semblaient s'amuser un peu moins que les petits. Cinquièmement, l'examineur qui a fait passer les sessions du jeu aux enfants est la même personne qui a donné les scores quantitatifs et qualitatifs sur base des vidéos. À l'avenir, il serait judicieux d'effectuer la cotation en aveugle (sur base des vidéos) en ne sachant pas le groupe d'appartenance (TDC ou sain) des enfants par une autre personne que l'examineur qui ferait passer le jeu. Une autre limite dont il faut tenir compte est que l'outil évalue le niveau de coordination/performance de l'enfant uniquement à un moment donné. Il ne s'agit donc pas d'une moyenne de performances basée sur un ensemble d'observations faites dans un certain délai de temps. Les performances motrices des enfants atteints de TDC se caractérisent souvent par une certaine fluctuation qui peut les amener à ne plus pouvoir faire des gestes qu'ils étaient pourtant capables de faire la veille (Huron, 2011). Il se peut par conséquent que, le jour de l'évaluation, l'enfant ne soit pas au meilleur de ses capacités ou au contraire qu'il le soit. L'état de fatigue de l'enfant, son niveau de concentration, l'environnement, et la présence ou non d'une double tâche peuvent également influencer les performances motrices des enfants atteints de TDC (Mazeau, & Le Lostec, 2010). Dès lors, il serait peut-être pertinent d'effectuer plusieurs évaluations à des moments différents et de faire une sorte de moyenne des performances observées.

La validation d'un outil de mesure nécessite de nombreuses étapes. Ainsi, il faudrait vérifier l'ensemble des résultats obtenus avec un échantillon plus grand. La validité concomitante du LUDO-TDC pourrait aussi être investiguée en comparant ses mesures quantitatives et qualitatives avec les scores obtenus par un outil déjà validé tel que le M-ABC. Il serait également intéressant d'étudier la sensibilité aux changements du LUDO-TDC par une étude longitudinale.

5. Conclusion

L'étude avait deux objectifs principaux. Le premier était de concevoir un outil d'évaluation, le LUDO-TDC, unidimensionnel et fiable, capable de mesurer les coordinations des enfants atteints d'un trouble développemental de la coordination âgés de 5 à 12 ans. Le second objectif concernait l'investigation de la validité du LUDO-TDC en vérifiant la capacité de l'outil à discriminer le niveau d'habiletés motrices des enfants atteints de TDC par rapport à celui des enfants sains du même âge et du même sexe.

Les habiletés motrices (i.e., coordinations et qualités avec lesquelles les tâches sont réalisées) faisant partie des variables latentes, cachées au sein de l'individu, il n'était pas possible de les mesurer directement. Pour les mesurer, il faut observer la performance de l'enfant dans la réalisation de diverses tâches impliquant les coordinations. Différentes tâches et critères qualitatifs ont été sélectionnés à partir d'échelles de mesure existantes et sur l'avis de plusieurs experts. Le modèle de Rasch a ensuite été employé afin de transformer les scores totaux bruts attribués aux enfants par l'expérimentateur en mesures linéaires. Cet outil statistique a permis de conserver uniquement les tâches et les critères qualitatifs satisfaisant les exigences d'une mesure objective.

L'outil d'évaluation final, le LUDO-TDC, est finalement composé de 32 items couvrant 8 domaines distincts des habiletés motrices et de 8 critères qualitatifs. La fiabilité des deux échelles de mesure, à savoir l'échelle quantitative qui mesure le niveau de coordination des enfants et l'échelle qualitative qui évalue la performance qualitative avec laquelle les enfants effectuent les tâches de coordination, est excellente (respectivement de 0,94 et 0,90). Le LUDO-TDC est également unidimensionnel et capable de discriminer les enfants atteints de TDC des enfants sains du même âge et du même sexe.

Malgré les limitations de l'étude, cette dernière a permis de concevoir un outil d'évaluation prometteur pour une possible application en clinique, compte tenu de ses bonnes propriétés métriques actuelles. Le LUDO-TDC permet d'ores et déjà d'obtenir « une photographie » relativement précise de la coordination des enfants atteints de TDC et de la performance avec laquelle ils réalisent les tâches de coordination. Il permet également de discriminer la coordination des enfants atteints de TDC de celle des enfants sains. Le LUDO-TDC devrait donc permettre la mise en place d'une prise en charge adaptée et personnalisée à chaque enfant et la vérification de son efficacité.

Remerciements

Nous remercions Madame Laura Bertleff, neuropsychologue indépendante, titulaire d'un Master en Neuropsychologie et Développement cognitif, spécialisée dans les troubles attentionnels et exécutifs, ainsi qu'en coaching scolaire et méthode de travail, pour l'aide qu'elle a apporté dans le recrutement de l'échantillon des enfants atteints de TDC. Nous remercions également l'école primaire fondamentale libre des Sœurs de la Providence de Gosselies (GPF2) ainsi que l'asbl Ecoline et Caracole qui ont permis d'acquérir les données des enfants sains. Nous remercions bien sûr les enfants, atteints de TDC et sains, et leurs parents d'avoir participé à l'étude. Enfin, nous tenons à remercier Cécile Jonart qui a participé à la création physique du jeu et plus particulièrement des illustrations, véritables œuvres d'art.

Annexe 1 : Systèmes de cotation

A1.1. Système de cotation quantitatif

Ce système de cotation évalue la difficulté de chacune des tâches (i.e., items) du jeu au travers de la performance de l'enfant à les réaliser.

L'échelle de cotation était divisée en 4 catégories de réponse (de 0 à 3) avant l'analyse de Rasch (tableau 4). L'analyse de Rasch a ensuite montré que les deux premières catégories de réponse n'étaient pas bien discriminées et ont dû dès lors être regroupées ensemble. L'échelle de cotation finale, après l'analyse de Rasch, était donc divisée en 3 catégories de réponse (de 0 à 2).

