



HAL
open science

L'utilisation d'outil chez l'enfant : approche neuropsychologique du développement normal et du Trouble de l'Acquisition de la Coordination

Chrystelle Remigereau

► **To cite this version:**

Chrystelle Remigereau. L'utilisation d'outil chez l'enfant : approche neuropsychologique du développement normal et du Trouble de l'Acquisition de la Coordination. Psychologie. Université d'Angers, 2016. Français. NNT : 2016ANGE0045 . tel-02454463

HAL Id: tel-02454463

<https://theses.hal.science/tel-02454463>

Submitted on 24 Jan 2020

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

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

Thèse de Doctorat

Chrystelle REMIGEREAU

*Mémoire présenté en vue de l'obtention du
grade de Docteur de l'Université d'Angers
sous le sceau de l'Université Bretagne Loire*

École doctorale : *Cognition, Education, Interactions (CEI)*

Discipline : *Psychologie – 16^{ème} section CNU*

Spécialité : *Neuropsychologie*

Unité de recherche : *Laboratoire de Psychologie des Pays de la Loire (LPPL) UPRES EA 4638*

Université d'Angers, Maison de la Recherche Germaine Tillion, 5 Bis Boulevard Lavoisier, 49045 ANGERS Cedex 1

Soutenue le *8 décembre 2016*

Thèse N° : *79 162*

L'utilisation d'outil chez l'enfant

Approche neuropsychologique du développement typique et du
Trouble de l'Acquisition de la Coordination

JURY

Rapporteurs : **Angela BARTOLO**, Maître de Conférences, Université Charles-de-Gaulle Lille 3

Marianne JOVER, Professeur des Universités, Université d'Aix-Marseille

Examineur : **Jacqueline FAGARD**, Directrice de Recherches CNRS émérite, Université Paris Descartes

Directeur de Thèse : **Didier LE GALL**, Professeur des Universités, Université Bretagne-Loire, Angers

Co-directeur de Thèse : **Arnaud ROY**, Professeur des Universités, Université Bretagne-Loire, Angers

Présidence de l'université
40 rue de rennes – BP 73532
49035 Angers cedex
Tél. 02 41 96 23 23 | Fax 02 41 96 23 00



2012-2016

Mémoire présenté en vue de l'obtention du
grade de Docteur de l'Université d'Angers
sous le sceau de l'Université Bretagne Loire

École doctorale : Cognition, Education, Interactions (CEI)

Discipline : Psychologie – 16ème section CNU

Spécialité : Neuropsychologie

Unité de recherche : Laboratoire de Psychologie des Pays de la Loire (LPPL) UPRES EA 4638
Université d'Angers, Maison de la Recherche Germaine Tillion, 5 Bis Boulevard Lavoisier, 49045 ANGERS Cedex 1

L'utilisation d'outil chez l'enfant

Approche neuropsychologique du développement
typique et du Trouble de l'Acquisition de la
Coordination

Chrystelle Remigereau |

Sous la direction du Pr. Didier Le Gall |
Co-direction du Pr. Arnaud Roy

Membres du jury

Angela BARTOLO | Rapporteur
(Présidente du Jury)

Marianne JOVER | Rapporteur
Jacqueline FAGARD | Examineur

Soutenue publiquement le :
8 décembre 2016

**L'auteur du présent document
vous
autorise à le partager, reproduire,
distribuer et communiquer selon
les conditions suivantes :**



- Vous devez le citer en l'attribuant de la manière indiquée par l'auteur (mais pas d'une manière qui suggérerait qu'il approuve votre utilisation de l'œuvre).
- Vous n'avez pas le droit d'utiliser ce document à des fins commerciales.
- Vous n'avez pas le droit de le modifier, de le transformer ou de l'adapter.

Consulter la licence creative commons complète en français :

Ces conditions d'utilisation (attribution, pas d'utilisation commerciale, pas de modification) sont symbolisées par les icônes positionnées en pied de page.



ENGAGEMENT DE NON PLAGIAT

Je, soussignée Chrystelle REMIGEREAU,
déclare être pleinement conscient(e) que le plagiat de documents ou d'une partie d'un document publiée sur toutes formes de support, y compris l'internet, constitue une violation des droits d'auteur ainsi qu'une fraude caractérisée. En conséquence, je m'engage à citer toutes les sources que j'ai utilisées pour écrire ce rapport ou mémoire.

signé par l'étudiante le 20 / 10 / 2016,



**Cet engagement de non plagiat doit être signé et joint
à tous les rapports, dossiers, mémoires.**

Présidence de l'université
40 rue de rennes – BP 73532
49035 Angers cedex
Tél. 02 41 96 23 23 | Fax 02 41 96 23 00



RÉSUMÉ

Les perturbations des activités de vie quotidienne constituent l'un des critères diagnostiques du Trouble de l'Acquisition de la Coordination (TAC). Malgré leur impact sur l'autonomie de l'enfant, les troubles d'utilisation impliqués dans ces activités quotidiennes demeurent peu explorés (e.g., mécanismes sous-jacents, profils inter-individuels, recul évolutif). A notre connaissance, la notion d'utilisation d'outil n'a pas fait l'objet d'une modélisation développementale spécifique. Elle se situe aujourd'hui au carrefour des modèles sur le développement perceptivo-moteur et des théories sur l'émergence des capacités cognitives de résolution de problème chez l'enfant. Des modèles récents développés chez l'adulte apraxique suggèrent que l'utilisation d'outil est le fruit d'un processus dialectique entre un raisonnement technique (i.e., analyse abstraite des moyens techniques pertinents pour un but donné) et des habiletés sensori-motrices (i.e., guidées par les représentations sur les transformations mécaniques à opérer). A l'appui de ces modèles, la présente thèse propose d'une part d'analyser le développement typique de l'utilisation d'outil et des processus sous-jacents. Nous explorons d'autre part l'hypothèse d'un développement atypique de l'utilisation d'outil chez des enfants diagnostiqués TAC. Nos résultats apportent des arguments en faveur de la contribution du raisonnement technique au développement typique de l'utilisation d'outil. Sur le plan clinique, l'analyse de l'étendue et des causes sous-jacentes des difficultés d'utilisation d'outil confirme l'importance d'un tel examen pour la validation des critères diagnostiques du TAC.

Mots-clés : Utilisation d'outils, Raisonnement technique, Anticipation motrice, Connaissances fonctionnelles, Trouble de l'Acquisition de la Coordination.

ABSTRACT

Deficits in daily living activities are one of the diagnostic criteria of the Developmental Coordination Disorder (DCD). Despite their impact on child's autonomy, tool use disorders involved in these daily activities remain under-assessed (e.g., underlying processes, interpersonal profiles, persistence disease). To our knowledge, there is no theoretical framework of tool use formulated in a specifically developmental perspective. This concept actually remains at the crossroads between models of the perceptual-motor development and theories about cognitive processes of problem resolution in children. Recent models developed in adults with apraxia suggest that tool use is a dialectical process between a technical reasoning (i.e., abstract analysis of technical means and ends) and sensory-motor skills (i.e., managed by the representations on the mechanical transformations to be operated). According to these models, we first aim to analyze the typical development of tool use and the underlying processes. We then explore the assumption of an atypical development of tool use in children with DCD. Our findings provide evidence for the involvement of technical reasoning in typical development of tool use. From a clinical perspective, the analysis of tool use impairment and underlying deficits confirm the relevance of such an assessment for the validation of the diagnostic criteria of the DCD.

Keywords : Tool use, Technical reasoning, Anticipatory motor planning, Functional knowledge, Developmental Coordination Disorder



REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier sincèrement toutes les personnes qui ont favorisé la réalisation de ce travail.

Je remercie en premier lieu mes Directeurs de recherche, qui m'ont accordé une grande confiance dès les balbutiements de ce projet de Thèse.

Didier Le Gall, pour ses relectures constructives et ses enseignements épistémologiques captivants, qui poussent à la réflexion théorique, sans toutefois se déconnecter d'une réalité clinique indispensable à la pratique de la recherche fondamentale et appliquée.

Arnaud Roy, pour la qualité de son encadrement universitaire depuis le Master 1 à Angers et la transmission de son savoir-faire clinique depuis mes premiers jours de stage au CHU de Nantes en Master 2 recherche. Son enthousiasme, ses conseils avisés et le mélange subtil de liberté professionnelle et de cadre étayant dans son accompagnement, sont autant d'ingrédients qui m'ont permis de mener à terme ces 4 années de Doctorat dans un contexte privilégié. Merci de ta disponibilité jamais mise en défaut et qui s'est avérée déterminante lors des dernières heures de rédaction de cette thèse (dont Zoé et Robin se souviendront peut-être !).

Je remercie cordialement Angela Bartolo, Marianne Jover, et Jacqueline Fagard, membres du jury, qui ont accepté d'apporter leur regard complémentaire à l'expertise de ce travail.

Mes remerciements s'adressent tout particulièrement aux enfants et à leur famille, pour leur disponibilité et leur coopération aux séances de passation parfois longues, sans qui cette thèse n'aurait tout simplement pas pu voir le jour. Merci à Mr Gromy, Inspecteur de l'Éducation Nationale - Adaptation et Scolarisation des élèves en situation de Handicap en Maine-et-Loire, pour avoir autorisé et facilité la mise en place de cette recherche dans les établissements scolaires du département.

Un grand merci à Oriane Costini, qui aura accompagné depuis le Master 2 toutes les étapes universitaires de mon Doctorat. Merci d'avoir accepté de partager ton expérience, ton dynamisme débordant (jusque dans les playlist musicales !) et tes conseils aiguisés, qui m'auront permis une prise de distance souvent nécessaire à plusieurs égards, et notamment pour pouvoir aborder la possibilité d'une carrière universitaire (à tes côtés !).

Je remercie chaleureusement tous mes supers (anciens) collègues du Centre Référent des Troubles d'Apprentissage du CHU de Nantes, qui m'ont accueillie avec bienveillance dès mes premiers jours de stage et tout au long du Doctorat.

Spéciale Dédicace à Emmanuelle « The First », mon ancien binôme de bureau du bout du couloir, bien connue pour ses talents de chorégraphe mais aussi pour sa constante bonne humeur. Merci pour tes encouragements et le partage de tes compétences professionnelles certaines en psychomotricité qui auront permis, entre autre, d'enrichir ma réflexion clinique auprès des enfants TAC et d'assurer le recrutement de ces patients.

REMERCIEMENTS

Stéphanie Bellouard-Masson, Vincent Lodenos, Emmanuelle Alix, Fabienne Marchand, Marie-Laure Beaussart, Marie Bru, Sonia Guinouet, Jocelyne Labat, Elisabeth Peuvrel, Marine et Elodie (dont je crains de dysorthographier leur nom de famille) : Merci à tous pour votre soutien et vos encouragements. Je remercie plus particulièrement les Psychologues-Neuropsychologues qui ont directement participé à ma formation initiale et ont façonné ma pratique clinique professionnelle : Valérie Charbonnier (d'abord maître de stage, puis collègue m'ayant apportée une aide non négligeable dans la cotation de certaines épreuves), Marie Charlotte Dubrey (je n'oublierai pas tous nos voyages en train qui ont laissé cours à des conversations théorico-cliniques passionnantes et quelques sprint effrénés !) et Charlotte Martin (qui m'a fait confiance pour son remplacement congé-maternité et m'a ainsi offert l'occasion de rentrer dans le monde du travail plus rapidement que je ne l'avais espéré).

Merci également aux professionnels du Centre de Réadaptation Les Capucins à Angers, pour leur aide dans le recrutement des patients et notamment Laure Blanvillain et Caroline Pinochet, qui m'avaient préalablement accueillie en stage. Je remercie aussi Mme Aubin qui a autorisé qu'une partie de mes recherches se déroulent dans son service.

Je souhaite également remercier François Osiurak, enseignant-chercheur à l'Université de Lyon, pour sa contribution à l'élaboration théorique et à l'analyse statistique des données ; ainsi que Sharman Levinson (Université d'Angers) pour les corrections apportées sur les versions anglaises des articles.

Merci à tous les collègues Enseignants-chercheurs et doctorants du Laboratoire LPPL de l'Université d'Angers pour les conseils avisés dispensés entre deux portes au fil des besoins de chacun. Je remercie Josselin Baumard et Bertrand Schoentgen pour les moments partagés à l'université (« les 3 mousquetaires » Doctorants de 2012) et Claire Mauger pour son aide précieuse dans la cotation de certaines épreuves. Un merci plus spécifique à Josselin pour ses relectures constructives et tous les échanges théoriques, méthodologiques et amicaux partagés au cours de ces années de Doctorat.

Un merci tout particulier à Alexandra Sava, collègue ATER à Lyon qui a gentiment proposé de me remplacer pour certains TD à l'Université de Lyon, afin que je puisse me concentrer pleinement sur la finalisation du manuscrit de Thèse.

Merci aussi aux étudiantes qui ont contribué de manière essentielle au recueil des données : Clémence Coiffard et Marguerite Etchenda.

REMERCIEMENTS

Merci encore à mes amis et notamment Carole, JC, Mélanie, Julien, Ismet, Julie et tous les autres pour leur précieux soutien et les tranches de vie partagées, qui ont constituées de véritables bouffées d'oxygène pendant ces 4 années.

Je souhaite aussi remercier ma famille, et tout particulièrement mes parents et ma sœur (et Clément !) qui sont si présents dans ma vie et me donnent sans compter ! Ils sont d'ailleurs devenus experts en tournage de vidéo « encouragement spécial Thèse », depuis qu'ils m'ont offert une caméra visant à filmer les passations du protocole expérimental.

Merci enfin à Frédéric pour sa présence, sa compréhension, et son soutien inconditionnel pendant ces années de Doctorat. Le jour est enfin venu où je ne serai bientôt plus étudiante (bien que je ne compte pas quitter l'université pour autant !).

Et puisque chacun sait combien il est difficile de remercier l'investissement de chaque personne à sa juste valeur en quelques lignes... Je dirais plus globalement : « Merci à vous tous ! », j'ai apprécié les diverses activités de recherche, cliniques et d'enseignement réalisées pendant ces 4 années de Thèse à vos côtés.

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION GENERALE.....	1
PARTIE THEORIQUE ET QUESTIONS CRITIQUES	7
ARTICLE I. L'UTILISATION D'OUTIL CHEZ L'ENFANT: APPROCHE EPISTEMOLOGIQUE ET SEMIOLOGIE CLINIQUE DANS LE TROUBLE DE L'ACQUISITION DE LA COORDINATION.....	9
<i>Sémiologie Clinique de l'utilisation d'outils chez l'enfant TAC.....</i>	<i>13</i>
Le TAC chez l'enfant : Définition et démarche diagnostique	13
Etiologie du TAC et mécanismes neurocognitifs sous-jacents	15
Evaluation de l'impact des symptômes associés au TAC sur les AVQ.....	21
<i>Approche épistémologique de l'utilisation d'outil chez l'enfant</i>	<i>24</i>
Modélisation de l'utilisation d'outils et composante développementale	24
Apports récents issus du développement typique et de la neuropsychologie adulte	26
Les perspectives pour l'évaluation de l'utilisation d'outils chez l'enfant.....	30
<i>Conclusion</i>	<i>34</i>
<i>Références.....</i>	<i>35</i>
PARTIE CLINIQUE ET EXPERIMENTALE	45
PROBLEMATIQUE GENERALE	47
OBJECTIFS ET HYPOTHESES GENERALES	48
<i>Objectifs.....</i>	<i>48</i>
<i>Hypothèses.....</i>	<i>49</i>
METHODOLOGIE GENERALE	50
<i>Participants.....</i>	<i>50</i>
<i>Matériel.....</i>	<i>52</i>
<i>Procédure</i>	<i>54</i>

ARTICLE II. INVOLVEMENT OF TECHNICAL REASONING MORE THAN FUNCTIONAL KNOWLEDGE IN DEVELOPMENT OF TOOL USE IN CHILDHOOD	57
<i>Introduction</i>	60
Development of tool-making abilities in childhood	60
Underlying processes of tool innovation in children	62
Contributions of studies in adults	62
Overview of the present study	64
<i>Method</i>	65
Participants	65
Materials	65
Procedure	68
Data Analysis	69
<i>Results</i>	70
Sample characteristics	70
Age effect	71
Relationships between RTU, MPS and FK	74
Apparatus effect on Mechanical Problem-Solving	75
<i>Discussion</i>	75
Underlying cognitive processes involved in the development of RTU	76
Age effect on MPS depends on the type of experimental apparatus	77
<i>Conclusion</i>	80
<i>References</i>	82
ARTICLE III. IMPAIRMENT OF REAL TOOL USE IN CHILDREN WITH DEVELOPMENTAL COORDINATION DISORDER : ONLY A PRODUCTION SYSTEME DEFICIT ?	87
<i>Introduction</i>	91
Tool use definition and contributions of studies with adults	92
Real tool use in children with DCD	94
<i>Method</i>	95
Participants	95
Materials	98
Data Analysis	102
<i>Results</i>	103
Sample characteristics	103
Real Tool use	103