Score	Définition	Explication	Score définitif*
0	La réalisation de la tâche est impossible	La tâche est inefficace. L'enfant est incapable de réaliser la tâche seul ou de la réaliser avec les aides (verbales ou démonstrations) de l'examineur.	0
1	Beaucoup de difficultés qui affectent la réalisation de la tâche	La tâche est peu efficace, réalisée avec beaucoup d'efforts, d'inconfort, incorrectement, très lentement et de façon saccadée, avec imprécision, sans aucun soin. OU la tâche est possible uniquement avec une grande aide (verbale ou démonstrations) de l'examineur.	
2	Légères difficultés qui n'affectent pas ou peu la réalisation de la tâche	La tâche est partiellement efficace, réalisée sans aide ou tout au plus avec une petite aide, avec quelques efforts, un peu plus lentement et avec un léger manque de fluidité, de précision et de propreté.	1
3	Aucune difficulté lors de la réalisation de la tâche	La tâche est efficace, réalisée sans aide, sans effort, confortablement, correctement, avec une vitesse appropriée et avec fluidité, précisément, et proprement.	2

Tableau n°4.

Système de cotation quantitatif avant l'analyse de Rasch sur une échelle à 4 catégories de réponse

Le score définitif représente le système de cotation quantitatif après l'analyse de Rasch sur une échelle à 3 catégories de réponse. L'analyse de Rasch a montré que les deux premières catégories de réponses n'étaient pas bien discriminées. Elles ont dû dès lors être regroupées. La première catégorie (score de 0) est donc définie comme « grandes difficultés (qui affectent la réalisation de la tâche ou qui la rendent impossible à réaliser) ».

A1.2. Système de cotation qualitatif

Ce système de cotation évalue les qualités (i.e., les critères) avec lesquelles l'enfant réalise le plus fréquemment l'ensemble des tâches du jeu.

L'échelle de cotation était divisée en 4 catégories de réponse (de 0 à 3) avant l'analyse de Rasch. L'analyse de Rasch a ensuite montré que les deux premières catégories de réponse n'étaient pas bien discriminées et ont dû dès lors être regroupées ensemble. L'échelle de cotation finale, après l'analyse de Rasch, était donc divisée en 3 catégories de réponse (de 0 à 2).

Voici pour les 10 qualités investiguées, le système de cotation qualitatif final.

Vitesse

Il faut évaluer si l'enfant réalise les tâches à une vitesse appropriée pour son âge et l'impact que la vitesse a sur l'efficacité de la réalisation des tâches.

0 = Vitesse totalement inappropriée (score initial de 0) ou très lente (score initial de 1)

Les tâches ne sont pas réalisées. La vitesse est tellement lente que la réalisation des tâches par l'enfant seul ou avec les aides (verbales ou démonstrations) de l'examineur est impossible. Besoin d'une aide physique.

Ou

Les tâches sont réalisées avec beaucoup de lenteur, ce qui perturbe leur déroulement. L'enfant a besoin d'une grande aide (verbale ou démonstrations) de la part de l'examineur pour réaliser les tâches malgré sa grande lenteur.

1 = Vitesse légèrement lente (score initial de 2)

Les tâches sont réalisées sans aide ou tout au plus avec une petite aide, avec une certaine lenteur, mais leur déroulement n'est pas essentiellement affecté.

2 = Vitesse normale (score initial de 3)

Les tâches sont réalisées sans aide avec une vitesse appropriée à leur déroulement efficace.

Harmonie des mouvements

L'évaluation de ce critère étudie si les mouvements produits pour réaliser les tâches sont harmonieux, fluides et souples ou au contraire saccadés et rigides. Ce critère étudie par exemple la synchronisation des muscles agonistes/antagonistes servant à fluidifier les mouvements. L'impact que l'harmonie des mouvements a sur la réalisation des tâches est également étudié.

0 = Mouvements très saccadés ou rigides empêchant le déroulement des tâches (score initial de 0) ou perturbant leur déroulement (score initial de 1)

La réalisation des tâches par l'enfant seul ou avec les aides (verbales ou démonstrations) de l'examinateur est impossible à cause des mouvements extrêmement saccadés ou rigides de l'enfant. Besoin d'une aide physique.

Ou

La réalisation des tâches par l'enfant est fortement perturbée à cause des mouvements très saccadés ou rigides de l'enfant. L'enfant a besoin des aides (verbales ou démonstrations) de la part de l'examinateur pour réaliser les tâches malgré la dysharmonie de ses mouvements.

1 = Mouvements légèrement saccadés ou rigides (score initial de 2) n'affectant pas le déroulement des tâches qui sont réalisées sans aide.

2 = Mouvements synchronisés, fluides, harmonieux (score initial de 3) menant au déroulement efficace et sans aide des tâches.

Coordination

L'évaluation de ce critère étudie la coordination des membres supérieurs avec les membres inférieurs, la coordination bilatérale des membres gauches avec les membres droits, et la coordination oculo-manuelle. On évalue ici la capacité à coordonner, avec timing, fluidité et précision, les mouvements. C'est l'efficacité avec laquelle les membres et les yeux sont utilisés ensemble qui est évaluée.

0 = Incoordination totale (score initial de 0) ou grande incoordination (score initial de 1)

Les mouvements réalisés de façon inefficace (non fluide et imprécise) empêchent la réalisation des tâches par l'enfant seul ou avec les aides (verbales ou démonstrations) de l'examinateur. Besoin d'une aide physique.

Ou

Les mouvements sont réalisés de façon peu efficace (peu fluide et peu précise) et affectent le déroulement des tâches. L'enfant a besoin d'une grande aide (verbale ou démonstrations) de la part de l'examinateur pour réaliser les tâches malgré sa grande incoordination.

1 = Légère incoordination (score initial de 2)

La capacité à coordonner les mouvements de façon fluide et précise est discutable mais elle n'affecte pas le déroulement des tâches qui sont réalisées sans aide ou tout au plus avec une petite aide.

2 = Bonne coordination (score initial de 3)

Les mouvements sont réalisés ensemble de façon efficace menant au déroulement efficace et sans aide des tâches.

Organisation séquentielle des gestes

L'évaluation de ce critère étudie si les gestes (série de mouvements) sont logiquement et adéquatement organisés, coordonnés dans le temps et dans l'espace dans l'intention de réaliser une action finalisée, de permettre le déroulement efficace des tâches. On regarde si l'ordre des étapes des gestes complexes est correct, s'il y a un bon découpage des tâches, s'il ne manque pas une ou plusieurs étapes aux gestes (omission), si les gestes ne sont pas simplifiés ou abrégés (passage d'une action inachevée à une autre).

0 = Absence d'organisation séquentielle des gestes (score initial de 0) ou grande désorganisation séquentielle des gestes perturbant le déroulement des tâches (score initial de 1)

L'absence d'organisation séquentielle des gestes empêchent la réalisation des tâches par l'enfant seul ou avec les aides (verbales ou démonstrations) de l'examineur. Besoin d'une aide physique.

Ou

Le déroulement des tâches est perturbé par la grande désorganisation séquentielle des gestes. L'enfant a besoin d'une grande aide (verbale ou démonstrations) de la part de l'examineur pour réaliser les tâches malgré sa grande désorganisation séquentielle des gestes.

1 = Légère désorganisation séquentielle des gestes (score initial de 2) n'affectant pas le déroulement des tâches qui sont réalisées sans aide ou tout au plus avec une petite aide. Des erreurs de séquences temporelles et/ou un mauvais découpage des tâches peuvent être présents mais l'enfant parvient in fine à réaliser les tâches.

2 = Bonne organisation séquentielle des gestes (score initial de 3) menant au déroulement efficace et sans aide des tâches.

Précision

L'évaluation de ce critère étudie la précision avec laquelle les gestes sont réalisés et l'impact qu'elle a sur l'accomplissement des tâches. La précision est l'exactitude, la finesse, la netteté avec laquelle les gestes sont effectués afin de réaliser les tâches.

0 = Imprécision totale (score initial de 0) ou grande imprécision (score initial de 1)

L'imprécision est telle qu'elle empêche l'enfant de réaliser les tâches seul ou avec les aides (verbales ou démonstrations) de l'examineur. Besoin d'une aide physique.

Ou

Les gestes sont effectués avec beaucoup d'approximation et d'inexactitude et perturbent le déroulement des tâches. L'exécution des tâches est globalement médiocre. L'enfant a besoin d'une grande aide (verbale ou démonstrations) de la part de l'examineur pour réaliser les tâches malgré ses gestes très imprécis.

1 = Légère imprécision (score initial de 2)

Les gestes sont effectués avec une certaine approximation n'affectant pas le déroulement des tâches qui sont réalisées sans aide ou tout au plus avec une petite aide.

2 = Bonne précision (score initial de 3)

Les gestes sont effectués avec exactitude permettant le déroulement efficace et sans aide des tâches.

Adresse

L'évaluation de ce critère étudie l'habileté/aisance (virtuosité) avec laquelle les tâches sont réalisées. On regarde la fréquence avec laquelle les objets/outils chutent ou s'échappent des mains de l'enfant. On regarde si l'enfant parvient à atteindre par une action quelconque le résultat initialement escompté. Il s'agit de la facilité ou de la difficulté à réaliser les actions.

0 = Chutes d'objets/d'outils extrêmement fréquentes (score initial de 0) ou fréquentes perturbant le déroulement des tâches (score initial de 1)

Chutes d'objets/d'outils extrêmement fréquentes (> 6 fois) rendant l'enfant incapable de réaliser seul ou avec les aides (verbales ou démonstrations) de l'examineur les tâches. Besoin d'une aide physique.

Ou

Chutes d'objets/d'outils fréquentes (de 3 à 6 fois) perturbant le déroulement des tâches. L'enfant a besoin d'une grande aide (verbale ou démonstrations) de la part de l'examineur pour réaliser les tâches malgré les chutes d'objets/d'outils fréquentes.

1 = Chutes d'objets/d'outils peu fréquentes (de 1 à 3 fois) (score initial de 2) n'affectant pas le déroulement des tâches qui sont réalisées sans aide ou tout au plus avec une petite aide.

2 = Absence de chutes d'objets/d'outils (score initial de 3) permettant le déroulement efficace et sans aide des tâches.

Calibrage de la force

L'évaluation de ce critère étudie l'efficacité avec laquelle l'enfant régule sa force de préhension en fonction de la nature des tâches. C'est la capacité à tenir les objets/outils avec une force de préhension appropriée qui est évaluée.

0 = Pas de calibrage (score initial de 0) ou calibrage de la force peu efficace (score initial de 1)

La force est tellement inappropriée qu'elle en rend la réalisation des tâches, seul ou avec les aides (verbales ou démonstrations) de l'examineur, impossible. Besoin d'une aide physique.

Ou

L'enfant a difficile d'adapter de façon appropriée sa force de préhension. Les objets glissent ou sont écrasés. Cela affecte le déroulement des tâches. L'enfant a besoin d'une grande aide (verbale ou démonstrations) de la part de l'examineur pour réaliser les tâches malgré son calibrage de force peu efficace.

0 = Calibrage de la force partiellement efficace (score initial de 2)

L'enfant met un peu plus ou un peu moins de force que nécessaire. On a l'impression que les objets sont trop serrés ou au contraire qu'ils vont glisser. Cela n'affecte pas le déroulement des tâches qui sont réalisées sans aide ou tout au plus avec une petite aide.

1 = Calibrage de la force efficace (score initial de 3)

L'enfant régule sa force de préhension de façon appropriée. Cela permet le déroulement efficace et sans aide des tâches.

Utilisation correcte d'objets/outils

L'évaluation de ce critère étudie si l'enfant utilise correctement et efficacement les objets/outils qui lui sont proposés. On regarde si la manipulation de l'objet/outil est correcte, si la préhension est effectuée au bon endroit sur l'objet/outil (par exemple, la saisie de l'objet se fait sur le manche ou en dehors de celui-ci) et si la fonction de l'objet/outil est respectée.

0 = Utilisation inefficace (score initial de 0) ou peu efficace des objets/outils (score initial de 1)

L'utilisation des objets/outils est toujours inadéquate et rend la réalisation des tâches, seul ou avec les aides (verbales ou démonstrations) de l'examineur, impossible. Besoin d'une aide physique.

Ou

L'utilisation des objets/outils est souvent inadéquate et perturbe le déroulement des tâches. L'enfant a besoin d'une grande aide (verbale ou démonstrations) de la part de l'examineur pour réaliser les tâches malgré son utilisation peu efficace des objets/outils.

0 = Utilisation partiellement efficace des objets/outils (score initial de 2)

L'utilisation des objets/outils n'est pas toujours d'emblée adéquate, mais l'enfant parvient in fine à réaliser les tâches, avec de légères difficultés, sans aide ou tout au plus avec une petite aide.