Conceptual system	104
Production system.....	105
Relationships bewteen RTU, MPS, FPM, BT and Purdue tasks	105
<i>Discussion</i>	108
Impairment of real tool use in children with DCD.....	108
Only a production system disorder ?	110
<i>Conclusion</i>	113
<i>References</i>	114
SYNTHESE ET DISCUSSION GENERALE	123
RAPPEL DES OBJECTIFS ET SYNTHESE DES PRINCIPAUX RESULTATS	124
RAISONNEMENT TECHNIQUE ET UTILISATION D'OUTILS CHEZ L'ENFANT	126
CONNAISSANCES FONCTIONNELLES ET UTILISATION D'OUTILS CHEZ L'ENFANT	129
PRODUCTION MOTRICE ET UTILISATION D'OUTILS DANS LE TAC.....	134
LIMITES DE L'EXAMEN ET PERSPECTIVES.....	137
CONCLUSION.....	141
BIBLIOGRAPHIE.....	143
ANNEXES

Table des illustrations

Figure 1 (Article I) : Interactions entre les systèmes de conception et de production d'un geste d'utilisation.....	30
Figure 2. (Article I) : Epreuves et processus cognitivo-moteurs potentiellement impliqués dans l'utilisation d'outils.....	33
Figure 1. (Article II) : The Real Tool Use test.....	66
Figure 2. (Article II) : Apparatus and rods used in the MPS tasks	67
Figure 3. (Article II) : Developmental course of MPS, RTU and FK tests	71
Figure 4. (Article II) : Dichotomous scores of children according to age for the MPS tasks (Beck's rating)	72
Figure 1. (Article III) : Flowchart for the inclusion of children with DCD	97
Figure 2. (Article III) : Examples of items used for the experimental tasks.....	98
Figure 3. (Article III) : The apparatus used for the Bar-transport task	101
Figure 4. (Article III) : Within-group comparisons between experimental conditions on RTU and MPS tasks	105

Table des tableaux

Tableau 1. (Méthodologie Générale) : Epreuves expérimentales d'utilisation d'outils	53
Table 1. (Article II) : Accuracy-based scoring system used for Mechanical Problem Solving tasks ...	68
Table 2. (Article II) : General data to the different age groups of the sample.....	70
Table 3. (Article II) : MPS, RTU and FK accuracy-based scores system according to the age	73
Table 4. (Article II) : Correlations according to whole sample between RTU, MPS and FK	74
Table 5. (Article II) : Influence of MPS and FK on RTU (GLMM analysis)	75
Table 1. (Article III) : General data related to the clinical sample and controls.....	103
Table 2. (Article III) : Tool use scores for children with DCD and controls	104
Table 3. (Article III) : Correlations according to the DCD group between RTU, MPS, SK, Bar-transport and Purdue Pegboard.....	106
Table 4. (Article III) : Influence of MPS, FPM, BT and the Purdue Pegboard on RTU (GLMM analysis) according to the DCD group.....	107

INTRODUCTION GENERALE

« Quel que soit l'angle sous lequel on l'envisage, la science est sans conteste un produit de l'histoire : elle porte la marque du temps, elle est un passé dont l'interprétation permet de saisir ses origines, son développement et sa signification dans l'histoire de l'humanité. Autrement dit, la science est un phénomène de civilisation. En soulignant ce caractère contingent de la science, nous sommes amenés à parler de cette entreprise de cognition comme d'une pratique sociale ».

Désautels & Larochelle (1989, p. 7).

L'engagement dans ce travail de Thèse a été motivé par deux facteurs déterminants. D'une part, la jeunesse de ma pratique clinique en Centre Hospitalier Universitaire dans un Centre Référent des Troubles d'Apprentissage qui, à la sortie de deux masters universitaires, soulevait quotidiennement un certain nombre de questions que les équipes institutionnelles n'abordent pas toujours d'un point de vue théorique. D'autre part, les enseignements de mon directeur de recherche Didier Le Gall, m'ont initiée à une réflexion épistémologique en neuropsychologie clinique. La participation à des programmes hospitaliers de recherche clinique avec mon co-directeur Arnaud Roy, et sa pratique clinique teintée d'éléments théoriques issus de ses recherches fondamentales et appliquées, m'ont incitée à m'engager dans ce travail de longue haleine. La collaboration avec Oriane Costini, qui était elle-même engagée dans un travail de Thèse, m'a par ailleurs permis d'envisager que ce dernier puisse être à ma portée. L'obtention en 2012 d'un financement régional pour le projet de recherche *lifespan* « Outil et Vie Quotidienne : du Handicap à l'autonomie » élaboré au sein de notre laboratoire, et la confiance que mes directeurs m'ont accordée pour mettre en œuvre son volet pédiatrique, ont ensuite permis sa réalisation.

Nous avons fait le choix dans cette Thèse d'aborder la question des troubles d'apprentissage d'un point de vue neuropsychologique. Cette science s'intéresse aux rapports qui lient le fonctionnement cérébral et les conduites humaines, seules données réellement saisissables à l'œil nu (*i.e.*, les mécanismes cognitifs renvoient pour leur part à un construit théorique). La neuropsychologie de l'enfant est née voici une trentaine d'année du rapprochement entre les théories et modélisations issues de la neuropsychologie adulte et l'observation des syndromes provoqués par les affections neurodéveloppementales. « Parmi ces dernières, une place de choix fut d'entrée de jeu réservée à un ensemble de difficultés spécifiques touchant des secteurs variables des fonctions cognitives et regroupées sous le concept nord-américain de *learning disorders* » (Habib, Giraud & Liégeois-Chauvel, 2005, p. 37). Plusieurs particularités méritent toutefois d'être soulignées chez l'enfant, telles que le facteur développemental susceptible d'impacter différemment l'évolution des systèmes cognitifs, la variabilité inter-individuelle des trajectoires développementales et la part non négligeable des facteurs environnementaux. A la différence des affections neurogénétiques ou des lésions cérébrales acquises dans la toute petite enfance, les troubles dits *spécifiques d'apprentissage* ne sont pas dus à une cause organique évidente, aucune atteinte cérébrale n'étant facilement repérable (Chokron, 2010). Néanmoins, les difficultés inattendues que rencontrent les enfants atteints de troubles spécifiques d'apprentissage (*e.g.*, en lecture, mathématiques...), compte tenu de l'absence de déficience intellectuelle, de handicap sensoriel et d'environnement carencé, sont souvent associées à un développement cérébral atypique, considéré comme responsable des atteintes cognitives observées.

La prise en charge de ces troubles d'apprentissages constitue aujourd'hui un véritable enjeu de santé publique, compte tenu de l'augmentation constante du nombre de demandes de consultation dans les services hospitaliers, les centres de rééducation et les centres de soin privés. Un grand nombre d'acteurs du secteur médico-social sont concernés chez l'enfant, et également dans le milieu scolaire, car ces troubles sont fondamentalement intriqués avec la scolarité.

Dans le cadre du présent travail de recherche, nous nous intéressons plus particulièrement au Trouble d'Acquisition de la Coordination (TAC). Ce syndrome neurodéveloppemental est considéré dans le DSM 5 (APA, 2013) comme un trouble moteur, qui affecte l'acquisition et l'exécution des compétences de coordination motrice de l'enfant. Cette terminologie récente est aujourd'hui préférée à celle de la dyspraxie développementale dans la littérature, mais elle n'a finalement en rien éclairci la conception des troubles gestuels ou de coordination motrice. Nous ne reviendrons pas ici sur les discordances existantes, qui ont déjà fait l'objet d'une réflexion préliminaire au présent travail de Thèse (Costini et al., 2013, 2014). Signalons en revanche, que la démarche diagnostique du TAC, telle que définie par les classifications internationales, est a-théorique, laissant à la libre interprétation des cliniciens ou chercheurs le soin de déterminer les fonctions qui doivent être examinées et le seuil de perturbation retenu pour qualifier la performance de déficitaire. En conséquence, ce syndrome neurodéveloppemental ne recouvre pas la même réalité théorique et clinique pour tous les acteurs concernés, à savoir un véritable syndrome sous-tendu par un développement cérébral atypique ou l'expression isolée, voire fluctuante, de manifestations comportementales symptomatiques.

L'impact de faibles compétences de coordination motrice de l'enfant sur ses activités de vie quotidienne constitue un critère diagnostique d'inclusion à part entière du TAC. Si l'essentiel des plaintes de l'entourage de l'enfant recueillies en consultation concernent précisément les activités de vie quotidienne et les situations d'utilisation d'outils, elles sont également les plus difficiles à appréhender par les cliniciens. Les difficultés exposées renvoient généralement à l'utilisation des outils familiers présents dans l'environnement familial et scolaire d'un enfant, à l'instar des objets utilisés pour les soins du corps et l'alimentation, les activités scolaires (*e.g.*, crayon, outils géométriques...), ou encore les activités de loisir et le jeu. Bien que de telles difficultés d'utilisation puissent impacter de manière significative les activités de vie quotidienne de l'enfant et se répercuter négativement sur son développement psychologique au sens large (autonomie de

l'enfant, relations sociales avec les pairs, réussite scolaire et apprentissages...), aucune évaluation standardisée n'est actuellement disponible pour évaluer d'éventuels troubles d'utilisation d'outils.

Contrairement à l'étude du développement langagier, domaine pour lequel il existe pléthore de travaux chez l'enfant, la question de l'utilisation d'outils a été assez peu explorée en vue d'identifier les processus neuropsychologiques impliqués. Les propositions théoriques formulées dans un contexte développemental apportent des éléments de réponse relatifs à l'acquisition d'habiletés perceptivo-motrices, mais ne permettent pas d'analyser les processus neuropsychologiques impliqués dans l'utilisation d'outils chez l'enfant TAC. C'est pourquoi la présente Thèse s'appuie également sur des éléments de réflexions complémentaires, issus de conceptualisations théoriques sur le raisonnement technique chez l'adulte apraxique. Nous avons pris le parti dans le présent travail de recherche d'employer le terme outil pour évoquer « chaque objet manipulé permettant d'augmenter les capacités sensorimotrices de son utilisateur » afin de provoquer des modifications sur l'environnement selon l'objectif visé (Osiurak, 2016, p.3).

La rédaction du manuscrit de Thèse a été organisée autour de plusieurs articles scientifiques. Les pages qui suivent présentent, dans une première partie, une revue critique de la littérature qui aborde les aspects fondamentaux de l'utilisation d'outils chez l'enfant, ses moyens d'investigation et interroge l'intégrité de ces fonctions chez l'enfant TAC. Les travaux expérimentaux et cliniques menés sont présentés en seconde partie. Face au manque de connaissances dans le domaine de l'utilisation d'outils chez l'enfant, et notamment faute d'outil validé et normé pour pouvoir les appréhender, la présente Thèse a cherché à examiner le développement typique de l'utilisation d'outils. Les principaux processus cognitifs susceptibles de participer à l'amélioration des performances d'utilisation au cours du développement ont été considérés, à savoir le raisonnement technique et les connaissances fonctionnelles sur les outils. Ces processus ont été ciblés car ils pouvaient par ailleurs être impliqués dans les difficultés d'utilisation d'outils présentées par les enfants TAC.

L'article II (Remigereau et al., sous presse) propose une étude transversale du développement typique de l'utilisation d'outils via l'analyse des performances de 85 enfants âgés de 6 à 14 ans. L'article III (Remigereau et al., soumis au jour de la soutenance) compare les performances de 23 enfants diagnostiqués TAC à celles de 44 enfants tout-venant issus de la cohorte considérée dans l'article II. Cette étude propose une évaluation plus exhaustive de l'utilisation d'outils, au regard des troubles de coordination motrice décrits chez l'enfant TAC, troubles susceptibles d'impacter négativement l'utilisation. Les résultats sont confrontés aux hypothèses théoriques dominantes formulées sur le développement typique de l'utilisation d'outils, ainsi que celles énoncées pour rendre compte du TAC. Les propositions théoriques élaborées en neuropsychologie adulte viennent par ailleurs enrichir notre réflexion à l'appui d'une modélisation intégrative de l'utilisation d'outils.

PARTIE THEORIQUE ET QUESTIONS CRITIQUES

« *L'opinion pense mal ; elle ne pense pas : elle traduit des besoins en connaissances. En désignant les objets par leur utilité, elle s'interdit de les connaître. On ne peut rien fonder sur l'opinion : il faut d'abord la détruire. Elle est le premier obstacle à surmonter. Il ne suffirait pas, par exemple, de la rectifier sur des points particuliers, en maintenant, comme une sorte de morale provisoire, une connaissance vulgaire provisoire. L'esprit scientifique nous interdit d'avoir une opinion sur des questions que nous ne comprenons pas, sur des questions que nous ne savons pas formuler clairement. Avant tout, il faut savoir poser des problèmes. Et quoi qu'on dise, dans la vie scientifique, les problèmes ne se posent pas d'eux-mêmes. C'est précisément ce sens du problème qui donne la marque du véritable esprit scientifique. Pour un esprit scientifique, toute connaissance est une réponse à une question. S'il n'y a pas eu de question, il ne peut y avoir connaissance scientifique. Rien ne va de soi. Rien n'est donné. Tout est construit. »*

Bachelard (1967, p. 17)

Une partie de ce travail de réflexion avait été initié dans une étude préliminaire et d'autres aspects ont fait l'objet d'une communication :

Costini, O., Remigereau, C., Roy, A., Faure, S., & Le Gall, D. (2014). Troubles visuo-spatiaux dans la dyspraxie: peut-on encore parler de dyspraxie. *Approche Neuropsychologique des Apprentissages chez l'Enfant*, 26, 127-36.

Remigereau, C. (2013, juin). *Spécificité des atteintes gestuelles dans les dyspraxies et implication dans les activités de vie quotidienne*. Communication orale à la Réunion de lancement du Projet Outils et vie quotidienne : Du handicap à l'autonomie, Angers.

Article I.

L'UTILISATION D'OUTILS CHEZ L'ENFANT: APPROCHE EPISTEMOLOGIQUE ET SEMIOLOGIE CLINIQUE DANS LE TROUBLE DE L'ACQUISITION DE LA COORDINATION

Ce texte est la reproduction d'un article qui sera soumis pour publication au jour de la soutenance dans la *Revue de Neuropsychologie: Neurosciences cognitives et cliniques*.

**L'UTILISATION D'OUTILS CHEZ L'ENFANT : APPROCHE
EPISTEMOLOGIQUE ET SEMIOLOGIE CLINIQUE DANS LE TROUBLE DE
L'ACQUISITION DE LA COORDINATION**

Chrystelle Remigereau^{1,2*}, Arnaud Roy^{1,2,3}, Oriane Costini^{4,5}, Josselin Baumard⁸, Didier Le Gall^{1,9}.

¹ Université d'Angers, Laboratoire de psychologie des Pays de la Loire, UBL, EA 4638, Angers, France

² CHU de Nantes, Hôpital Femme-Enfant-Adolescent, Centre Référent des Troubles d'Apprentissage, Nantes, France

³ CHU de Nantes, Hôpital Femme-Enfant-Adolescent, Centre de compétence nantais de neurofibromatose, Nantes, France

⁴ Laboratoire de Psychologie de la perception, CNRS UMR 8158, Paris, France

⁵ Service de Neurologie, Fondation Ophtalmologique A. de Rothschild, Paris, France

⁸ Université de Rouen, Laboratoire ICONES, EA 4699, Mont-Saint-Aignan, France

⁹ CHU d'Angers, département de neurologie, unité de neuropsychologie, Angers, France

***CORRESPONDANCE:** Chrystelle Remigereau, Université d'Angers, Laboratoire de Psychologie des Pays de la Loire, Maison de la recherche Germaine Tillion, 11 boulevard Lavoisier, 49045 Angers, cedex 01, France. Téléphone : 06.74.09.20.00
e-mail: chrystelle.remigereau@gmail.com

RESUME

Les troubles d'utilisation d'outils constituent une plainte fréquente en clinique pédiatrique, notamment en cas de Trouble de l'Acquisition de la Coordination (TAC), et peuvent limiter la participation de l'enfant aux activités de vie quotidienne. Pourtant, l'absence de théorie explicative consensuelle dans le TAC induit des stratégies d'examen peu structurées, voire affranchies de cadrage théorique, qui n'intègrent pas automatiquement l'évaluation du retentissement des difficultés dans la vie quotidienne. Cet article propose d'interroger, dans une première partie, la nature des troubles d'utilisation d'outils chez l'enfant TAC ainsi que la pertinence des concepts théoriques et des évaluations cliniques mises en œuvre pour les analyser. La seconde partie expose les modélisations théoriques formulées dans le développement typique et en neuropsychologie adulte, susceptibles d'éclairer la compréhension des symptômes d'utilisation décrits chez l'enfant TAC. Enfin, les perspectives d'un examen différentiel et théoriquement guidé de l'utilisation d'outils chez l'enfant sont abordées à l'issue de cette revue.