1 = Utilisation efficace et correcte et facile des objets/outils (score initial de 3)

L'utilisation des objets/outils est adéquate et facile et permet la réalisation efficace et sans aide des tâches.

Capacité d'effectuer des doubles tâches

L'évaluation de ce critère étudie la capacité à réaliser efficacement deux actions distinctes simultanément. La réalisation de doubles tâches nécessite qu'au moins une des deux tâches soit automatisée pour permettre leur réalisation. Toute tâche non automatisée absorbera une grande partie des ressources attentionnelles disponibles, imposant l'exécution isolée de la tâche en question.

0 = Réalisation impossible (score initial de 0) ou peu efficace (score initial de 1) des doubles tâches

Incapacité à réaliser deux actions distinctes simultanément, seul ou avec les aides (verbales ou démonstrations) de l'examineur. Besoin d'une aide physique.

Ou

Beaucoup de fatigue, de lenteur, d'imprécision, d'effort et d'inconfort sont observés lors de la réalisation simultanée de deux actions distinctes. Cela perturbe le déroulement de chaque tâche. Besoin d'une grande aide (verbale ou démonstrations) de la part de l'examineur pour réaliser les doubles tâches.

1 = Réalisation partiellement efficace des doubles tâches (score initial de 2)

Un peu de fatigue, de lenteur, d'imprécision, d'effort et d'inconfort sont observés lors de la réalisation simultanée de deux actions distinctes, mais cela n'affecte pas le déroulement de chacune des tâches qui sont réalisées sans aide ou tout au plus avec une petite aide.

2 = Réalisation efficace des doubles tâches (score initial de 3)

Capacité à réaliser deux actions distinctes simultanément, efficacement et sans aide.

Persévérance dans les erreurs

L'évaluation de ce critère étudie l'attitude spontanée de l'enfant face à l'adoption de stratégies inefficaces pour la réalisation des tâches. On regarde si l'enfant adapte sa stratégie en fonction du résultat des actions. On considère que l'enfant ne persévère pas dans ses erreurs lorsque les tâches sont initialement réalisées efficacement, ne nécessitant donc pas de changement de stratégies.

0 = Persévérance totale (score initial de 0) ou importante (score initial de 1)

L'enfant persévère dans des stratégies inefficaces, même après corrections/instructions verbales ou démonstrations de l'examineur. Besoin d'une aide physique.

Ou

L'enfant persévère dans des stratégies inefficaces jusqu'aux corrections/instructions verbales ou démonstrations de l'examineur.

1 = Persévérance partielle (score initial de 2)

L'enfant persévère un certain délai de temps dans des stratégies inefficaces, puis finit par changer spontanément de stratégies.

2 = Aucune persévérance (score initial de 3)

L'enfant ne persévère pas dans des stratégies inefficaces. Il adapte sa stratégie en fonction du résultat des actions spontanément et rapidement

Ou

Les stratégies sont d'emblée efficaces.

Annexe 2. Détails quant aux analyses statistiques

A2.1. Modèle de Rasch

Les données ont été analysées par le modèle « *partial credit* » qui, contrairement au modèle « *rating scale* », ne force pas les items/critères à avoir la même structure de réponse. De ce fait, la localisation relative des seuils est différente d'un item/critère à l'autre, ce qui est plus représentatif de la réalité (Penta, Arnould, & Decruynaere, 2005).

Le modèle de Rasch utilise le logit comme unité de mesure. Le logit est défini comme le logarithme népérien du rapport de vraisemblance de réussite, à savoir le rapport entre la probabilité de réussite d'un enfant à un item/critère et la probabilité d'échec de ce même enfant à ce même item/critère. Une unité logit est aussi définie comme la différence entre la capacité d'un enfant et la difficulté d'un item/critère pour laquelle l'enfant a un rapport de vraisemblance de réussite égal à un facteur exponentiel $e^1 = 2,71$. Lorsqu'un enfant affiche une progression de 1 logit, cela signifie qu'il a 2,71 fois plus de chance de réussir n'importe quel item/critère. S'il a une progression de 2 logits, il a alors 7,39 fois (i.e., e^2) plus de chance de réussir n'importe quel item/critère. Les échelles de mesure utilisant le logit comme unité sont donc des échelles linéaires car une augmentation d'une unité logit augmente le rapport de vraisemblance de réussite par un facteur constant de 2,71 tout au long de l'échelle.

A2.2. Sélection des items et des critères pour créer le LUDO-TDC

À partir de l'analyse vidéo des 49 items et des 10 critères qualitatifs, des analyses successives ont été effectuées afin de supprimer les items et critères qualitatifs ne satisfaisant pas aux critères d'une mesure objective.

A2.2.1. Items/critères non extrêmes

Un item/critère est considéré comme extrême lorsque l'examineur attribue, pour cet item/critère, un score minimal (« impossible ») ou maximal (« aucune difficulté ») à tous les enfants. Ce type d'item/critère ne peut être estimé précisément par le modèle de Rasch car sa localisation théorique se trouve à l'infini sur l'échelle de mesure. Les items/critères extrêmes ont donc été supprimés.

A2.2.2. Ordre des seuils des catégories de réponse

Il est essentiel de vérifier que l'échelle à 4 catégories de réponse est utilisée par l'examineur comme postulé à priori, c'est-à-dire que plus la catégorie de réponse est élevée, plus le niveau de coordination/performance qualitative avec laquelle les tâches sont réalisées est élevé. Si l'ordre des catégories de réponse est vérifié, l'examineur doit toujours attribuer un score plus élevé aux enfants ayant un niveau de coordination/performance qualitative plus élevé qu'aux enfants ayant un moindre niveau, et ce, pour n'importe quel item/critère donné (Penta, Arnould, & Decruynaere, 2005). Autrement dit, pour un item/critère donné, la probabilité de réussite doit augmenter en fonction du niveau de coordination/performance qualitative de l'enfant. Lorsque cela n'est pas le cas, l'ordre des seuils entre les catégories de réponse successives est inversé, signifiant ainsi que l'échelle de réponse n'a pas été utilisée par l'examineur comme postulé à priori (Bouffoulx, Arnould, & Thonnard, 2008). Face à un désordre de seuils, deux solutions peuvent être envisagées. Premièrement, les items/critères présentant un désordre de seuils peuvent être supprimés. Deuxièmement, les catégories de réponse adjacentes des items/critères présentant un désordre de seuils peuvent être regroupées en une seule catégorie. Cela permet de conserver les items/critères qui apportent une information pertinente sur la coordination des enfants ou sur la qualité des performances qu'ils effectuent, et ce, malgré le désordre de seuils initial.

A2.2.3. Ciblage adéquat des items/critères par rapport aux mesures des enfants atteints de TDC

Le ciblage des items/critères correspond à la comparaison entre la distribution des niveaux de coordination/performance qualitative des enfants atteints de TDC et la distribution de la localisation des seuils des items/critères sur l'échelle de mesure. La difficulté moyenne des items/critères est fixée par convention à 50 % de logits. Pour obtenir un ciblage correct, la distribution des seuils des items/critères doit être centrée par rapport à la distribution des mesures des enfants atteints de TDC. Les items/critères considérés comme trop faciles ou trop difficiles par rapport aux enfants de l'échantillon n'apportent aucune information pertinente en termes de mesures et peuvent donc être supprimés sans que l'outil d'évaluation ne perde en précision.

A2.2.4. Unidimensionnalité

Le concept d'unidimensionnalité est la capacité de l'outil d'évaluation à ne mesurer qu'un attribut unique de l'enfant évalué, même si cet enfant est caractérisé par de nombreux autres attributs (Penta, Arnould, & Decruynaere, 2005). Dans le cas de la coordination, aucun autre attribut des enfants ou des items/critères que la coordination ou la performance qualitative avec laquelle les tâches nécessitant une coordination sont réalisées ne doit expliquer théoriquement la probabilité de choisir une catégorie de réponse. Des items/critères présentant de trop grandes différences entre les scores observés et les scores prédits/attendus par le modèle de Rasch ne satisfont pas

au concept d'unidimensionnalité car ils sont influencés par d'autres attributs que le niveau de coordination/performance qualitative. La similarité entre les scores observés et attendus a été investiguée pour chaque item/critère par l'indice d'ajustement χ^2 . L'échantillon total a été divisé en trois classes d'intervalle de niveau de coordination/performance qualitative progressivement croissant. Les résidus ont été standardisés en les divisant par la déviation standard du score attendu pour chaque classe d'intervalle (Andrich, & Sheridan, 2005). La statistique d'ajustement χ^2 a été calculée pour chaque item comme la somme des carrés des résidus standardisés de chaque classe d'intervalle (Andrich, & Sheridan, 2005). Les items présentant une p -valeur de la statistique χ^2 inférieure à 0,05 ont été supprimés car ils étaient multidimensionnels (Penta, Arnould, & Decruynaere, 2005).

A2.2.5. Indépendance locale

Il existe une dépendance locale lorsque la réponse que l'examineur attribue à un item/critère de l'échelle dépend de sa réponse à un autre item/critère de la même échelle (Lundgren-Nilsson *et al.*, 2013). L'indépendance locale signifie qu'après avoir pris en compte la variable mesurée, aucune relation ne devrait exister entre les scores obtenus par les enfants aux différents items/critères. En effet, le score d'un enfant à un item/critère ne devrait dépendre que de la différence entre sa capacité et la difficulté de l'item/critère et des seuils de l'item/critère. La dépendance locale peut être identifiée en observant la matrice des corrélations des résidus des items/critères. Les résidus sont les différences entre les scores observés et les scores prédits par le modèle de Rasch. La dépendance locale n'est pas une menace pour les qualités psychométriques d'un outil de mesure si la valeur absolue de la moyenne des corrélations des résidus est inférieure à 0,2 (Wright, 1996). Les items/critères dont les résidus étaient hautement inter-corrélés ($R \geq 0,8$) ont été supprimés.

A2.3. Fiabilité des échelles de mesure du LUDO-TDC

Le coefficient de fiabilité (R) est défini comme la proportion de la variance des mesures observées (= scores réels + erreurs de mesure) qui est attribuable à la variance des mesures réelles. Il varie entre 0 (fiabilité nulle) et 1 (fiabilité parfaite). Des valeurs proches de 1 signifient que l'outil est fiable car les mesures observées représentent essentiellement les capacités réelles des enfants. Cet indice est analogue au coefficient de consistance interne traditionnel, le coefficient alpha de Cronbach (1951).

L'index de séparation des personnes (G) est égal à la racine carrée du rapport entre le coefficient de fiabilité et son complément (Penta, Arnould, & Decruynaere, 2005). Cet index permet ensuite de calculer le nombre de niveaux de coordination/performance qualitative différents qui peuvent être statistiquement distingués, grâce au LUDO-TDC, à l'intérieur de l'échantillon selon la formule suivante : $(4G+1)/3$ (Fisher, 1992 ; Penta, Arnould, & Decruynaere, 2005).

A2.4. Validité des échelles de mesure du LUDO-TDC

La validité conceptuelle du LUDO-TDC a été explorée en vérifiant l'hypothèse selon laquelle les niveaux de coordination et les performances qualitatives des enfants atteints de TDC étaient inférieurs à ceux des enfants sains du même âge. A cette fin, la valeur des seuils et la difficulté des items/critères lors de l'analyse des données des enfants sains ont été fixées/ancrées sur les valeurs obtenues lors du calibrage des deux échelles de mesure du LUDO-TDC chez les enfants atteints de TDC. Cette ancrage était indispensable pour comparer les mesures des enfants ayant un TDC et des enfants sains sur une même échelle étant donné que le modèle de Rasch fixe arbitrairement l'origine à la difficulté moyenne de l'outil de mesure (i.e., 50% de logits).