Mots clés: Trouble d'Acquisition de la coordination, enfant, utilisation d'outils, développement

ABSTRACT

Tool use disorders are a substantial complaint in clinical pediatric disease, specifically for Developmental Coordination Disorder (DCD), and could reduce children participation in activities of daily living. Yet, operational strategies of for assessment are unorganized and do not consistently consider the impact of impairments on daily life, due to the lack of a consensual explanatory theory in DCD. In this paper, we firstly propose to examine the nature of tool use disorders in children with DCD, and the relevance of theoretical concepts and clinical assessment to analyze them. Secondly, we outline theoretical frameworks in typical development and in adult neuropsychology, which would shed light on the understanding of tool use symptoms in children with DCD. Finally, we discuss the clinical perspectives for a differential and theoretical assessment of tool use in children.

Key words: Developmental Coordination Disorder, child, tool use, development

INTRODUCTION

L'impact de faibles compétences de coordination motrice sur les activités de vie quotidienne (AVQ) constitue aujourd'hui un critère diagnostique d'inclusion à part entière du Trouble de l'Acquisition de la Coordination (TAC), tel que défini par le DSM-V [1]. Pourtant, malgré un nombre croissant d'études s'intéressant à ce trouble neurodéveloppemental et une constante augmentation des demandes cliniques de prises en charge, il est étonnant de constater que très peu d'études indiquent comment ce critère diagnostique est précisément validé. En conséquence, bien que les performances de ces enfants en situation d'AVQ cristallisent l'essentiel des plaintes formulées par l'entourage de l'enfant (parents et enseignants en particulier), ces dernières demeurent peu étudiées, tout comme les processus sous-jacents impliqués dans l'utilisation d'outils. Le sujet constitue aujourd'hui un véritable enjeu de santé publique au vu des répercussions possibles des difficultés d'utilisation d'outils sur le développement de l'autonomie de l'enfant, sa réussite scolaire et professionnelle, et ses activités de loisirs. Cette question est précisément essentielle dans le cadre du TAC, chez des enfants dont la qualité de vie psychologique et sociale est déjà affectée par ce trouble neurodéveloppemental [2].

Cette revue de question propose ainsi d'interroger la nature des troubles d'utilisation d'outils chez l'enfant TAC et la pertinence des concepts théoriques et des évaluations cliniques mises en œuvre pour les analyser. Les notions de *coordination motrice* et d'*utilisation d'outils* suscitent notamment une réflexion fondamentale et épistémologique, indispensable à l'appréhension de la spécificité des perturbations dans la vie quotidienne. L'objectif poursuivi dans ce travail est de favoriser une meilleure reconnaissance du handicap associé au TAC et de fournir un support de réflexion pour la prise en charge et la scolarisation des enfants concernés par ce trouble. Pour cela nous décrivons, dans un premier temps, la sémiologie clinique du TAC, les hypothèses explicatives les plus étudiées actuellement ainsi que leurs limites pour rendre compte de la symptomatologie décrite en situation de vie quotidienne et d'utilisation d'outils. Dans un second temps, nous abordons les connaissances

relatives au développement typique de l'utilisation d'outils et à sa modélisation, de même que celles formulées en neuropsychologie adulte, afin d'éclairer la compréhension des perturbations chez l'enfant TAC. Enfin, les perspectives d'un examen différentiel et théoriquement guidé de l'utilisation d'outils chez l'enfant sont abordées à l'issue de cette revue.

SEMILOGIE CLINIQUE DE L'UTILISATION D'OUTILS CHEZ L'ENFANT TAC

1) Le TAC chez l'enfant : Définition et démarche diagnostique

Selon le DSM 5 [1], le Trouble d'Acquisition de la Coordination (TAC) est un syndrome neurodéveloppemental présent chez 5 à 6 % des enfants d'âge scolaire, qui affecte spécifiquement la sphère motrice en dehors de toute affection neurologique (*e.g.*, paralysie cérébrale, hémiplégie ou dystrophie musculaire), avec un sex-ratio variant selon les études de 2 à 7 garçons atteints pour une fille. L'acquisition et l'exécution des compétences de coordination motrice demeurent significativement inférieures au niveau escompté compte tenu de l'âge chronologique de l'enfant et de ses opportunités d'apprentissage (critère diagnostique A). Les difficultés peuvent concerner différents aspects de la motricité, tels que la marche [3], la coordination globale [4], le contrôle postural [5] ou encore la coordination fine et l'écriture [6, 7]. Ces perturbations se traduisent in fine par des réalisations motrices généralement maladroites, plus lentes et moins précises que celles des autres enfants [8]. Les symptômes apparaissent dès la petite enfance (critère diagnostique C) et ne s'expliquent pas par une déficience intellectuelle, une atteinte visuelle ou un retard global de développement (critère diagnostique D). L'impact des troubles sur les activités de vie quotidienne (AVQ), telles que les soins d'hygiène et d'entretien de la personne, la réussite scolaire, universitaire ou professionnelle et les activités de loisirs et de jeu, constitue également un critère diagnostique (*i.e.*, B). Le TAC entrave ainsi l'exécution et l'automatisation d'habiletés motrices permettant une interaction adéquate avec l'environnement [8].

Si la classification du DSM récemment actualisée apporte un éclairage sur le diagnostic du TAC chez l'enfant, la nature précise et la sévérité des troubles de coordination motrice ne sont pas clairement exposées dans ce manuel diagnostique international. Pourtant, ce concept peut renvoyer à diverses définitions dans la littérature : relations dynamiques entre les mouvements des membres (en référence aux travaux de Bernstein), capacités motrices de base sous-tendant les performances de mouvement (travaux de Guildford, cité par Wilson [9]). D'ailleurs, les tests habituellement utilisés pour appréhender les symptômes du TAC ne sont pas basés sur une définition spécifique de la coordination motrice *per se*, mais sur l'hypothèse implicite que la coordination générale ou une capacité motrice globale existe et peut être mesurée ([9], p.2). Dans ce contexte, l'analyse et l'interprétation des performances motrices est relative aux représentations et/ou aux hypothèses théoriques des cliniciens et chercheurs s'intéressant à cette problématique, contribuant de facto à une subjectivité non négligeable et source de confusion.

Les enfants TAC constituent ainsi une population clinique hétérogène présentant diverses associations de symptômes, que certains auteurs ont tenté de regrouper en différents sous-types (*i.e.*, idéomoteur, visuo-spatial/visuo-constructif, etc. ; pour une revue, voir les articles de Vaivre-Douret [10] et Vissier [11]). Ces regroupements demeurent toutefois peu consensuels et leur pertinence clinique n'a pas été démontrée, en particulier compte tenu d'un manque de stabilité des profils chez les patients (*i.e.*, changement éventuel de sous-type au cours du développement, absence de bénéfice spécifique des prises en charge rééducative ; [12]). Par ailleurs, le diagnostic du TAC serait fréquemment associé à d'autres troubles neuro-développementaux, tels que le trouble déficitaire de l'attention avec ou sans hyperactivité (TDA/H ; jusqu'à 50% de co-occurrence selon l'APA, [1]) ou les troubles spécifiques du langage (*i.e.*, co-occurrence estimée à 32% ; [13]). Malgré les recommandations proposées à l'issue du dernier consensus européen pour une meilleure reconnaissance du TAC (*European Academy for Childhood Disability – EACD* [14]), la manière dont les critères diagnostiques sont opérationnalisés demeure rarement explicitée dans les travaux scientifiques [15]. De plus, en dépit de l'augmentation exponentielle du nombre d'études réalisées

sur le TAC au cours des deux dernières décennies, seuls 14% des travaux publiés dans ce domaine sont répertoriés comme présentant des données spécifiques (*i.e.*, méthodologie quantitative ou qualitative) sur les conséquences éventuelles des symptômes de coordination motrice sur les AVQ [16].

Dans ce contexte, les manifestations cliniques hétérogènes du TAC, inhérentes aux limites des critères diagnostiques tel qu'explicitées dans les paragraphes précédents, compliquent considérablement l'identification des mécanismes impliqués dans la survenue des perturbations.

2) Etiologie du TAC et mécanismes neurocognitifs sous-jacents

A ce jour, l'étiologie du TAC fait encore l'objet d'intenses débats dans la littérature. Néanmoins, comme c'est le cas pour d'autres troubles neurodéveloppementaux (tels que la dyslexie, le TDA/H, etc.), plusieurs auteurs s'accordent sur l'hypothèse d'un développement atypique de certains circuits cérébraux [8, 17]. Des travaux en neuro-imagerie ont suggéré l'implication d'un dysfonctionnement du cervelet, des ganglions de la base, des lobes pariétaux et frontaux ou encore des boucles cortico-striatales dans la physiopathologie du TAC [18, 19]. L'origine de ce développement cérébral atypique n'est toutefois pas consensuelle. Des facteurs génétiques, neurobiologiques et/ou environnementaux pourraient y contribuer, tels que l'exposition à des infections, des carences nutritionnelles précoces, des atteintes cérébrales périnatales ou encore un défaut d'expérience précoce du mouvement. La portée des résultats obtenus est encore limitée par la petite taille des échantillons, l'hétérogénéité des techniques d'imagerie et des régions cérébrales explorées, ou encore la diversité des définitions utilisées pour qualifier les anomalies à l'IRM [17, 18]. Au-delà des bases cérébrales du TAC, plusieurs théories explicatives ont été formulées quant aux altérations neurocognitives sous-jacentes, telles que l'hypothèse d'un déficit de modélisation interne, l'hypothèse d'un trouble d'automatisation des gestes et l'hypothèse d'altérations perceptives.

Hypothèse d'un déficit de modélisation interne

L'une des hypothèses les plus étudiées actuellement renvoie à un *déficit de modélisation interne* (« internal modeling of movements », voir pour une revue l'article de Adams et al. [20]). Cette théorie s'appuie sur les modèles neuro-computationnels du contrôle moteur, s'intéressant aux représentations par le système nerveux central des divers états de son propre corps et de l'environnement extérieur [21]. Cette altération empêcherait les enfants TAC de prévoir avec précision les conséquences sensorielles de leurs commandes motrices (*i.e.*, « predictive control »), et ce pour différents systèmes d'effecteurs (*e.g.*, action manuelle, mouvement oculaire, contrôle postural et marche). Ils présenteraient ainsi des difficultés à générer et utiliser mentalement les estimations prédictives de la position de leur corps, qui permettent normalement de corriger *on-line* la production d'un mouvement, avant que les feed-back sensori-moteurs plus lents soient disponibles. Par conséquent, la production motrice chez les enfants TAC, excessivement tributaire de ces feedbacks sensoriels, serait impactée par un ajustement plus lent, laborieux et imprécis des mouvements volontaires.

Différents paradigmes expérimentaux ont été utilisés pour appréhender ce contrôle prédictif de l'action chez l'enfant TAC, tels que l'imagerie motrice ou l'état de confort final de l'action [21]. L'imagerie motrice se définit comme un processus cognitif permettant la construction d'une représentation mentale du mouvement en mémoire de travail, sans aucune sortie motrice effective. Plusieurs études ont mis en évidence des possibilités effectives d'imagerie motrice chez l'enfant TAC, toutefois limitées par des performances plus lentes et moins précises, à des épreuves de rotation mentale du corps par exemple (*e.g.*, appréciation de la latéralité de mains représentées sur des images, soumises à divers degrés de rotation ; [9, 22]). En contraste, les capacités d'imagerie mentale visuelle appréhendées avec des items alphanumérique semblent préservées [20]. Une limite majeure de ce type de paradigme expérimental concerne néanmoins la faible validité écologique de ces mesures, obtenues de manière contrôlée en laboratoire [23]. En outre, il reste à déterminer si des difficultés relevées en situation d'imagerie motrice sont systématiquement associées à une

exécution motrice altérée. En effet, ces processus d'imagerie engagent également d'autres fonctions, telles que le fonctionnement exécutif, qui pourraient aussi participer à l'expression des troubles. De plus, les travaux de l'équipe de Buxbaum chez l'adulte apraxique cérébro-lésé [24,25] ont révélé l'existence d'une dissociation entre un déficit en situation d'imagerie motrice (*i.e.*, représentation interne du mouvement) et la préservation des ajustements paramétriques du mouvement en temps réel (*i.e.*, exécution motrice préservée). Si Van Waelvede et ses collaborateurs [26] ont montré chez l'enfant TAC un déficit d'ajustement paramétrique temporel et spatial du mouvement (*i.e.*, épreuve rythmique de tapping digital), aucune étude à notre connaissance n'a exploré de manière concomitante chez l'enfant TAC l'imagerie motrice et l'exécution motrice dans des épreuves de vie quotidienne impliquant notamment l'utilisation d'outils.

L'état de confort final de l'action renvoie par ailleurs à la tendance à anticiper les actions motrices de transport d'outils afin d'éviter des postures corporelles finales inconfortables (*e.g.*, tendance à saisir une tasse renversée par l'anse avec le pouce vers le bas pour terminer le mouvement pouce vers le haut, et non l'inverse). Ce paradigme a été développé initialement par Rosenbaum et ses collaborateurs chez l'adulte tout-venant (pour une revue voir l'article de Rosenbaum [27]). Quelques études ont utilisé ce concept d'anticipation motrice chez l'enfant TAC pour explorer les saisies immatures ou maladroitement affectant l'utilisation coordonnée d'un couteau et d'une fourchette par exemple. Certains de ces travaux ont ainsi relevé un défaut d'anticipation motrice, en montrant que l'enfant TAC ne favorise pas une posture initiale inconfortable (*i.e.*, « underhand » c'est-à-dire par en-dessous dans une épreuve de transport de cylindre) en vue d'obtenir une posture finale confortable et propice aux futures manipulations d'outil (*i.e.*, pouce vers le haut [28, 29]). L'état de confort final pourrait ne pas être déterminé avant le début du mouvement chez l'enfant TAC, et ne contraindrait donc pas la posture finale contrairement à ce qui se produit pour des enfants tout-venant du même âge. Ceci fait écho à l'hypothèse d'un manque de *contrôle prédictif du mouvement* (voir ci-dessus). Si les perspectives de ce rationnel théorique sont séduisantes, il demeure encore peu appliqué à l'utilisation réelle d'outils

chez l'enfant TAC. Ainsi, la question de savoir si d'éventuels troubles d'imagerie ou d'anticipation motrice sont associés et/ou se répercutent sur l'utilisation réelle d'outils en situation d'AVQ reste à explorer plus précisément dans le TAC.

Hypothèse d'un trouble d'automatisation des gestes

La seconde théorie explicative formulée à l'égard du TAC concerne un *trouble d'automatisation*. Ce déficit serait lié à un trouble commun du système de mémoire procédurale, sous-tendu par les circuits neuronaux cortico-striatal et cortico-cerebelleux, et concernerait à la fois les enfants TAC et dyslexiques (*i.e.*, trouble spécifique de l'apprentissage de la lecture [30]). Selon cette hypothèse, *l'acquisition* de nouvelles habiletés cognitives, motrices ou perceptives (*i.e.*, grâce à un entraînement répétitif), et/ou *l'automatisation* de ces habiletés (*i.e.*, mises en œuvre sans fatigue ni contrôle conscient) seraient altérées (voir Doyon et al. [31] pour une modélisation théorique). Toutefois, les résultats empiriques obtenus à ce jour chez l'enfant TAC ne permettent pas de valider cette théorie. En effet, malgré des performances généralement plus lentes et moins précises, les enfants TAC bénéficient comme les enfants tout-venant d'un apprentissage moteur spécifique (*e.g.*, séquences de tapping digital ou paradigme de temps de réaction sériel [32, 33, 34]). Leurs aptitudes d'adaptation perceptivo-motrice aux changements de l'environnement, lors d'une épreuve de dessin en miroir par exemple, paraissent également adéquates [35], ainsi que l'automatisation d'une séquence motrice de mouvements (évaluée en situation de double tâche [33]). De plus, aucune relation n'a été relevée entre ces épreuves de mémoire procédurale et les troubles de coordination motrice dans le TAC [35]. Signalons en outre la faible validité écologique de ces paradigmes expérimentaux, qui apparaissent très éloignés des plaintes d'utilisation d'outils évoquées par les parents au quotidien (*e.g.*, difficultés de graphisme, pour faire du vélo ou lacer ses chaussures).

C'est pour tenter de répondre à cette limite qu'un intérêt croissant est accordé, ces dernières années, au développement de programmes de réhabilitation informatisés, permettant de mettre en

œuvre un apprentissage moteur à travers des AVQ virtuelles ou simulées sur ordinateur [36]. Dans l'ensemble, ces études récentes confirment que les enfants TAC présentent des performances normales-faibles de capacités d'apprentissage moteur (*i.e.*, légère lenteur, délai supplémentaire d'acquisition, stratégies moins efficaces), mais pas de déficit en tant que tel. En outre, les fragilités dans l'apprentissage d'habiletés motrices pourraient également être liées à des dysfonctionnements sensori-perceptifs chez l'enfant TAC.

Hypothèse d'altérations perceptives

En ce sens, la troisième hypothèse postule des liens de cause à effet entre la qualité des traitements perceptifs (*e.g.*, perception visuelle/tactile, sensibilité proprioceptive, vestibulaire, kinesthésique, etc.) et les compétences motrices telles que l'exécution du mouvement ou son contrôle rétroactif. Alors que l'hypothèse du déficit de modélisation interne met au premier plan un défaut d'anticipation de l'état corporel final, l'hypothèse perceptive met l'accent sur un défaut d'intégration des informations sensibles et sensorielles. Un déficit perceptif, proposé initialement par Ayres dans les années 1970 dans le cadre de ses travaux sur l'intégration des informations sensorielles [37], serait ainsi à l'origine des difficultés de coordination motrice chez l'enfant TAC. Considérant le rôle des informations sensorielles pour l'anticipation et l'exécution de mouvements coordonnés, cette théorie suppose que la coordination motrice serait impactée en cas de déficit de perception proprioceptive, tactile ou visuelle/visuo-spatiale (*e.g.*, planification des mouvements distaux tels que l'ouverture de la pince digitale en fonction des propriétés de l'objet à saisir : taille, poids, texture, localisation spatiale). Certains travaux ont en effet mis en évidence chez les enfants TAC une altération de la perception kinesthésique (*i.e.*, détection passive de mouvements de bras [38, 39]), un déficit visuo-spatial [40, 41], une perturbation de l'intégration visuo-motrice et de la perception visuelle [42], ou encore un trouble d'intégration sensorielle multimodale combinant des informations visuelles et proprioceptives [43]. Néanmoins, l'interprétation de ces résultats fait encore débat dans la littérature puisque les associations entre ces mesures perceptives et les

performances de coordination motrice sont contradictoires d'une étude à l'autre. Dans ce contexte, Schoemaker et al. [42] attribuent par exemple les déficits visuo-moteurs à la composante motrice présente dans ces épreuves plutôt qu'à la composante perceptive.

En parallèle de ces principales hypothèses sur les mécanismes sous-jacents du TAC, d'autres processus cognitifs participant potentiellement à l'expression de la symptomatologie sont actuellement explorés. Les fonctions exécutives, définies comme des habiletés transversales de haut niveau facilitant l'adaptation à des situations nouvelles ([44], telles que la planification, l'inhibition et la flexibilité), pourraient notamment contribuer à l'expression des troubles de la coordination motrice chez l'enfant TAC. En effet, plusieurs arguments semblent étayer cette hypothèse, comme des difficultés plus importantes de coordination motrice lorsque le niveau des épreuves se complexifie, lorsque la tâche implique une intégration d'informations multimodales, ou encore lorsque les exigences de vitesse ou d'exactitude augmentent [45]. Un dysfonctionnement exécutif a été relevé chez l'enfant TAC au niveau des processus de planification [46], d'inhibition [47] et de flexibilité mentale [48], mais le statut de ces perturbations exécutives (*e.g., executive planning*) vis-à-vis des troubles de coordination ou d'anticipation motrice (*e.g., motor planning*) n'est pas clairement défini [49, 50]. L'impact d'un éventuel dysfonctionnement exécutif sur les fonctions de coordination motrice et sur le profil cognitivo-moteur de l'enfant TAC reste à investiguer plus spécifiquement, afin de ne pas générer de contre-sens thérapeutique. En effet, certaines approches de réhabilitation prônées pour les enfants TAC sont explicitement fondées sur des techniques de résolution des problèmes de coordination motrice, par le recours à des stratégies cognitives contrôlées (*Cognitive Orientation to Occupational Performance, goal-plan-do-check* [51]). Ces dernières impliquent les fonctions exécutives ou la métacognition alors que les liens entre ces fonctions restent à démontrer.

L'absence de modélisation théorique consensuelle dans le TAC conduit ainsi à des stratégies d'évaluation peu structurées, voire affranchies de cadrage théorique, et qui n'intègrent pas automatiquement l'examen du retentissement des difficultés dans la vie quotidienne.

3) *Evaluation de l'impact des symptômes associés au TAC sur les AVQ*

Les batteries d'examen du *Movement Assessment Battery for Children 2* (MABC-2 [52]) et du *Bruininks-Oseretsky Test of Motor Proficiency* (BOT-2 [53]) figurent parmi les échelles les plus communément utilisées pour évaluer les symptômes de coordination motrice chez l'enfant [54]. Ces dernières proposent une évaluation de différents aspects de coordination motrice, tels que la capacité à viser et attraper, l'équilibre statique et dynamique, la force et l'agilité ou la dextérité manuelle. Néanmoins, un faible nombre de subtests dans ces batteries implique l'utilisation d'outils familiers (*e.g.*, crayon, paire de ciseaux), alors même que cette question fait partie intégrante de la symptomatologie du TAC. De plus, les dispositifs d'évaluation varient d'une épreuve à l'autre (*i.e.*, présence versus absence d'outils à manipuler, outils différents selon les tranches d'âge), interdisant de comparer les profils des patients à ceux d'enfants tout-venant plus jeunes, ainsi qu'à leurs propres performances lors d'un suivi longitudinal. De surcroît, la cotation des épreuves n'offre pas de cadre d'analyse fonctionnel pour d'éventuelles difficultés d'utilisation d'outils. Par exemple, les facteurs suivants, susceptibles d'impacter négativement les performances quantitatives relevées aux subtests du MABC-2 ou BOT-2, ne sont pas considérés : pertinence du placement des doigts sur une paire de ciseaux, anticipation de la saisie de l'outil en fonction de son utilisation, adéquation de la mise en relation fonctionnelle des ciseaux avec la feuille de papier à découper, etc. Enfin, ces évaluations standardisées n'interrogent pas l'intégrité des processus cognitifs et sensori-moteurs susceptibles d'interagir avec les performances d'AVQ, tels que l'anticipation motrice ou le raisonnement technique (*i.e.*, raisonnement abstrait basé sur une compréhension spécifique des principes mécaniques des outils ; pour une revue voir l'article de Osieurak et al. [55]). Ainsi, bien que les perturbations motrices décrites chez les enfants TAC renvoient la plupart du temps à des situations d'utilisation effective d'outils (par exemple : se brosser les dents, lacer ses chaussures, écrire, faire de la bicyclette), les batteries d'évaluation les plus fréquemment utilisées lors des examens diagnostiques ne permettent pas d'appréhender spécifiquement ces symptômes.

Geuze et al. [56] ont souligné par ailleurs que la plupart des études s'intéressant au TAC n'explorent pas davantage l'impact des troubles de coordination motrice sur les AVQ, ni sur la réussite scolaire (*i.e.*, mesure de performance ; voir aussi l'article de van der Linde et al. [57]). Cette question est plus généralement examinée à travers l'utilisation de questionnaires visant à qualifier et quantifier les difficultés de vie quotidienne des enfants susceptibles de présenter un TAC, comme le *MABC-2 Checklist* [52] ou le *DCD-Questionnaire* (DCDQ'07 [58]). Toutefois, les items relatifs aux habiletés fonctionnelles impliquées dans les AVQ ne sont pas suffisamment spécifiques. Un impact délétère du TAC sur les AVQ à la maison et à l'école a tout de même été mis en évidence avec d'autres questionnaires parentaux et enseignants standardisés [4] mais non développés spécifiquement pour l'étude du TAC, tels que le *Vineland Adaptive Behavior Scale* et le *School Function Assessment*. Les perturbations ont également été confirmées avec une échelle parentale et enseignante interrogeant plus spécifiquement les AVQ chez l'enfant TAC entre 5 et 6 ans et demi : la *Children Activity Scale* (ChAS-P/T [59]). Si les questionnaires peuvent ainsi permettre de valider ou d'invalider l'hypothèse d'un retentissement des troubles en vie quotidienne, ils ne précisent pas toujours quel domaine d'activité est précisément impacté, à quel niveau se situe le déficit (*e.g.*, distal/proximal, moteur/exécutif/attentionnel, etc.), quel niveau de compétences peut être espéré selon le contexte environnemental (*e.g.*, cadre familial étayant, contexte scolaire tenant compte ou non des difficultés) et le degré d'autonomie accordé à l'enfant, quel regard est porté par l'entourage et l'enfant lui-même sur ses troubles, etc.

Au-delà des observations phénoménologiques réalisées par les parents ou les enseignants à travers les questionnaires, la question des performances d'utilisation réelle d'outil chez l'enfant TAC se pose généralement à la marge des travaux réalisés et ne constitue pas l'objet central des recherches. De ce fait, les résultats expérimentaux apparaissent lacunaires et parfois contradictoires. Dewey [60] a par exemple observé un déficit significatif d'utilisation réelle d'outils chez des enfants présentant des problèmes moteurs (*i.e.*, probablement dus à un défaut d'intégration sensorimotrice), en comparaison à des enfants tout-venant âgés de 5 à 8 ans. Des résultats similaires

ont été rapportés plus récemment par Zoia et al. [61] chez des enfants TAC âgés de 5 à 10 ans. Des performances significativement inférieures à celles de contrôles appariés ont également été relevées chez des enfants TAC âgés de 5 à 6 ans et demi au « *Do-eat* » *Test* [62]. Cette épreuve implique la réalisation effective de trois AVQ sollicitant l'utilisation de plusieurs outils familiers (*i.e.*, préparer un sandwich, préparer un chocolat au lait et compléter un document manuscrit). Les performances du groupe TAC dans les AVQ n'étaient que faiblement corrélées à celles obtenues au M-ABC, confirmant ainsi l'apport de ces épreuves écologiques d'utilisation d'outils pour l'examen de la symptomatologie du TAC chez l'enfant. En revanche, Sinani et al. [63] n'ont trouvé aucune différence entre les performances d'enfants TAC et celles d'enfants contrôles à une épreuve d'utilisation d'outils familiers isolés (*i.e.*, modalité de vision classique versus yeux bandés), ni en contexte de reconnaissance de postures manuelles d'utilisation d'outils. Le manque d'information fournie sur les dispositifs expérimentaux utilisés dans ces travaux limite toutefois l'analyse des facteurs impliqués dans l'expression des symptômes : utilisation réelle d'un outil en relation avec un objet, nombre d'étapes nécessaires à l'utilisation effective, choix de l'outil parmi plusieurs versus outil présenté isolément, etc. [13, 64, 65].

Ainsi, malgré un nombre croissant d'études s'intéressant au TAC, les performances de ces enfants en situation de vie quotidienne demeurent peu étudiées, de même que les processus sous-jacents impliqués dans l'utilisation d'outils [17]. La nécessité d'examiner ces capacités chez l'enfant TAC est pourtant appuyée par les résultats de certains travaux chez des enfants tout-venant [66], qui ont relevé des associations entre les plaintes parentales relatives aux compétences manuelles des enfants et une évaluation directe de leurs performances d'utilisation. Il est cependant assez étonnant de constater le manque de travaux dans ce domaine chez l'enfant TAC, qui présente par définition des troubles devant se répercuter sur les AVQ et l'utilisation d'outils. Ceci est d'autant plus surprenant que certaines études s'y intéressent spécifiquement dans d'autres contextes cliniques, tel que le trouble du spectre autistique [67, 68], ainsi que dans le développement typique [69, 70]. Ce manque de données est vraisemblablement lié au vide théorique qui existe concernant

l'utilisation d'outils, les modèles étant centrés sur la motricité ou sur des processus non spécifiques (*e.g.*, fonctions exécutives) mais pas sur l'utilisation à proprement parler.

Ainsi, les mécanismes cognitivo-moteurs impliqués dans la survenue des difficultés d'utilisation d'outils sont à explorer plus précisément chez l'enfant TAC. En l'absence de théorie intégrative dans cette population clinique pédiatrique, les modélisations théoriques formulées dans le développement typique et en neuropsychologie adulte sont susceptibles d'éclairer la compréhension des symptômes d'utilisation décrits chez l'enfant TAC.

APPROCHE EPISTEMOLOGIQUE DE L'UTILISATION D'OUTILS CHEZ L'ENFANT

Dans une perspective ontogénétique, Lockman [71] propose que l'émergence de l'utilisation d'outils, avant la fin de la première année, s'effectue en l'absence d'une pensée représentationnelle optimale (*i.e.*, symbolique). Plusieurs auteurs supposent ainsi que l'utilisation humaine d'outil trouve ses origines dans les comportements *perceptivo-moteurs* mis en œuvre par les enfants dès le plus jeune âge : exploration des surfaces/textures/bruits, stratégies essai-erreur, perception d'affordance, postures de saisies, etc. [72, 73].

1) Modélisation de l'utilisation d'outils et composante développementale

Plusieurs modélisations ont tenté d'identifier en détail les *processus* engagés dans le développement des conduites perceptivo-motrices chez l'enfant. Par exemple, le modèle de Laszlo et Bairstow (1985 ; cité par Hauert et Christe [74]) inspiré de l'approche de Ayres consacrée à l'intégration des informations sensorielles, propose une vision hiérarchique des circuits cérébraux impliqués dans le contrôle moteur. Ce modèle *bottom-up* met l'accent sur l'importance des inputs sensoriels, et notamment kinesthésiques (*i.e.*, perception du corps en mouvement), pour le contrôle d'une production motrice précise et coordonnée. Ce modèle présente l'intérêt d'être à l'origine d'une batterie d'évaluation centrée sur les processus et d'avoir envisagé la question de l'acquisition de nouvelles habiletés perceptivo-motrices dans une perspective développementale. Néanmoins,

cette proposition théorique ne précise pas quelles modifications qualitatives et quantitatives des habiletés perceptivo-motrices interviennent au cours du développement, ni si ces dernières sont susceptibles de modifier les compétences d'utilisation d'outils. En effet, dans un tel modèle les informations issues de l'environnement n'interviennent que pour réguler l'activité, mais la façon dont l'activité s'élabore n'est pas explicitée.

Dans une approche *top-down*, la théorie des schémas de Schmidt [75] postule l'existence de programmes moteurs généralisés (PMG). Ces derniers tentent de répondre aux problématiques de stockage coûteux en mémoire des informations perceptivo-motrices (*i.e.*, un programme moteur spécifique stocké pour chaque mouvement à réaliser) et de génération de nouveaux actes moteurs (*i.e.*, pas encore stockés en mémoire). Les PMG, stockés en mémoire sous forme abstraite, sont sélectionnés puis transformés en programme moteur spécifique afin d'initier et d'exécuter le geste visé, paramétré en fonction des contraintes environnementales. Cette conception théorique aborde de manière intéressante la question du mode de stockage des informations perceptivo-motrices, en attribuant un rôle déterminant à l'expérience. Si Schmidt n'a pas formulé sa théorie dans une perspective développementale, d'autres travaux ont tenté d'enrichir les propositions initiales en proposant des exemples de séquences développementales [74]. Il est intéressant de constater dans ce contexte que les exemples utilisés font généralement référence à des AVQ impliquant l'apprentissage de l'utilisation d'un outil particulier (*e.g.*, une petite cuillère). Pour autant, les spécificités de cette situation d'utilisation ne sont pas interrogées (*e.g.*, processus neurocognitifs sous-jacents).

Au-delà des modélisations centrées sur les *processus* engagés dans le développement des conduites perceptivo-motrices, des modélisations dynamiques plus récentes sont spécifiquement orientées vers *la tâche* ou les performances des enfants, comprenant des interactions complexes à différents niveaux (*e.g.*, avec l'environnement, contraintes intrinsèques/extrinsèques, etc.). La notion de modèle interne, déjà évoquée dans les paragraphes précédents, s'inscrit dans ce type d'approche cognitive permettant d'anticiper la trajectoire d'un mouvement et de sélectionner les

commandes motrices efférentes nécessaires à sa réalisation [76]. Les représentations motrices sont conçues comme des modèles internes du but de l'action, sous-tendus par les capacités du système nerveux central à simuler le mouvement à exécuter afin de le planifier et d'en contrôler l'exécution. Des relations étroites sont suggérées entre modèles internes de l'action et imagerie motrice (i.e., simulation mentale d'une action réelle, sans réalisation effective du geste [77]). Cette modélisation théorique laisse entrevoir de nouvelles perspectives de recherche chez l'enfant, concernant notamment la simulation d'AVQ en réalité virtuelle pour l'évaluation de la symptomatologie de coordination motrice. Bien qu'elle soit utilisée pour examiner l'examen des symptômes dans le TAC (voir paragraphes précédents), cette théorie n'a pas été formulée initialement dans une perspective développementale et les faibles associations relevées chez l'enfant de 7 ans entre mouvement imaginé et mouvement réalisé incitent à la prudence [77].

En somme, si ces propositions théoriques formulées dans un contexte développemental apportent des éléments de réponse relatifs à l'acquisition d'habiletés perceptivo-motrices chez l'enfant, elles ne permettent pas d'analyser les troubles d'utilisation d'outils chez l'enfant TAC, en termes de processus neurocognitifs sous-jacents ou d'étapes développementales. C'est pourquoi des éléments de réflexions théoriques complémentaires, issus de conceptualisation sur la résolution de problèmes mécaniques chez l'enfant tout-venant et l'adulte apraxique, sont abordés dans les paragraphes suivants.