Annexe 3. Sélection des items du LUDO-TDC

A3.1. Sélection des items du LUDO-TDC quantitatif

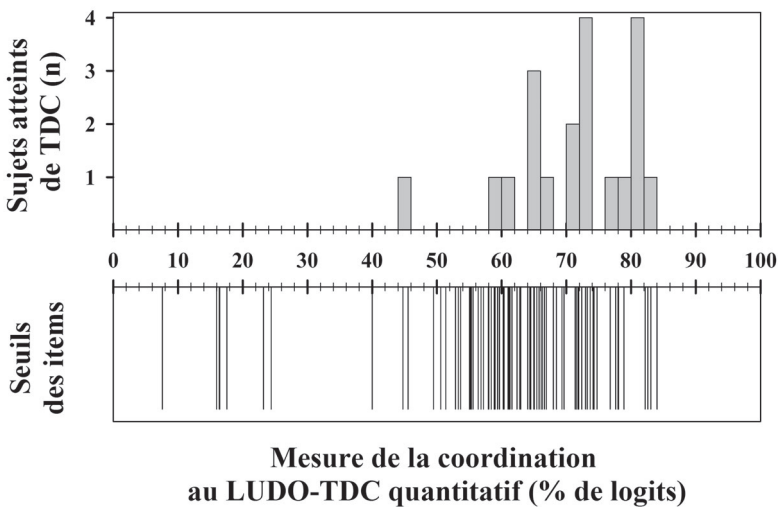


Figure n°6.

Ciblage des 40 items (après élimination des items désordonnés) par rapport aux mesures des enfants atteints de trouble développemental de la coordination (TDC).

Panneau du haut : distribution des mesures de coordination des enfants ayant un TDC. Panneau du bas : distribution des seuils des items en fonction de la mesure de coordination.

Lors de l'analyse des données des enfants atteints de TDC, aucun item extrême n'a été relevé.

Malgré le regroupement des deux premières catégories de réponse, 9 items (e.g., « utiliser un bâton de colle », « sortir la plasticine de son pot », « déchirer une feuille A4 en deux ») présentaient encore un désordre de seuils et ont donc été supprimés.

Les distributions des mesures des enfants ayant un TDC et des seuils des items (i.e., graduations de l'échelle) sont présentées à la figure 6. La distribution des seuils met en évidence deux groupes d'items. Sept items « faciles » avaient leur premier seuil (correspondant au niveau de coordination pour lequel il existe une probabilité égale de répondre « légères difficultés » plutôt que « grandes difficultés ») décentré par rapport au niveau de coordination moyen de l'échantillon. Les 33 items restants avaient leurs deux seuils bien ciblés par rapport au niveau de coordination moyen des enfants ayant un TDC. Les 7 items « faciles » (e.g., « enlever l'élastique autour des cartes de jeu », « dé/recapuchonner un marqueur », « décoller des petites gommettes rondes ») ont été supprimés après s'être assuré que leur suppression n'affectait en rien la précision de la mesure.

Un item (« ouvrir un bocal avec un double système de fermeture ») ne satisfaisait pas aux critères d'unidimensionnalité (p -valeur du $\chi^2 < 0,05$) et a donc été supprimé. Les 32 items restants définissaient globalement une variable unique, à savoir le niveau de coordination des enfants ayant un TDC (p -valeur du χ^2 global de 0,90).

Enfin, aucun item n'était hautement inter-corrélé avec un autre ($R < 0,8$ pour tous les items). La valeur absolue de la moyenne des corrélations des résidus étant de 0,03 indique que la dépendance locale n'est pas suffisante que pour menacer les qualités psychométriques de l'outil d'évaluation quantitatif.

A3.2. Sélection des items du LUDO-TDC qualitatif

Lors de l'analyse des données des enfants atteints de TDC, aucun critère qualitatif extrême n'a été relevé.

Malgré le regroupement des deux premières catégories de réponse, un critère qualitatif (« persévérance dans les erreurs ») présentait encore un désordre de seuils et a donc été supprimé.

Deux critères qualitatifs « faciles » (i.e., « calibrage de la force » et « utilisation correcte des objets ») avaient leur premier seuil décentré par rapport à la performance de l'échantillon. Ils n'ont cependant pas été supprimés car la suppression de leur deuxième seuil, lequel était bien ciblé par rapport à la performance de l'échantillon, diminuait la précision de la mesure. Etant donné que la catégorie de réponse « grandes difficultés » (0) n'était jamais observée dans l'échantillon pour ces deux critères qualitatifs, l'échelle polytomique à 3 catégories de réponse a été transformée, pour ces critères, en une échelle dichotomique en regroupant les deux premières catégories (i.e. « grandes difficultés » (0) et « légères difficultés » (1)). Pour les deux critères qualitatifs « faciles », l'échelle dichotomique suivante a donc été utilisée : 0 = « difficultés »

et 1 = « aucune difficulté ». Ainsi, ces deux critères n'incluaient plus qu'un seul seuil bien centré par rapport à la population. Tous les autres critères qualitatifs conservaient leur échelle de mesure à 3 catégories de réponse : 0 = « grandes difficultés », 1 = « légères difficultés », et 2 = « aucune difficulté ».

Un critère qualitatif (« organisation séquentielle des gestes ») ne satisfaisait pas aux critères d'unidimensionnalité (p -valeur du $\chi^2 < 0,05$) et a donc été supprimé. Les 8 critères restants définissaient globalement une variable unique, à savoir le niveau de performance qualitative dans des tâches de coordination (p -valeur du χ^2 global de 0,88).

Enfin, aucun critère n'était hautement inter-corrélé avec un autre ($R < 0,8$ pour tous les critères). La valeur absolue de la moyenne des corrélations des résidus étant de 0,12 indique que la dépendance locale n'est pas suffisante que pour menacer les qualités psychométriques de l'outil d'évaluation qualitatif.

Annexe 4. Nombres d'items retenus dans chaque domaine de coordination en fonction de la phase de développement du LUDO-TDC quantitatif

Le tableau 5 indique le nombre d'items retenus dans chaque domaine de coordination en fonction de la phase de développement du LUDO-TDC quantitatif, à savoir, l'outil préliminaire (avant l'avis des experts), l'outil expérimental (après l'avis des experts) et l'outil final (après l'analyse avec le modèle de Rasch).