2) Apports récents issus du développement typique et de la neuropsychologie adulte

Dans le cadre du développement typique, Kahrs et Lockman [78] soulignent que les enfants ne manipulent pas les outils de manière indifférenciée. Ils s'adaptent dès leur première année aux propriétés physiques des outils de leur environnement, laissant déjà entrevoir la présence de capacités d'élaboration cognitive (autrement dit, raisonnement abstrait) et non pas uniquement d'habiletés de manipulation d'outils ou de mémoire motrice. Classiquement, la notion d'*outil* renvoie à « chaque objet manipulé permettant d'augmenter les capacités sensorimotrices de son

utilisateur » pour provoquer des modifications sur l'environnement selon l'objectif visé ([79], p.3). Dans l'ensemble, la notion d'outil renvoie à l'idée qu'il s'agit d'objets de l'environnement, détachés du corps et utilisés comme une extension des membres supérieurs (pour une revue sur la question, voir Osiurak et al. [55]). L'entité qui reçoit l'action de l'outil est généralement nommée *objet*. Par exemple, une feuille de papier n'est pas un outil, mais le crayon utilisé pour dessiner dessus ou la paire de ciseaux employée pour la découper sont des outils, qui servent un objectif précis de l'utilisateur. Ainsi, dès l'âge de 2 ans l'enfant utilise correctement les outils familiers de son environnement [71, 80, 81].

Néanmoins, de récentes études rapportent une étonnante dissociation entre ces habiletés précoces d'utilisation et l'émergence tardive des capacités de raisonnement permettant la *fabrication* d'outils. Ces travaux ont montré à plusieurs reprises que la fabrication autonome d'un nouvel outil (*i.e.*, sans démonstration de l'adulte ou d'un pair, appelée ensuite « innovation d'outil ») est quasiment impossible pour des enfants tout-venant avant l'âge de 5 ans [82-84], et ce indépendamment de leur environnement socio-culturel [85]. L'épreuve habituellement utilisée consiste à récupérer une cible coincée au fond d'un tube transparent, inaccessible avec la main directement (*e.g.*, *hook task*, *unbending task*). La fabrication d'un nouvel outil fonctionnel, par transformation du matériel à disposition (par exemple fabriquer un crochet à partir d'une tige droite en métal souple) n'est effective que tardivement de manière spontanée : seulement la moitié des enfants y parviennent à 8 ans et des progrès sont observés jusqu'à 16-17 ans [82]. Bien que les enfants de 4 ans ne parviennent pas à générer eux-mêmes une solution, ils sélectionnent facilement un outil préfabriqué adéquat en situation de choix multiple (*e.g.*, un crochet plutôt qu'une tige droite), indiquant une analyse satisfaisante des possibilités d'action offertes par cet outil. De plus, une phase préalable d'exploration des propriétés physiques des outils (*e.g.* souple, rigide, pliable) ne permet pas d'améliorer les performances d'innovation [82, 86], ce qui peut signifier soit que les enfants n'analysent pas ces propriétés, soit que les difficultés d'innovation ne sont pas liées à des comportements d'exploration inadéquats. Toutefois, dans la mesure où des enfants en bas âge

tiennent déjà compte de ces propriétés physiques dans leurs interactions avec des outils et objets [78], la seconde hypothèse paraît plus plausible. Par ailleurs, après démonstration de la fabrication d'un outil fonctionnel par l'expérimentateur (*i.e.*, pliage d'une autre tige droite pour former un crochet), les enfants le reproduisent et l'utilisent habilement dès 3 ans, attestant ainsi d'une dextérité suffisante pour résoudre l'épreuve [87]. Ainsi, les possibilités de dextérité sont suffisantes dès 3 ans et le choix d'un outil fonctionnel semble opérant à 4 ans pour résoudre un problème de fabrication d'outil [83]. Il est donc peu probable que ces facteurs suffisent à expliquer le développement particulièrement prolongé des compétences d'innovation d'outils jusqu'à 16-17 ans. En outre, parmi les enfants qui résolvent la tâche, il semble que l'innovation de l'outil ne soit pas le fruit d'un apprentissage essai-erreur, puisque les enfants le fabriquent d'emblée ou après une seule tentative infructueuse [84].

Ces résultats suggèrent ainsi que l'utilisation d'outils familiers (telle que la petite cuillère que le jeune enfant emploie tous les jours pour manger) et les habiletés de résolution de problèmes mécaniques pourraient être sous-tendues par des processus cognitifs de nature différente. Une telle suggestion est toutefois en contradiction partielle avec l'hypothèse du raisonnement technique, principalement développée chez l'adulte présentant des lésions cérébrales gauches. En effet, des données empiriques suggèrent a contrario chez ces patients que l'utilisation familière d'outils et la résolution de problèmes mécaniques seraient sous-tendus par des processus cognitifs communs [55, 64, 88].

La théorie des 4 contraintes [64] prévoit que l'activité gestuelle engage des capacités techniques pour l'utilisation des outils, des connaissances sémantiques pour agir selon l'usage habituel, des processus exécutifs pour organiser l'activité de manière temporelle et des habiletés sensori-motrices pour produire du mouvement. L'originalité de ce modèle est de suggérer une interaction réciproque (*i.e.*, dialectique) entre le système conceptuel et de production motrice, permettant d'analyser d'éventuelles perturbations dans l'utilisation d'outils. Les connaissances sémantiques sur la fonction des outils fournissent des informations sur l'usage conventionnel d'un

outil familier (*i.e.*, dans quel objectif, dans quel contexte, et avec quel objet). Le raisonnement technique est un mode de raisonnement abstrait situé à un niveau conceptuel et basé sur l'analyse de moyens techniques pertinents (*e.g.*, pousser, tirer, lever) pour un but donné. Dans cette perspective, les moyens et les fins sont abstraits et relatifs car ils ne présentent pas de correspondance spécifiques avec la réalité physique. En effet, le même matériau peut présenter des propriétés techniques différentes (*e.g.*, le bois est opaque, inflammable et résistant) selon le but recherché. De même, la même propriété technique (*e.g.*, résistant) peut être présentée par différents matériaux (*e.g.*, le verre, le métal, le plastique). Ces habiletés techniques sont essentielles pour l'utilisation inhabituelle d'outils ainsi que pour la résolution de problèmes mécaniques, mais elles seraient également engagées en situation d'utilisation d'outils familiers. En effet, si le système sémantique renseigne l'individu sur l'utilisation habituelle des outils et objets (*i.e.*, ce que l'on en fait), le système technique permet de problématiser la situation et se l'approprier, en sélectionnant les éléments du dispositif pertinents au regard du but (*i.e.*, comment le faire). Enfin, le système de production serait impliqué dans toute situation nécessitant l'interaction du corps avec l'environnement, telle que l'utilisation réelle d'outils, pour adapter le geste aux contraintes environnementales. Ainsi, la représentation de l'action conçue par le système conceptuel permet la planification et le contrôle online du comportement moteur (voir Figure 1). L'état de confort final (ECF, voir ci-dessus) est ici une illustration adéquate de la sélection de postures manuelles et de saisies d'outil, guidées par une représentation de l'action.

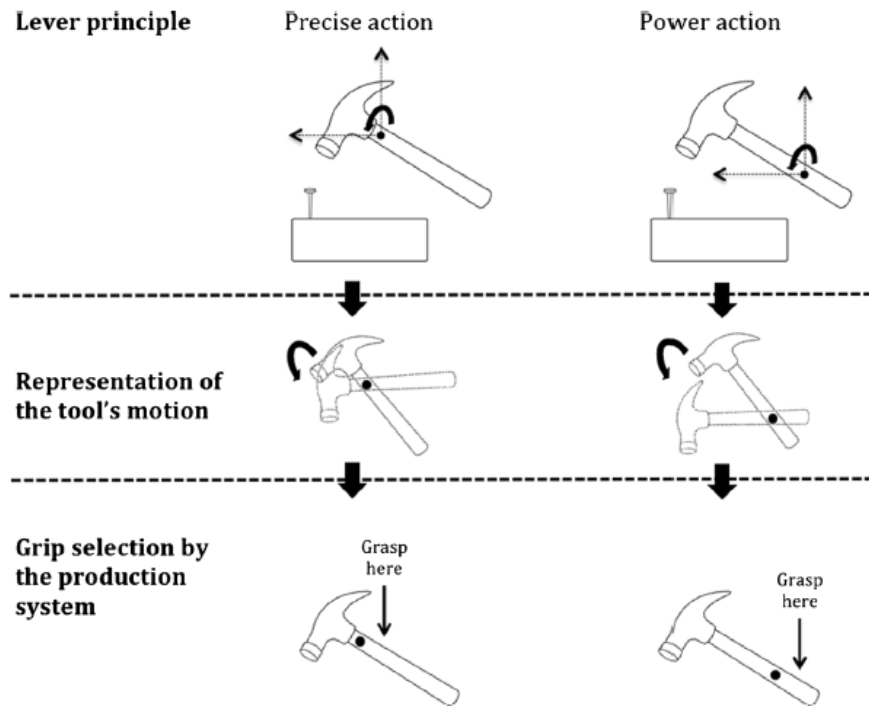


Figure 1. Interactions entre les systèmes de conception et de production d'un geste d'utilisation (extrait de Osiurak [64]).

Bien que cette théorie ait été développée chez l'adulte, elle souligne que l'utilisation réelle d'outils n'est pas seulement une question de manipulation ou de routines perceptivo-motrices. Dans un tel modèle, la compréhension, grâce au raisonnement technique, de la finalité de l'action et de ses modalités contraindrait directement l'anticipation motrice et la production de mouvements, et réciproquement (voir aussi Goldenberg [89]). En outre, bien que ces propositions théoriques n'aient pas été formulées dans une visée développementale, elles fournissent toutefois des perspectives intéressantes pour l'évaluation de l'utilisation d'outils chez l'enfant TAC. Ceci pourrait aussi éclairer les apports récents de Wunsch et Weigelt [90], qui tentent de modéliser le développement typique des habiletés d'anticipation motrice lors de la manipulation d'outils.

3) Les perspectives pour l'évaluation de l'utilisation d'outils chez l'enfant

L'absence de modèle théorique intégratif relatif au développement de l'utilisation d'outils chez l'enfant a jusqu'à présent limité l'émergence d'épreuves d'évaluation standardisées, normées et validées cliniquement auprès de cette population. Dans ce contexte, l'évaluation clinique des

capacités réelles d'utilisation est rarement réalisée, et de fait loin d'être systématique. Les cliniciens se tournent préférentiellement vers les épreuves de coordination motrice disponibles, bien que ces dernières ne permettent pas de répondre à la question d'un éventuel trouble d'utilisation, ni d'identifier les processus neurocognitifs sous-jacents impliqués. En outre, les stratégies d'examen de l'utilisation d'outils chez l'enfant souffrent d'un défaut de « grille de lecture articulée, intégrative, des mécanismes et connaissances en jeu afin d'interpréter au mieux la conduite des patients [...] et d'envisager des stratégies de rééducation individualisées » ([91], p. 116).

Par ailleurs, une évaluation de l'utilisation d'outils chez l'enfant nécessite de considérer la dimension plurifactorielle inhérente à l'examen de ces compétences, comme pour toute évaluation psychologique. En effet, il n'existe aucune correspondance stricte entre la manifestation clinique d'un trouble et son « origine » sous-jacente. Ainsi, de même qu'une erreur de dénomination peut dénoter un trouble de nature visuelle (*e.g.*, agnosie visuelle), langagière (*e.g.*, paraphasie phonémique) ou sémantique (*e.g.*, paraphasie sémantique), les activités d'utilisation d'outils mériteraient d'être déconstruites en fonction des processus qu'elles engagent. C'est pourquoi, les conditions d'évaluation doivent être variées et combiner différentes tâches, pour pouvoir tenir compte des divers registres cognitivo-moteurs engagés dans les épreuves d'utilisation (*e.g.*, connaissances sémantiques sur l'usage habituel, fonctionnement exécutif pour organiser l'activité, anticipation motrice pour optimiser les gestes de saisie, etc.). De même, une analyse plus fine des différents processus mobilisés au sein d'une même épreuve implique de considérer plusieurs variables et non exclusivement le temps de réalisation ou le degré de précision du geste produit. La qualification des erreurs produites par les enfants demande également une attention particulière (*e.g.*, lenteur excessive, saisie maladroite et/ou non propice à la manipulation de l'outil, usage inhabituel...).

Le recours à des tâches d'*utilisation réelle d'outils usuels* se situe au centre de la démarche d'investigation car elles renvoient à des situations classiques d'AVQ, pouvant permettre d'objectiver un éventuel déficit tel qu'il se manifeste en vie quotidienne chez l'enfant. De plus, il

est essentiel de faire *réellement* produire les actions par l'enfant pour pouvoir évaluer *online* les facteurs de réussite ou d'échec. Différentes modalités peuvent être envisagées dans ces épreuves d'utilisation, selon le nombre de tâches à accomplir par l'enfant (i.e., un ou plusieurs outils et objets à disposition) : utilisation relativement isolée versus activités multi-tâches. Cette dernière modalité est celle qui se rapproche le plus des conditions que l'enfant rencontre à son domicile ou en contexte scolaire, impliquant le choix des outils pertinents et une succession de tâches différentes. Elle permet par ailleurs d'observer cliniquement comment l'enfant organise et planifie son activité, en réalisant par exemple une tâche l'une après l'autre (voir Figure 2) ou les sous-activités de diverses tâches simultanément (e.g., verser du lait dans le bol, puis insérer le C.D. dans le lecteur, puis ajouter le chocolat en poudre dans le bol, etc.).

L'utilisation d'outils non familiers, telle que la résolution de problèmes mécaniques conçue pour évaluer le raisonnement technique, permet d'appréhender la manière dont l'enfant analyse les propriétés mécaniques et physiques d'un dispositif expérimental en fonction des contraintes de la tâche (pour plus de détails, voir par exemple l'article de Lesourd et al. [92]). Le matériel se compose généralement de boîtes transparentes, à l'intérieur desquelles se trouvent une cible que les enfants doivent extraire à l'aide d'outils plus ou moins pertinents à leur disposition (voir aussi Beck et al. [82]).

Des épreuves évaluant spécifiquement la *production gestuelle*, telles que la dextérité manuelle (Purdue pegboard par exemple [93]) et l'anticipation motrice (pour un exemple de dispositif expérimental voir Thibaut et Toussaint [94]) sont particulièrement utiles pour déterminer si un tel niveau de déficit (i.e., la manipulation en elle-même) est susceptible d'expliquer à lui seul les difficultés d'utilisation.

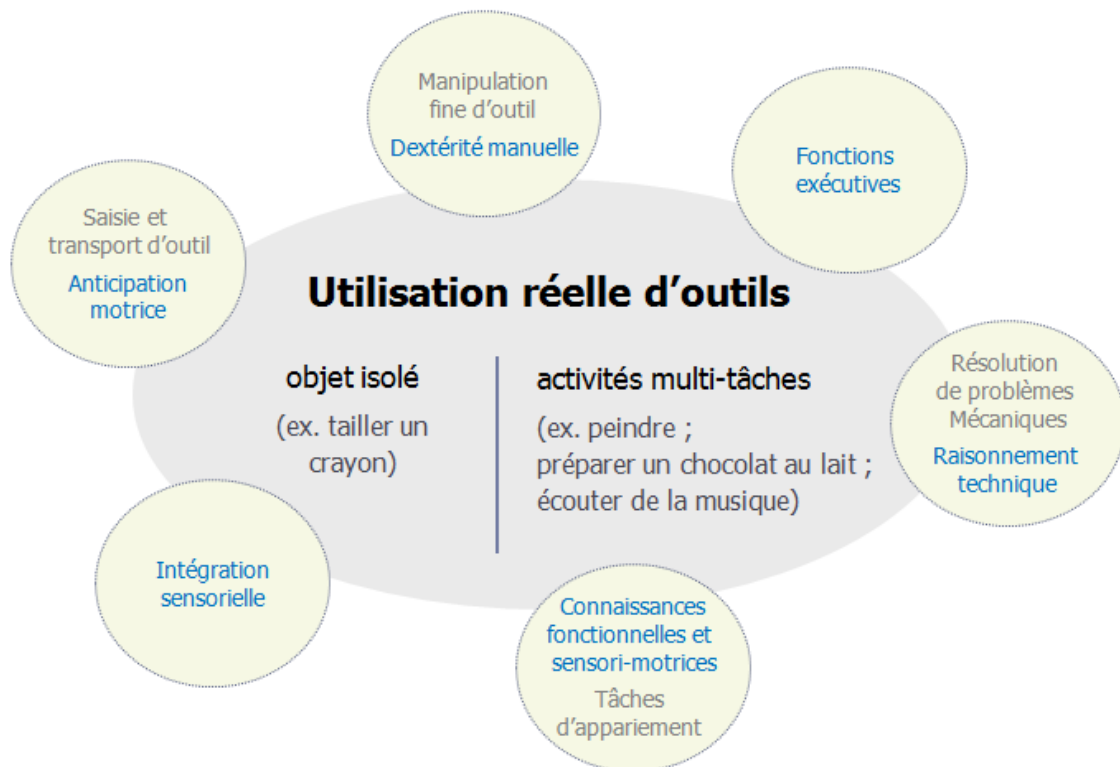


Figure 2. Épreuves et processus cognitivo-moteurs potentiellement impliqués dans l'utilisation d'outils.

En parallèle, des épreuves centrées sur les connaissances impliquées dans l'utilisation permettent d'aborder la *dimension conceptuelle* de celle-ci, en dehors de toute production motrice. Plusieurs types de connaissances peuvent être appréhendées, dont celles relatives à l'usage prototypique des outils (i.e., connaissances sur la fonction) ou encore celles sur les postures manuelles d'utilisation (i.e., connaissances d'une posture adéquate pour une bonne manipulation de l'outil). Il est intéressant de noter que ce dernier aspect ne renvoie pas aux mêmes processus cognitifs sous-jacents selon les auteurs : connaissances sensori-motrices préalablement stockées versus reconstruction *online* du contexte de l'utilisation [95].

De manière complémentaire, favoriser une *approche écologique* au plus près des AVQ de l'enfant nous paraît indispensable, soit par l'observation directe de l'enfant dans son environnement habituel lorsque c'est possible (e.g., à l'école), soit sur la base de questionnaires de vie quotidienne parents/enseignants. En dépit du manque de questionnaires adaptés chez l'enfant, cette démarche vise à vérifier si les performances observées en consultation reflètent la « réalité » des symptômes présentés par l'enfant en contexte familial et/ou scolaire.

Enfin, les liens privilégiés entretenus entre les situations d'utilisation d'outils et les *autres processus cognitifs*, tels que le fonctionnement exécutif, l'intégration sensorielle (i.e., traitement visuo-perceptif, capacités visuo-spatiales, perception kinesthésique, etc.) justifient de promouvoir une analyse détaillée des différentes facettes du fonctionnement cognitivo-moteur global de l'enfant.

CONCLUSION

En conclusion, l'examen des compétences d'utilisation d'outils chez l'enfant TAC représente aujourd'hui un enjeu à la fois théorique et clinique important. A un niveau théorique, il apparaît fondamental de définir précisément les termes employés et leur signification (e.g., coordination motrice) et de comprendre les modalités de perturbation de ces compétences essentielles à la réalisation d'AVQ et au développement de l'autonomie de l'enfant TAC. La complémentarité des travaux réalisés dans le contexte du développement typique et en neuropsychologie adulte apparaît essentielle, en vue d'enrichir et de questionner les modélisations théoriques, les méthodes d'investigation et accompagnements cliniques. Ces avancées conceptuelles constituent une étape indispensable pour favoriser la mise à disposition d'épreuves d'évaluation étalonnées et soutenues par des prédictions théoriques permettant d'analyser et d'interpréter les performances d'utilisation d'outils chez l'enfant. Un autre enjeu clinique capital renvoie aujourd'hui à l'exploration de la symptomatologie du TAC, qui nécessite d'appréhender les AVQ et les capacités d'utilisation chez l'enfant afin de confirmer ou d'infirmer de manière rigoureuse le diagnostic de ce trouble neurodéveloppemental. Cette démarche clinique constitue enfin un facteur déterminant pour la coordination des prises en charge avec les intervenants de terrain, qui sont confrontés quotidiennement à la question de la manipulation des outils chez l'enfant TAC (i.e., ergothérapeutes, auxiliaires de vie scolaire...) et qui pourraient par conséquent bénéficier des avancées scientifiques dans ce domaine.

Remerciements

Cet article a reçu le soutien de la Région Pays de la Loire (Projet régional « Outil et vie quotidienne : du handicap à l'autonomie » OVQ ; OVQ-2012-09689).

Liens d'intérêts

Les auteurs déclarent ne pas avoir de lien d'intérêt en rapport avec cet article.

REFERENCES

1. American Psychiatric Association. *Diagnostic and statistical manual of mental disorders (DSM 5th ed.)*. Washington (D. C.), London: American Psychiatric Pub, 2013.
2. Zwicker JG, Harris SR, Klassen AF. Quality of life domains affected in children with developmental coordination disorder: a systematic review. *Child Care Health Dev* 2013 ; 39 : 562-580.
3. Gentle J, Barnett AL, Wilmut K. Adaptations to walking on an uneven terrain for individuals with and without Developmental Coordination Disorder. *Hum Mov Sci* 2016 ; 49 : 346-353.
4. Wang TN, Tseng MH, Wilson BN, *et al.* Functional performance of children with developmental coordination disorder at home and at school. *Dev Med Child Neurol* 2009 ; 51 : 817-825.
5. Jover M, Assaiante C. Le développement typique et atypique des actions: théories, recherches et pratiques. *Enfance* 2016 ; 2016.01 : 15-33.
6. Rosenblum S, Livneh-Zirinski M. Handwriting process and product characteristics of children diagnosed with developmental coordination disorder. *Hum Mov Sci* 2008 ; 27 : 200-214.

7. Smits-Engelsman BCM, Wilson PH, Westenberg Y, *et al.* Fine motor deficiencies in children with developmental coordination disorder and learning disabilities: An underlying open-loop control deficit. *Hum Mov Sci* 2003 ; 22 : 495-513.
8. Zwicker JG, Missiuna C, Harris SR, *et al.* Developmental coordination disorder: a review and update. *Eur J Paediatr Neurol* 2012 ; 16 : 573-581.
9. Wilson PH. Practitioner Review: Approaches to assessment and treatment of children with DCD: an evaluative review. *J Child Psychol Psychiatry* 2004 ; 45 : 1-18.
10. Vaivre-Douret L. Developmental coordination disorders: State of art. *Neurophysiol Clin* 2014 ; 44 : 13-23.
11. Vissier J. Developmental coordination disorder: a review of research on subtypes and comorbidities. *Hum Mov Sci* 2003 ; 22 : 479-493.
12. Green D, Chambers ME, Sugden DA. Does subtype of developmental coordination disorder count: Is there a differential effect on outcome following intervention? *Hum Mov Sci* 2008 ; 27 : 363-382.
13. Gomez A, Sirigu A. Developmental coordination disorder: core sensori-motor deficits, neurobiology and etiology. *Neuropsychologia* 2015 ; 79 : 272-287.
14. Blank R, Smits-Engelsman B, Polatajko H, *et al.* European Academy for Childhood Disability (EACD): Recommendations on the definition, diagnosis and intervention of developmental coordination disorder (long version). *Dev Med Child Neurol* 2012 ; 54 : 54-93.
15. Smits-Engelsman B, Schoemaker M, Delabastita T, *et al.* Diagnostic criteria for DCD: Past and future. *Hum Mov Sci* 2015 ; 42 : 293-306.
16. Magalhães LC, Cardoso AA, Missiuna C. Activities and participation in children with developmental coordination disorder: A systematic review. *Res Dev Disabil* 2011 ; 32 : 1309-1316.

17. Dewey D, Bernier FP. The Concept of Atypical Brain Development in Developmental Coordination Disorder (DCD)-a New Look. *Curr Dev Disord Rep* 2016 ; 3 : 161-169.
18. Albaret JM et Chaix Y. Trouble de l'acquisition de la coordination: bases neurobiologiques et aspects neurophysiologiques. *Neurophysiol Clin* 2011 ; 42 : 11-17.
19. Kashiwagi M, Iwaki S, Narumi Y, *et al.* Parietal dysfunction in developmental coordination disorder: a functional MRI study. *Neuroreport* 2009 ; 20 : 1319-1324.
20. Adams ILJ, Lust JM, Wilson PH, *et al.* Compromised motor control in children with DCD: a deficit in the internal model?—A systematic review. *Neurosci Biobehav Rev* 2014 ; 47 : 225-244.
21. Wilson PH, Ruddock S, Smits-Engelsman B, *et al.* Understanding performance deficits in developmental coordination disorder: a meta-analysis of recent research. *Dev Med Child Neurol* 2013 ; 55 : 217-288.
22. Noten M, Wilson P, Ruddock S, *et al.* Mild impairments of motor imagery skills in children with DCD. *Res Dev Disabil* 2014 ; 35 : 1152-1159.
23. Williams J, Thomas PR, Maruff P, *et al.* The link between motor impairment level and motor imagery ability in children with developmental coordination disorder. *Hum Mov Sci* 2008 ; 27 : 270-285.
24. Buxbaum LJ, Johnson-Frey SH, Bartlett-Williams M. Deficient internal models for planning hand-object interactions in apraxia. *Neuropsychologia* 2005 ; 43 : 917-929.
25. Buxbaum LJ, Kyle KM, Menon R. On beyond mirror neurons: Internal representations subserving imitation and recognition of skilled object-related actions in humans. *Cogn Brain Res* 2005 ; 25 : 226-239.
26. Van Waelvelde H, De Weerd W, De Cock P, *et al.* Parameterization of movement execution in children with developmental coordination disorder. *Brain Cogn* 2006 ; 60 : 20-31.

27. Rosenbaum DA, Chapman KM, Weigelt M, *et al.* Cognition, action, and object manipulation. *Psychol Bull* 2012 ; 138 : 924-946.
28. Wilmut K, Byrne M. Grip selection for sequential movements in children and adults with and without Developmental Coordination Disorder. *Hum Mov Sci* 2014 ; 36 : 272-284.
29. Wunsch K, Henning A, Aschersleben G, *et al.* A systematic review of the end-state comfort effect in normally developing children and in children with developmental disorders. *J Motor Learn Dev* 2013 ; 1 : 59-76.
30. Nicolson RI, Fawcett AJ. Procedural learning difficulties: reuniting the developmental disorders? *Trends Neurosci* 2007 ; 30 : 135-141.
31. Doyon J, Penhune V, Ungerleider LG. Distinct contribution of the cortico-striatal and cortico-cerebellar systems to motor skill learning. *Neuropsychologia* 2003 ; 41 : 252-262.
32. Lejeune C, Catale C, Willems S, *et al.* Intact procedural motor sequence learning in developmental coordination disorder. *Res Dev Disabil* 2013 ; 34: 1974-1981.
33. Biotteau M, Chaix Y, Albaret JM. Procedural learning and automatization process in children with developmental coordination disorder and/or developmental dyslexia. *Hum Mov Sci* 2015 ; 43 : 78-89.
34. Wilson PH, Maruff P, Lum J. Procedural learning in children with developmental coordination disorder. *Hum Mov Sci* 2003 ; 22 : 515-526.
35. Lejeune C, Wansard M, Geurten M, *et al.* Procedural learning, consolidation, and transfer of a new skill in developmental coordination disorder. *Child Neuropsychol* 2016. doi:10.1080/09297049.2014.988608.
36. Biotteau M, Chaix Y, Albaret JM. What Do We Really Know About Motor Learning in Children with Developmental Coordination Disorder? *Curr Dev Disord Rep* 2016 ; 3 : 152-160.

37. Ayres J. *Sensory integration and learning disorders*. Los Angeles : Western Psychological Services, 1972.
38. Coleman R, Piek JP, Livesey DJ. A longitudinal study of motor ability and kinaesthetic acuity in young children at risk of developmental coordination disorder. *Hum Mov Sci* 2001 ; 20 : 95-110.
39. Li K, Su W, Fu H, *et al*. Kinesthetic deficit in children with developmental coordination disorder. *Res Dev Disabil* 2015 ; 38 : 125-133.
40. Chaix Y, Albaret JM. Trouble de l'Acquisition de la Coordination et déficits visuo-spatiaux. *Développements* 2014 ; 2 : 32-43.
41. Wilson PH, McKenzie BE. Information processing deficits associated with developmental coordination disorder: A meta-analysis of research findings. *J Child Psychol Psychiatry* 1998 ; 39 : 829-840.
42. Schoemaker MM, Van Der Wees M, Flapper B, *et al*. Perceptual skills of children with developmental coordination disorder. *Hum Mov Sci* 2001 ; 20 : 111-133.
43. Bair WN, Barela JA, Whittall J, *et al*. Children with developmental coordination disorder benefit from using vision in combination with touch information for quiet standing. *Gait Posture* 2011 ; 34 : 183-190.
44. Seron X, van der Linden M, Andrès P. Le lobe frontal : à la recherche de ses spécificités fonctionnelles. In : van der Linden M, Seron X, Le Gall D, Andrès P, éd. *Neuropsychologie des lobes frontaux*. Marseille : Solal, 1999, p. 33-88.
45. Piek JP, Dyck MJ, Nieman A, *et al*. The relationship between motor coordination, executive functioning and attention in school aged children. *Arch Clin Neuropsychol* 2004 ; 19 : 1063-1076.

46. Toussaint-Thorin M, Marchal F, Benkhaled O, *et al.* Executive functions of children with developmental dyspraxia: Assessment combining neuropsychological and ecological tests. *Ann Phys Rehabil Med* 2013 ; 56 : 268-287.
47. Ruddock S, Piek J, Sugden D, *et al.* Coupling online control and inhibitory systems in children with developmental coordination disorder: goal-directed reaching. *Res Dev Disabil* 2015 ; 36 : 244-255.
48. Wang YP, Su CY, Su JH. Wisconsin Card Sorting Test performance in children with developmental coordination disorder. *Res Dev Disabil* 2011 ; 32 : 1669-1676.
49. Van Swieten LM, Van Bergen E, Williams JHG, *et al.* A test of motor (not executive) planning in developmental coordination disorder and autism. *J Exp Psychol Hum Percept Perform* 2010 ; 36 : 493.
50. Wunsch K, Pfister R, Henning A, *et al.* No interrelation of motor planning and executive functions across young ages. *Front Psychol* 2016 ; 7 : 1031.
51. Polatajko HJ, Mandich AD, Miller LT, *et al.* Cognitive Orientation to Daily Occupational Performance (CO-OP) Part II The Evidence. *Phys Occup Ther Pediatr* 2001 ; 20 : 83-106.
52. Henderson SE, Sugden DA, Barnett A. *Movement Assessment Battery for Children*. In *Movement ABC ; examiner's manual* (2nd ed.). London:Harcourt Assessment, 2007.
53. Bruininks R, Bruininks B. Bruininks-Oseretsky Test of Motor Proficiency, (BOT-2, 2nd ed.). *Minneapolis, MN: NCS Pearson Assessment, 2005.*
54. Bieber E, Smits-Engelsman BCM, Sgandurra G, *et al.* Manual function outcome measures in children with developmental coordination disorder (DCD): Systematic review. *Res Dev Disabil* 2016 ; 55 : 114-131.
55. Osiurak F, Jarry C, Le Gall D. (2010). Grasping the affordances, understanding the reasoning: Toward a dialectical theory of human tool use. *Psychol Rev* 2010 ; 117 : 517-540.

56. Geuze R, Schoemaker M, Smits-Engelsman B. (2015). Clinical and research criteria for Developmental coordination disorder, should they be one and the same? *Curr Dev Disord Rep* 2015 ; 2 : 127-130.
57. Van der Linde B W, Van Netten J J, Otten E, *et al.* A systematic review of instruments for assessment of capacity in activities of daily living in children with developmental co-ordination disorder. *Child Care Health Dev* 2013 ; 41 : 23-34.
58. Wilson BN, Crawford SG, Green D, *et al.* Psychometric properties of the revised Developmental Coordination Disorder Questionnaire. *J Phys Occup Ther Pediatr* 2009 ; 29 : 182-202.
59. Rosenblum S. 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 Dev* 2006 ; 32 : 619-632.
60. Dewey, D. Praxis and sequencing skills in children with sensorimotor dysfunction. *Dev Neuropsychol* 1991 ; 7 : 197-206.
61. Zoia S, Pelamatti G, Cuttini M, *et al.* Performance of gesture in children with and without DCD: effects of sensory input modalities. *Dev Med Child Neurol* 2002 ; 44 : 699-705.
62. Josman N, Goffer A, Rosenblum S. Development and standardization of a “Do–Eat” activity of daily living performance test for children. *Am J Occup Ther* 2010 ; 64 : 47-58.
63. Sinani C, Sugden DA, Hill EL. Gesture production in school vs. clinical samples of children with Developmental Coordination Disorder (DCD) and typically developing children. *Res Dev Disabil* 2011 ; 32 : 1270-1282.
64. Osiurak F. What Neuropsychology tells us about human tool use? The four constraints theory (4CT): Mechanics, Space, Time, and Effort. *Neuropsychol Rev* 2014 ; 24 : 88-115.