Domaines de coordination*	Outil préliminaire (155 items)	Outil expérimental (49 items)	Outil final (32 items)
Coordination motrice globale	61 (39%)	9 (18%)	8 (25%)
Équilibre statique	8 (5%)	1 (2%)	0 (0%)
Équilibre dynamique	8 (5%)	0 (0%)	0 (0%)
Coordinations locomotrices [MI/MI+MS]	21 (14%) [11/10] (7%/6%)	3 (6%) [2/1] (4%/2%)	3 (9%) [2/1] (6%/3%)
Coordinations manipulatoires [U/B]	19 (12%) [8/11] (5%/7%)	2 (4%) [0/2] (0%/4%)	2 (6%) [0/2] (0%/6%)
Coordinations non locomotrices	5 (3%)	3 (6%)	3 (9%)
Coordination motrice fine	94 (61%)	40 (82%)	24 (75%)
Praxies idéatoires [AVJ dont habillage]	65 (42%) [53 dont 15] (34% dont 10%)	34 (69%) [29 dont 8] (59% dont 16%)	18 (56%) [15 dont 3] (47% dont 9%)
Praxies idéo-motrices	6 (4%)	3 (6%)	3 (9%)
Praxies visuo-spatiales et constructives [V-S/C]	21 (14%) [19/2] (12%/1%)	2 (4%) [2/0] (4%/0%)	2 (6%) [2/0] (6%/0%)
Dissociations Mint -Mext	2 (1%)	1 (2%)	1 (3%)

Tableau n°5.

Nombre d'items par domaine de coordination selon la phase de développement du LUDO-TDC quantitatif

MI = membres inférieurs; MS = membres supérieurs; U = unimanuelles; B = bimanuelles; AVJ = activités de la vie journalière; V-S = visuo-spatiales; C = constructives; Mint = main interne; Mext = main externe.

* Les coordinations locomotrices mettent en action tout le corps qui se déplace (e.g., marcher, courir, sauter, ramper); les coordinations manipulatoires mettent en action les membres pour contrôler/bouger les objets (e.g., lancer, attraper, faire rouler, shooter, faire rebondir une balle); les coordinations non locomotrices mettent en action le corps sans déplacement (e.g., se pencher, (se) tourner, se balancer, s'étirer, pousser, tirer); les praxies idéatoires nécessitent une organisation séquentielle de gestes à effectuer pour manipuler un objet (e.g., découper une forme, enfiler des perles, tailler un crayon, fermer les boutons d'une chemise); les praxies idéo-motrices nécessitent une organisation du geste moteur en l'absence de manipulation réelle de l'objet (e.g., ouvrir les mains en alternance, pianoter sur la table); les praxies V-S nécessitent le maniement des relations spatiales (e.g., tracer un chemin dans un labyrinthe, relier des points avec une latte, copier une forme); les praxies constructives concernent des activités d'assemblage et de construction (e.g., empiler des blocs, puzzle); et les dissociations Mint - Mext nécessitent une manipulation à l'intérieur de la main (e.g., faire une boulette de papier).

Septante-cinq pour cent des items de la version finale du LUDO-TDC quantitatif concernent la coordination motrice fine avec le domaine des praxies idéatoires (56% des items) qui est le plus représenté. Quant aux domaines de l'équilibre statique et dynamique, ils ne sont plus du tout représentés dans la version finale. Ces domaines n'avaient pas été jugés pertinents par les experts pour l'évaluation de la coordination chez les enfants atteints de TDC. Notons que, de façon générale, la proportion des items de coordination motrice globale a fortement baissé (de 39% à 18%) suite à l'avis des experts. Cependant, tous les items de coordination motrice globale sélectionnés par les experts, sauf un, ont été conservés suite à l'analyse de Rasch. A contrario, la proportion des items de praxies idéatoires a fortement augmenté (de 42 à 69%) suite à l'avis des experts. La proportion de ces items diminue légèrement dans la version finale de l'outil (56%). La proportion des items visuo-spatiaux a diminué de façon non négligeable (de 12 à 4%) suite à l'avis des experts. Le nombre d'items de praxies idéo-motrices, de praxies visuo-spatiales, et de dissociations main interne - main externe restent similaires entre les versions expérimentale et finale du LUDO-TDC quantitatif.

Bibliographie

- Albaret, J.-M., & Noack, N. (1993). L'échelle de coordinations motrices de Charlop-Atwell : étalonnage sur une population d'enfants de 3 ans 6 mois à 6 ans. In *Entretiens de Psychomotricité 1993* (pp.18-24), Paris : Expansion Scientifique Française.
- Albaret, J.-M. (1999). Troubles de l'acquisition de la coordination : perspectives actuelles des dyspraxies de développement. *Évolutions psychomotrices*, 11(45), 123-129.
- Albaret, J.-M., & Castelnaud, P. (2004). Évaluation des troubles du mouvement intentionnel et des fonctions nonverbales. In J. Flessas, & F. Lussier (Eds.), *Actes du Symposium sur les dysfonctions non verbales : les défis du diagnostic et de l'intervention* (pp. 41-51). Montréal : CENOP-FL.

- American Psychiatric Association. (1994). *Diagnostic and statistical manual of mental disorders : DSM-IV* (4^e édit.). Washington, D.C. : American Psychiatric Association.
- American Psychiatric Association. (2013). *Diagnostic and statistical manual of mental disorders : DSM-V* (5^e édit.). Washington, D.C. : American Psychiatric Association.
- Andrich, D., Sheridan, B., & Luo, G. (2004). *RUMM2020: Rasch unidimensional models for measurement*. Perth : RUMM Laboratory. <http://www.rummlab.com.au>
- Andrich D., & Sheridan, B. (2005). *Interpreting RUMM2020 : part II, polytomous data*. Perth : RUMM Laboratory Pty Ltd.
- Arnould, C., Penta, M., Renders, A., & Thonnard, J.-L. (2004). ABILHAND-Kids : a measure of manual ability in children with cerebral palsy. *Neurology*, 63(6), 1045-1052.
- Bouffoulox, E., Arnould, C., & Thonnard, J.-L. (2008). SATIS-Stroke : A satisfaction measure of activities and participation in the actual environment experienced by patients with chronic stroke. *Journal of Rehabilitation Medicine*, 40(10), 836-843. <https://doi.org/10.2340/16501977-0272>
- Breton, S., & Léger, F. (2007). *Mon cerveau ne m'écoute pas. Comprendre et aider l'enfant*.
- Broca, A. (2009). *Le développement de l'enfant, aspects neuro-psycho-sensoriels* (4^e édit.). Paris : Masson.
- Blank, R., Smits-Engelsman, B., Polatajko, H., & Wilson, P. (2012). European Academy for Childhood Disability (EACD): Recommendations on the definition, diagnosis and intervention of developmental coordination disorder (long version)*. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 54(1), 54-93.
- Chambers, M. E., Sugden, D. A. (2002). The identification and assessment of young children with movements difficulties. *International Journal of Early Years Education*, 10(3), 157-176.
- Cronbach, L. J. (1951). Coefficient alpha and the internal structure of tests. *Psychometrika*, 16(3), 297-334.
- Gibbs, J., Appleton, J., & Appleton, R. (2007). Dyspraxia or developmental coordination disorder? Unravelling the enigma. *Archives of Disease in Childhood*, 92(6), 534-539. <https://doi.org/10.1136/adc.2005.088054>
- Gérard, C.-L., & Brun, V. (2005). *Les dyspraxies de l'enfant*. Paris : Masson.
- Geuze, R. H. (2005). *Le trouble de l'acquisition de la coordination. Évaluation et rééducation de la maladresse chez l'enfant*. Marseille : Solal.
- Goldstein, S., & Naglieri, J. A. (2011). *Encyclopedia of Child Behavior and Development*. New York : Springer.
- Henderson, S. E., & Sugden, D. A. (1992). *Movement Assessment Battery for Children*. Londres : The Psychological Corporation.
- Huron, C. (2011). *L'enfant dyspraxique, mieux l'aider à la maison et à l'école*. Paris : Odile Jacob.