65. Summers, J., Larkin, D., & Dewey, D. (2008). Activities of daily living in children with developmental coordination disorder: dressing, personal hygiene, and eating skills. *Hum Mov Sci* 2008 ; 27 : 215-229.
66. O'Hare A, Gorzkowska J, Elton R. Development of an instrument to measure manual praxis. *Dev Med Child Neurol* 1999 ; 41 : 597-607.
67. Mostofsky SH, Dubey P, Jerath VK, *et al.* Developmental dyspraxia is not limited to imitation in children with autism spectrum disorders. *J Int Neuropsychol Soc* 2006 ; 12 : 314-326.
68. Nadel J, Aouka N, Coulon N, *et al.* Yes they can! An approach of observational learning in low-functioning children with autism. *Autism* 2011 ; 15 : 1-15.
69. Casler K, Eshleman A, Greene K, *et al.* Children's scale errors with tools. *Dev Psychol* 2011 ; 47 : 857-866.
70. Fagard J, Rat-Fischer L, Esseily R, *et al.* What does it take for an infant to learn how to use a tool by observation? *Front Psychol* 2016 ; 7:267, doi:10.3389/fpsyg.2016.00267
71. Lockman JJ. A perception-action perspective on tool use development. *Child Dev* 2000 ; 7 : 137-144.
72. Kahrs BA, Lockman JJ. Tool using. *Child Dev Perspect* 2014 ; 8 : 231-236.
73. Van Leeuwen L, Smitsman A, van Leeuwen C. Affordances, perceptual complexity, and the development of tool use. *J Exp Psychol* 1994 ; 20 : 174-191.
74. Hauert CA, Christe B. Les praxies chez l'enfant: évaluation, interprétation. Une mise à jour. In : Le Gall D, Aubin G, éd. *L'apraxie*. Marseille: Solal, 2004, p. 61-87.
75. Schmidt RA. A schema theory of discrete motor skill learning. *Psychol Rev* 1975 ; 82 : 225-260.
76. Wolpert DM, Ghahramani Z, Jordan MI An internal model for sensorimotor integration. *Science* 1995 ; 269 : 1880.

77. Guilbert J, Jouen F, Lehalle H, *et al.* Imagerie motrice interne et simulation de l'action chez l'enfant. *L'Année Psychologique* 2013 ; 113 : 459-488.
78. Kahrs BA, Lockman JJ. L'utilisation d'objets comme outils: un développement continu. *Enfance* 2012 ; 64 : 61-71.
79. Osiurak F. *Apraxie et troubles d'utilisation d'outils : «Que sais-je?» n° 4063*. Presses Universitaires de France, 2016.
80. Cutting N, Apperly IA, Chappell J, *et al.* The puzzling difficulty of tool innovation: why can't children piece their knowledge together? *J Exp Child Psychol* 2014 ; 125 : 110-117.
81. Vaesen, K. The cognitive bases of human tool use. *Behav Brain Sci* 2012 ; 35 : 203–262.
82. Beck SR, Apperly IA, Chappell J, *et al.* Making tools isn't child's play. *Cognition* 2011 ; 119 : 301–306.
83. Beck SR, Cutting N, Apperly IA, *et al.* Is tool making knowledge robust over time and across problems? *Front Psychol* 2014 ; 5 : 1-10.
84. Cutting N, Apperly IA, Beck SR. Why do children lack the flexibility to innovate tools? *J Exp Child Psychol* 2011 ; 109 : 497-511.
85. Nielsen M, Tomaselli K, Mushin I, *et al.* Exploring tool innovation: A comparison of Western and Bushman children. *J Exp Child Psychol* 2014 ; 126 : 384-394.
86. Gardiner AK, Bjorklund DF, Greif ML, *et al.* Choosing and using tools: Prior experience and task difficulty influence preschoolers' tool-use strategies. *Cogn Dev* 2012 ; 27 : 240-254.
87. Chappell J, Cutting N, Apperly IA, *et al.* The development of tool manufacture in humans: what helps young children make innovative tools? *Philos Trans R Soc B* 2013 ; 368 : 1-10.
88. Le Gall, D. *Des apraxies aux atechnies. Propositions pour une ergologie clinique*. Bruxelles : De Boeck Université, 1998.

89. Goldenberg, G. Apraxia and the parietal lobes. *Neuropsychologia* 2009 ; 47 : 1449-1459.
90. Wunsch K, Weigelt M. A Three-Stage Model for the Acquisition of Anticipatory Planning Skills for Grip Selection during Object Manipulation in Young Children. *Front Psychol* 2016 ; 7 : 958.
91. Jarry C, Osiurak F, Etcharry-Bouyx F, *et al.* Stratégies d'évaluation des troubles d'utilisation d'objets. *Rev Neuropsychol* 2016 ; 8 : 108-117.
92. Lesourd M, Baumard J, Jarry C, *et al.* Mechanical problem-solving strategies in Alzheimer's disease and semantic dementia. *Neuropsychology* 2015 ; Advance online publication. doi: 10.1037/neu0000241
93. Gardner R A, Broman M. The Purdue Pegboard: normative data on 1334 school children. *J Clin Child Psychol* 1979 ; 8 : 156-162.
94. Thibaut JP, Toussaint L. (2010). Developing motor planning over ages. *J Exp Child Psychol* 2010 ; 105 : 116-129.
95. Osiurak, F., Jarry, C., Le Gall, D. Re-examining the gesture engram hypothesis. New perspectives on apraxia of tool use. *Neuropsychologia* 2011 ; 49 : 299-312.

PARTIE CLINIQUE ET EXPERIMENTALE

« Dans le détail même de la recherche scientifique, devant une expérience bien déterminée qui pourrait être enregistrée comme telle, comme vraiment une et complète, l'esprit scientifique n'est jamais à court pour en varier les conditions, bref pour sortir de la contemplation du même et chercher l'autre, pour dialectiser l'expérience. C'est ainsi que dans toutes les sciences rigoureuses, une pensée anxieuse se méfie des identités plus ou moins apparentes, et réclame sans cesse plus de précision, ipso facto plus d'occasions de distinguer. Préciser, rectifier, diversifier, ce sont là des types de pensées dynamiques qui s'évadent de la certitude et de l'unité et qui trouvent dans les systèmes homogènes plus d'obstacles que d'impulsions, En résumé, l'homme animé par l'esprit scientifique désire sans doute savoir, mais c'est aussitôt pour mieux interroger. »

Bachelard (1967, p. 19)

Certains aspects de ce chapitre ont sous-tendu la réalisation de mémoires de recherche en neuropsychologie de l'enfant et feront pour partie l'objet de prochaines communications :

Etchenda, M. (2015). *Anticipation motrice, Intégration sensorielle et Dyspraxie développementale*. Mémoire de Master 1 non publié. Université d'Angers, Angers, France.

Coiffard, C. (2015). *Trouble de la planification motrice et utilisation d'objets chez l'enfant TAC*. Mémoire de Master 1 non publié. Université d'Angers, Angers, France.

Coiffard, C. (2016). *Planification motrice et utilisation d'objet : Etude développementale et comparative*. Mémoire de Master 2 non publié. Université d'Angers, Angers, France.

Coiffard, C., Remigereau, C., Charbonnier, V., Dubrey, M.-C., & Le Gall, D. (2016, décembre). *Anticipation motrice et utilisation d'objet chez l'enfant : Développement typique et atypique*. Communication affichée aux Journées Internationales de Neuropsychologie : Apraxie et action, Angers.

Remigereau, C. (2016, décembre). *Outil et Vie Quotidienne chez l'enfant : Développement typique et Trouble de l'Acquisition de la Coordination (TAC)*. Communication orale aux Journées Internationales de Neuropsychologie : Apraxie et action, Angers.

Problématique Générale

L'introduction ainsi que notre revue critique de la littérature nous permettent de constater que l'investigation de l'utilisation réelle d'outil n'est quasiment jamais effectuée chez l'enfant TAC, et les quelques données disponibles ne permettent pas de statuer sur les difficultés pressenties. Alors que les plaintes de l'entourage (parents et enseignants) se cristallisent le plus souvent autour de ces manifestations observables du comportement de l'enfant (*e.g.*, habillage, repas, outils scolaires, graphisme...) et que de telles perturbations ont pour effet de limiter son développement psychologique (*i.e.*, dépendance à l'adulte, faible estime de soi, troubles des apprentissages...), dans la littérature les indices d'un déficit d'utilisation apparaissent lacunaires et contradictoires.

De plus, la description méthodologique des dispositifs expérimentaux utilisés est souvent superficielle et les mesures choisies ne sont pas toujours clairement précisées, ce qui limite l'analyse des processus impliqués dans l'expression des symptômes. L'analyse de l'utilisation d'outils nécessite donc d'être à la fois plus spécifique et exhaustive, via une grille de lecture susceptible d'analyser d'éventuels déficits (*i.e.*, qualité de la saisie des outils, interactions entre l'outil et l'objet, efficacité de l'action...).

La problématique soulevée par l'état de l'art consiste à interroger les processus neuropsychologiques sont mis en œuvre dans l'utilisation d'outils chez l'enfant ? L'opérationnalisation de cette question est abordée dans deux champs d'application différents : le développement typique et le développement atypique à travers le TAC.

Objectifs et Hypothèses Générales

Objectifs

Les objectifs du présent travail de Thèse se situent à plusieurs niveaux : cliniques, méthodologiques et théoriques.

L'objectif général des recherches qui composent cette Thèse est de 1) décrire la nature des troubles d'utilisation d'outils et leur sévérité chez l'enfant TAC et 2) identifier les processus neuropsychologiques sous-jacents. Au niveau clinique, ces objectifs s'inscrivent dans la perspective d'améliorer la démarche diagnostique du TAC, via une réelle prise en compte du critère qualitatif d'impact des troubles de coordination motrice sur les activités de vie quotidienne.

En l'absence de modèle développemental intégratif des différents processus neuropsychologiques impliqués dans l'utilisation d'outils chez l'enfant, ces objectifs s'inscrivent dans le cadre du modèle théorique développé par Le Gall (1998) et Osiurak (2014 ; Osiurak & Badets, 2016). Compte tenu des limites inhérentes à l'importation de modélisations développées chez l'adulte à l'enfant (*i.e.*, absence de dynamique développementale, dissociations fonctionnelles non superposables), nous nous sommes également situés dans la lignée de proposition théoriques formulées chez l'enfant tout-venant (Beck et al., 2014 ; Thibaut & Toussaint, 2010 ; Wunsch & Weigelt, 2016).

Dans ce contexte, nous poursuivons également l'objectif de contribuer à la compréhension des processus impliqués dans le développement typique de l'utilisation d'outils. L'idée étant, par ailleurs de pouvoir disposer de repères développementaux pour l'étude du développement atypique de l'utilisation d'outils chez l'enfant TAC. Ces deux objectifs alimentent aussi une préoccupation méthodologique, visant à développer des épreuves d'évaluation adaptées à l'examen de l'utilisation d'outils chez l'enfant.

En parallèle, il nous paraît indispensable de vérifier chez l'enfant TAC que les troubles d'utilisation d'outils ne soient pas liés à l'altération d'une ou d'autres dimensions cognitives, dont

nous avons souligné qu'elles étaient incriminées : un éventuel dysfonctionnement exécutif (Stöckel & Hughes, 2015) ou un défaut d'intégration sensorielle (Schoemaker et al., 2001). Dans cette optique, comprendre si les troubles d'utilisation d'outils sont spécifiques dans le TAC ou s'ils sont le lieu d'expression d'un autre dysfonctionnement, est déterminant pour l'élaboration de projets de rééducation et les propositions d'aménagements scolaires.

Hypothèses

Les hypothèses qui sont présentées ci-dessous portent sur les données qui ont d'ores et déjà été traitées dans le cadre de cette recherche. Ainsi, le rôle des fonctions exécutives dans l'organisation temporelle de l'activité d'utilisation et celui de l'intégration sensorielle dans le contrôle perceptif *online* du geste d'utilisation d'outils chez l'enfant ne seront pas abordés spécifiquement.

- Dans le cadre du *développement typique*, conformément aux travaux de l'équipe de Beck sur les capacités de résolutions de problèmes mécaniques, les performances de raisonnement technique présenteront un développement prolongé pendant l'enfance, entre 6 et 14 ans.
- Etant donné la précocité des habiletés d'utilisation d'outils familiers observées chez les enfants tout-venant, et les liens théoriques exposés chez l'adulte entre l'utilisation réelle d'outils familiers et nouveaux, nous attendons un développement conjoint de ces deux compétences d'utilisation, de même que des liens significatifs entre l'utilisation familière et nouvelle chez l'enfant tout-venant.

Compte tenu des plaintes de l'entourage des *enfants TAC* à propos des activités de vie quotidienne et des indices de perturbations d'utilisation d'outils pressentis dans la littérature, nous proposons les hypothèses suivantes :

- Les performances d'utilisation effective d'outils seront perturbées chez les enfants TAC en comparaison à celles du groupe contrôle
- Les capacités de raisonnement technique n'ayant jamais été explorées à notre connaissance dans la population clinique du TAC, l'étude à ce niveau est relativement exploratoire. Compte tenu des modélisations théoriques en neuropsychologie adulte positionnant le raisonnement technique comme processus fondamental de l'utilisation d'outils familiers et nouveaux, nous attendons une différence a priori entre les enfants TAC et les enfants tout-venant.
- Un lien significatif est également attendu entre les performances d'utilisation d'outils familiers et nouveaux dans le développement atypique.

Au vu des résultats inconsistants relevés dans la littérature concernant les performances d'anticipation motrice chez l'enfant TAC, nous formulons les hypothèses suivantes :

- les capacités d'anticipation motrice seront significativement perturbées chez les enfants TAC en comparaison au groupe contrôle
- conformément au modèle intégratif développé chez l'adulte (Le Gall, 1998 ; Osiurak, 2014) sur l'utilisation d'outils familiers et le système de production motrice, un impact négatif des capacités d'anticipation motrice sur l'utilisation effective d'outils familiers est attendu.

Méthodologie Générale

Les études expérimentales et cliniques du travail de Thèse son présentées sous format article. La méthodologie employée est donc en partie explicitée dans chacun de ces articles. Nous revenons ici sur les principes généraux de notre méthode.

Participants

S'agissant du recrutement de la population clinique (article III), 27 enfants présentant des plaintes motrices d'étiologie inconnue ont été rencontrés dans le cadre d'une consultation

diagnostique pluridisciplinaire de première intention ou de suivi longitudinal, en partenariat avec le Centre Référent des Troubles d'Apprentissage du CHU de Nantes (voir Annexe 1 pour la convention d'accueil avec cet établissement) et le Centre de Réadaptation Les Capucins à Angers (voir Annexe 2 pour la convention d'accueil avec cet établissement). Les critères d'inclusion et d'exclusion du TAC décrits dans le DSM 5 (APA, 2013) ont été appliqués conformément à la procédure diagnostique décrite par Smits-Engelsman et al. (2015, voir aussi Geuze et al., 2015) et les recommandations proposées à l'issue du dernier consensus européen (*European Academy for Childhood Disability* – EACD ; Blank et al., 2012). Dans ce cadre, les enfants ont bénéficiés d'un examen neuropédiatrique (adapté de Krebs et al., 2000 ; voir Annexe 3) afin de contrôler la présence d'éventuels signes neurologiques mineurs. Cette démarche est schématisée dans la Figure 1 de l'article III (voir page 93). Parmi les 27 enfants rencontrés, 23 enfants âgés de 7 à 13 ans ont ainsi été diagnostiqués TAC et ont participé à cette recherche entre mars 2013 et janvier 2015.

Un groupe contrôle, composé de 85 enfants au développement typique âgés de 6 à 14 ans a également été constitué (article II). Les enfants ont majoritairement été rencontrés en milieu scolaire ou en centre aéré, avec l'autorisation du Directeur de l'établissement et de l'Inspection d'Académie régionale (voir Annexes 4 et 5). Le recrutement de ces enfants tout-venant a répondu aux mêmes critères d'exclusion que ceux du groupe TAC (voir Figure 1, article III, page 93) et ont été vérifiés grâce à un questionnaire anamnestique (voir Annexe 6) et au questionnaire du M-ABC complétés par les parents (Soppelsa & Albaret, 2004) pour s'assurer de l'absence de plaintes motrices significatives pour l'âge. Les enfants du groupe contrôle ont été répartis en 6 groupes d'âge dans le cadre de l'étude sur le développement typique (article II) : 6-7 ans, 8 ans, 9 ans, 10 ans, 11-12 ans, et 13-14 ans. Dans cet échantillon, 44 enfants ont été sélectionnés pour constituer un groupe contrôle strictement apparié au groupe d'enfants TAC (selon l'âge, le genre, la latéralité et le niveau socioculturel des parents) pour participer à la seconde étude clinique (article III). Pour tous les enfants (tout-venant et TAC), le niveau socioculturel a été estimé sur la base du nombre moyen

d'années d'études depuis le CP jusqu'au dernier diplôme obtenu, pour chaque couple de parents (voir Annexe 7).

Matériel

Dans l'optique de répondre au mieux à notre problématique et de tester nos hypothèses, un aspect important de ce travail a consisté à mettre au point des épreuves d'utilisation d'outils adaptées à l'enfant, compte tenu de l'absence de ce type de tests normés et validés chez l'enfant. Les épreuves ont principalement été adaptées du matériel existant chez l'adulte développé par Jarry et al. (2016), en référence aux modélisations théoriques de Le Gall (1998) et Osiurak (2014).