- Kadesjö, B., & Gillberg, C. (1998). Attention deficits and clumsiness in Swedish 7-year-old children. *Developmental Medicine and Child Neurology*, 40(12), 796-804.
- Kim, Y., Park, I., & Kang, M. (2012). Examining rater effects of the TGMD-2 on children with intellectual disability. *Adapted Physical Activity Quarterly: APAQ*, 29(4), 346-365.
- Kirby, A., Sugden, D., & Purcell, C. (2014). Diagnosing developmental coordination disorders. *Archives of Disease in Childhood*, 99(3), 292-296. <https://doi.org/10.1136/archdischild-2012-303569>
- Krumlinde-Sundholm L., & Eliasson A. C. (2003). Development of the Assisting Hand Assessment : a Rasch-built measure intended for children with unilateral upper limb impairments. *Scandinavian Journal of Occupational Therapy*, 10(1), 16-26.
- Leplat, J. (2001). *L'analyse du travail en psychologie ergonomique* (Tome 1, 2^e édit). Toulouse : Octarès.
- Linacre, J. M. (1994). Sample size and item calibration stability. *Rasch Measurement Transactions*, 7(4), 328.
- Lundgren-Nilsson, Å., Jonsdottir, I. H., Ahlberg, G., & Tennant, A. (2013). Construct validity of the Psychological General Well Being Index (PGWBI) in a sample of patients undergoing treatment for stress-related exhaustion : a Rasch analysis. *Health and Quality of Life Outcomes*, 11, 2. <https://doi.org/10.1186/1477-7525-11-2>
- Mazeau, M., & Le Lostec, C. (2010). *L'enfant dyspraxique et les apprentissages*. Issy-Les-Moulineaux : Masson.
- Merbitz, C., Morris, J., & Grip, J. C. (1989). Ordinal scales and foundations of misinference. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 70(4), 308-312.
- Missiuna, C., Moll, S., Law, M., King, S., & King, G. (2006). Mysteries and mazes : parents' experiences of children with developmental coordination disorder. *Canadian Journal of Occupational Therapy. Revue Canadienne d'Ergothérapie*, 73(1), 7-17. <https://doi.org/10.2182/cjot.05.0010>
- Pannetier, E. (2007). *La dyspraxie : une approche clinique et pratique*. Montréal : CHU Sainte-Justine.
- Penta, M., Tesio, L., Arnould, C., Zancan, A., & Thonnard, J. L. (2001). The ABIL-HAND questionnaire as a measure of manual ability in chronic stroke patients : Rasch-based validation and relationship to upper limb impairment. *Stroke*, 32(7), 1627-1634.
- Penta, M., Arnould, C., & Decruynaere, C. (2005). *Développer et interpréter une échelle de mesure. Applications du modèle de Rasch*. Sprimont : Mardaga.
- Rasch, G. (1980). *Probabilistic models for some intelligence and attainment tests*. Chicago : Mesa Press.
- Romein, E., & Bard, R. (2011). Comment mesurer le retentissement d'un traitement en situation écologique par une évaluation fiable de la fonction manuelle chez

- les enfants présentant une atteinte unilatérale : le Assisting Hand Assesment (AHA). *Motricité cérébrale*, 31(3), 111-118.
- Rosenblum, S. (2006). The development and standardization of the Children Activity Scales (ChAS-P/T) for the early identification of children with Developmental Coordination Disorders. *Child : Care, Health and Development*, 32(6), 619-632. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2214.2006.00687.x>
- Vaivre-Douret, L., Lalanne, C., Cabrol, D., Ingster-Moati, I., Falissard, B., & Golse, B. (2011). Identification de critères diagnostiques de sous-types de troubles de l'acquisition de la coordination (TAC) ou dyspraxie développementale. *Neuropsychiatrie de l'enfance et de l'adolescence*, 59(8), 443-453.
- Van Dellen, T., Vaessen, W., & Schoemaker, M. M. (1990). Clumsiness definition and selection of subjects. In A.F. Kalverboer (Ed.), *Developmental biopsychology: experimental and observational studies in children at risk* (pp. 223-240). Ann Arbor : University of Michigan Press.
- Venetsanou, F., Kambas, A., Ellinoudis, T., Fatouros, I., Giannakidou, D., & Kourteissis, T. (2011). Can the movement assessment battery for children-test be the "gold standard" for the motor assessment of children with Developmental Coordination Disorder? *Research in Developmental Disabilities*, 32(1), 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2010.09.006>
- Volkmar, F. (2013). *Encyclopedia of autism spectrum disorders*. New York : Springer.
- Wilson, B. N., Kaplan, B. J., Crawford, S. G., Campbell, A., & Dewey, D. (2000). Reliability and validity of a parent questionnaire on childhood motor skills. *The American Journal of Occupational Therapy : Official Publication of the American Occupational Therapy Association*, 54(5), 484-493.
- Wright, B. D., & Linacre, J. M. (1989). Observations are always ordinal : measurements, however, must be interval. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 70(12), 857-860.
- Wright B. (1996). Local dependency, correlations and principal components. *Rasch Measurement Transactions*, 10, 509-11.