Les versions adaptées des tâches, telles qu'elles sont présentées dans les articles II et III, ainsi qu'en Annexe 8 et 9 (Manuel de passation et Cahier de passation respectivement, adaptés de Baumard, 2015) incluent des items modifiés en vue d'un meilleur ajustement aux activités de vie quotidienne chez l'enfant. Ces adaptations, à savoir le choix du matériel, l'organisation des épreuves, etc., ont été pré-testées auprès de 5 enfants tout-venant. Les épreuves expérimentales d'utilisation d'outils ayant permis de tester les hypothèses des articles II et III sont présentées dans le Tableau 1. L'inventaire de latéralité d'Edinburgh (Oldfield, 1971) a par ailleurs été administré pour contrôler la latéralité manuelle.

Tableau 1: Epreuves expérimentales d'utilisation d'outils (articles II et III)

COMPOSANTES EVALUEES	EPREUVES	VARIABLES RELEVees
Habiletés sensori-motrices (dextérité manuelle et anticipation motrice)	- Purdue pegboard - Transport de cylindre	<i>Nombre de tiges insérées</i> dans le temps imparti (main dominante et non dominante) <i>Nombre de postures finales</i> confortables (main dominante et non dominante)
Connaissances fonctionnelles (sémantiques)	Appariement d'images selon l'usage	<i>Score de réussite</i>
Connaissances sensori-motrices (manipulation)	Reconnaissances de postures manuelles d'utilisation d'outils	<i>Score de réussite</i>
Capacités techniques	- Utilisation d'outils familiers - Résolution de problèmes mécaniques	<i>Score d'efficacité</i> (choix multiple et choix restreint) <i>Temps</i> (choix multiple et choix restreint)

Note. Le descriptif des tâches se situe en Annexes 8 et 9.

Matériel complémentaire :

Il était initialement prévu d'interroger la participation des fonctions exécutives à l'organisation temporelle d'activités multi-tâches d'utilisation (épreuve décrite en Annexes 8 et 9). C'est pourquoi des épreuves exécutives complémentaires avaient été ajoutées au protocole expérimental : le Stroop (Roy et al., 2016) pour évaluer les capacités d'inhibition, le New Card Sorting Test (Roy et al., 2014) pour appréhender les compétences de flexibilité mentale, et les épreuves du Zoo de la BADS-Children (Roy et al., 2015) et de reproduction de la Figure de Rey avec ou sans aide à la planification (se reporter à Roy et al., 2010 pour plus de détails), pour apprécier les habiletés de planification exécutive. Compte tenu de la co-morbidité décrite dans la

littérature entre le TAC et le TAD/H (APA, 2013), les échelles de Conners version parents et enseignants ont complété l'évaluation des fonctions exécutives (Conners, 2000).

Interroger le rôle de l'intégration sensorielle dans le contrôle perceptif *online* du geste d'utilisation était également envisagé à l'aube du présent travail de Thèse. C'est pourquoi nous avons développé en parallèle des épreuves expérimentales de graphesthésie et de stéréognosies, inspirées des travaux de Ayres (1972) décrites en Annexes 8 et 9. Une évaluation des gnosies digitales (NEPSY ; Korkman et al., 2003) et l'utilisation d'un questionnaire de Profil sensoriel (Dunn, 2010) ont complété l'évaluation des niveaux sensori-perceptifs. En parallèle, étant donné que l'intégration sensorielle est mise en relation avec les représentations sur le corps dans la littérature (*i.e.*, schéma corporel ; Holmes & Spence, 2004), notamment pour la manipulation d'outils, nous avons développé une épreuve d'imitation de postures non significatives en collaboration avec un autre travail de Thèse financé par le projet OVQ –volet adulte– dans notre laboratoire (configurations manuelles et digitales, adaptées des travaux de Goldenberg, 1999 et Jarry, 2013 ; voir aussi Baumard, 2015).

Enfin, de manière plus générale, une appréciation du fonctionnement cognitif global des enfants avait été envisagée afin d'explorer le lien éventuel avec les scores d'utilisation d'outils. Pour ce faire, deux subtests d'intelligence du WISC-IV, hautement corrélés avec le facteur G (Matrices et Vocabulaire ; Wechsler, 2005) et une épreuve de compréhension orale par désignation (Evaluation du Langage Oral ; Khomsi, 2001) ont été utilisées dans le protocole expérimental.

Procédure

L'administration du protocole s'étalait sur 3 séances de 2 heures pour les enfants tout-venant et 3 demi-journées pour les patients rencontrés dans le cadre d'une évaluation neuropsychologique à visée de contribution diagnostique. En effet, celle-ci comprenait en outre un entretien d'anamnèse approfondi, une évaluation complète du quotient intellectuel, des épreuves supplémentaires selon les hypothèses cliniques et les difficultés rapportées dans le quotidien de l'enfant et un entretien de

restitution. Dans tous les cas, les différentes séances étaient espacées d'un mois au maximum. Le même ordre systématique d'administration des épreuves a été respecté afin que les tâches de connaissances fonctionnelles et sensori-motrices notamment, ne puissent pas contaminer les performances d'utilisation effective d'outils.

Les patients ont été vus dans une structure de soins (CHU ou Centre de Réadaptation), alors que les contrôles étaient rencontrés dans leur établissement scolaire ou à domicile. Un cahier de passation (voir Annexe 9) était complété pour chaque enfant et comprenait une fiche d'inclusion, la notice d'information de l'étude (voir Annexes 10 et 11), les formulaires de consentement (voir Annexe 12), les questionnaires à transmettre aux parents et enseignants, ainsi qu'un descriptif des séances. Compte tenu du nombre important d'outils manipulés dans certaines épreuves du protocole et *de facto* de la difficulté de procéder à une cotation rigoureuse *online*, l'administration des épreuves a fait l'objet d'un enregistrement vidéo pour tous les participants, après avoir obtenu l'accord de l'enfant et de ses responsables légaux (voir formulaire de consentement en Annexe 12). Une première cotation a donc été effectuée en temps réel, et a été complétée par un visionnage différé des vidéos.

Les deux chapitres suivant abordent les deux études de la Thèse : étude expérimentale sur le développement typique de l'utilisation d'outils et étude clinique chez l'enfant TAC.

Article II.

INVOLVEMENT OF TECHNICAL REASONING MORE THAN FUNCTIONAL KNOWLEDGE IN DEVELOPMENT OF TOOL USE IN CHILDHOOD

Ce texte est la reproduction d'un article sous presse :

Remigereau, C., Roy, A., Costini, O., Osiurak, F., Jarry, C. and Le Gall (2016). Involvement of technical reasoning more than functional knowledge in development of tool use in childhood. *Frontiers in Psychology*, 7: 1625. doi: 10.3389/fpsyg.2016.01625

INVOLVEMENT OF TECHNICAL REASONING MORE THAN FUNCTIONAL KNOWLEDGE IN DEVELOPMENT OF TOOL USE IN CHILDHOOD

Chrystelle Remigereau^{1,2*}, Arnaud Roy^{1,2,3}, Oriane Costini^{4,5}, François Osiurak^{6,7}, Christophe Jarry¹ and Didier Le Gall^{1,8}.

¹ Psychology Laboratory, LUNAM, University of Angers, Angers, France

² Reference Center for Learning Disabilities, Hospital of Nantes University, Nantes, France

³ Neurofibromatosis Clinic, Hospital of Nantes University, Nantes, France

⁴ Psychology Laboratory of Perception, CNRS UMR 8158, Paris, France

⁵ Neurology Service, Rothschild Ophthalmological Foundation, Paris, France

⁶ Laboratory for the Study of Cognitive Mechanisms, University of Lyon, Lyon, France

⁷ University Institute of France, Paris, France

⁸ Neurology Department, Hospital of Angers University, Angers, France

*Correspondence:

Chrystelle Remigereau, Université d'Angers, Laboratoire de Psychologie des Pays de la Loire, Maison de la recherche Germaine Tillion, 11 boulevard Lavoisier, 49045 Angers, cedex 01, France.
e-mail: chrystelle.remigereau@gmail.com

Running head: Tool use development and technical reasoning in children

ABSTRACT

It is well-known that even toddlers are able to manipulate tools in an appropriate manner according to their physical properties. The ability of children to make novel tools in order to solve problems is, however, surprisingly limited. In adults, mechanical problem solving has been proposed to be supported by “technical reasoning skills,” which are thought to be involved in every situation requiring the use of a tool (whether conventional or unusual). The aim of this study was to investigate the typical development of real tool use skills and its link with technical reasoning abilities in healthy children. Three experimental tasks were adapted from those used with adults: mechanical problem solving (three different apparatus), real tool use (10 familiar tool-object pairs), and functional knowledge (10 functional picture matching with familiar tools previously used). The tasks were administered to 85 healthy children divided into six age groups (from 6 to 14 years of age). The results revealed that real tool use ($p = .01$) and mechanical problem solving skills improve with age, even if this improvement differs according to the apparatus for the latter ($p < .01$ for the Hook task and $p < .05$ for the Sloping task). Results also showed that mechanical problem solving is a better predictor of real tool use than functional knowledge, with a significant and greater weight (importance weight: 0.65; Estimate \pm Standard Error: 0.27 \pm 0.08). Ours findings suggest that real tool use and technical reasoning develop jointly in children, independently from development of functional knowledge. In addition, technical reasoning appears partially operative from the age of 6 onwards, even though the outcome of these skills depends of the context in which they are applied (i.e., the type of apparatus).

Keywords: Tool use, child development, mechanical problem-solving, functional knowledge, school-aged children.

1. INTRODUCTION

Compared to other animal species, tool use is very common in human cultures and one of the specific features of this behavior is that it evolves in a cumulative manner (Jarry et al., 2016; Tennie et al., 2009). Innovations are transmitted from one individual to another and from one generation to the next through social learning (Beck et al., 2012; Osiurak et al., 2016). In this regard, from 2 years of age onwards, children start to adequately use tools that they encounter in their environment (i.e., conventional tool use; Cutting et al., 2014; Lockman, 2000; Vaesen, 2012), and this occurs in particular through their abilities to imitate (i.e., adaptation to social uses). Interestingly, the ability to solve mechanical problems by using novel tools (e.g., an unknown apparatus such as the Hook task, see below) may take place later, at about 8 years of age (Beck et al., 2011). These findings suggest that real tool use (e.g., the daily use of a spoon by a toddler to eat) and mechanical problem solving skills could be based on cognitive mechanisms of a different nature. This is partly inconsistent with the technical reasoning hypothesis mainly developed from the study of left brain-damaged patients, according to which familiar tool use and mechanical problem solving should be supported by common cognitive mechanisms (Le Gall, 1998; Osiurak, 2014; Osiurak and Badets, 2016; Osiurak et al., 2010). The main goal of the present study is to address this issue, by exploring how children aged from 6 to 14 years perform on real tool use and mechanical problem solving tasks.

1.1 Development of tool-making abilities in childhood

Lockman (2000) proposed that, from a developmental perspective, the emergence of tool use before one year of age develops in the absence of optimal representational thinking (i.e. symbolic). Several authors have hence assumed that human tool use is derived from perceptual-motor behavior implemented by children at a very young age: exploration of surfaces/textures/sounds, trial and error strategies, affordance perception, grip selection, etc. (Kahrs

and Lockman, 2014; van Leeuwen, Smitsman and van Leeuwen, 1994). Recent studies have, however, reported a striking dissociation between these early skills and the subsequent emergence of tool-making abilities in children. Studies have shown on multiple occasions that making a functional tool independently (i.e., without any demonstration, called “tool innovation” below) is nearly impossible in healthy children before the age of 5 years (Beck et al., 2011, 2014; Cutting et al., 2011) irrespective of their socio-cultural environment (Nielsen et al., 2014). The task commonly employed consists in recovering a target that is lodged inside a transparent tube and that cannot be reached directly by hand (e.g. the Hook task, Unbending task). The making of a new functional tool, by modification of available items (for example a hook from a straight metal rod), does not occur spontaneously until late in child development: only half of 8-year-old children can do so (Beck et al., 2011). Furthermore, this ability is subject to an age effect up to 16-17 years of age. While children aged 4 years are not able to generate a new solution themselves, they are nonetheless readily able to select a suitable pre-made tool (for instance a hooked rod versus a straight rod), thus indicating adequate analysis of the possible use for such tools. In addition, a prior exploration phase of the tool’s physical properties (e.g., softness, stiffness and bendability) does not lead to an improvement in the ability to innovate (Beck et al., 2011; Gardiner et al., 2012). On the other hand, following a demonstration by the investigator of how to make a functional tool (i.e., demonstrated how to bend a rod into a hook), the children can generally reproduce and use tools from age 3 onwards, thereby revealing that they have sufficient dexterity to solve the problem (Chappell et al., 2013). Thus, the dexterity is sufficient from age 3, and the selection of a functional tool seems to occur in children from age 4, for solving a problem involving tool making (Beck et al., 2014). So, it is not likely that these factors explain a development of tool innovation abilities up to 16-17 years of age. In addition, among the children who can achieve the task, it appears that tool innovation is not the result of learning by trial and error, since they are able to make it first-off or after a single unfruitful attempt (Cutting et al., 2011).

1.2 Underlying processes of tool innovation in children

The previously presented results also revealed different developmental timetables according to the experimental conditions that were considered: tool manufacturing (i.e., making a functional tool following a demonstration, from age 3 onwards) versus tool innovation (i.e., spontaneously making a functional tool, from age 5 onwards), suggesting involvement of distinct cognitive processes. Limited consideration has been given, however, to the “innovative” nature of the proposed apparatus due to the single solution expected by the investigator: alteration of the available tool with which the children act on the unknown entities (i.e., the Hook task can only be solved if the child manufactures a hook). Gardiner et al. (2012) also reported better abilities among young children (3 years of age) *to select* a pre-made functional tool than *to use it* to solve a mechanical problem (e.g., extraction of a small stuffed animal from a transparent box). Unlike the work of Beck and collaborators, in this study no prior transformation of the material was necessary to solve the problem. This dissociation is interpreted as a failure to adequately relate the selected tool with the apparatus, while affordances of the tool should be adequately apparent, thereby allowing its selection (Gardiner et al., 2012).

Thus, the question of specificity of the underlying cognitive processes engaged in these tool innovation tests remains unanswered. Does the alteration of the material to innovate a new tool (as in the Hook task) imply the same cognitive abilities as those engaged in relationships between a pre-made tool with an apparatus (like in Gardiner’s study)? To answer this question, it would be relevant to compare the developmental curves characterizing the performances achieved with familiar tool use as well as with various types of mechanical apparatus (for which some require alteration of the material) by the same sample of children.

1.3 Contributions of studies in adults

Neuropsychological studies in adults can also shed light on the understanding of tool innovation in children, notably because similar experimental devices are commonly employed to

assess tool use skills in patients with apraxia. Specifically, several studies have shown in left brain-damaged patients a strong association between conventional tool use (in a prototypical or unusual manner) and mechanical problem solving (Goldenberg and Hagmann, 1998; Osiurak et al., 2009; for review see Osiurak and Badets, 2016; Reynaud et al., 2016). This has led to the formulation of the hypothesis that technical reasoning is involved in any tool use, whether conventional or new/unusual (Le Gall, 1998; Osiurak, 2014; Osiurak et al., 2010). This cognitive process refers to the capacity to adapt the purpose of an apparatus (e.g., to punch holes) and the underlying technical process (e.g., one item less dense than the other, such as paper sheet/staple). The means and ends are abstract and relative principles, because they do not correspond with the physical reality. Rather they are reconstructed *de novo* according to each form of use. The same material (e.g., wood) can provide distinct technical properties (e.g., resilience, opaqueness, flammability) according to the intended purpose. The same technical property (e.g., resilience) can also be presented by different materials (e.g., glass, metal, plastic). In this context, Jarry et al. (2013) assumed that the inability to use tools could reflect difficulties regarding differentiating and relating relevant technical means (e.g., dense, permeable, resilient, etc.), for a given outcome (e.g. cutting, etching, etc.). For example, “the lead of a pencil is brittle when applied to paper, but not to leather” (p. 2323).

It has also been established that knowledge of prototypical tool use (semantic memory) is involved in tool use, particularly for adaptation to social uses (e.g. to use scissors “like everyone else”; Vaesen, 2012; see also Defeyter and German, 2003 for the concept of “functional fixedness” in children). Yet, while this functional knowledge might be useful for conventional tools use (i.e., for which prior use has occurred), it is not necessary for intrinsic use and does not suffice to account for everyday uses, which generally require uncommon procedures and the use of non-familiar tools (see also Vaesen, 2012). Baumard et al. (2014) pointed out that apraxic patients exhibiting impairments of technical reasoning (e.g. on a sequential mechanical problem solving test) systematically have pronounced difficulties using tools in a conventional way. Although this

conclusion was drawn from adults, it stresses that the cognitive processes involved in solving mechanical problems, also participate in effective use of tools in other contexts.

1.4 Overview of the present study

The aim of our study was to explore the developmental link between **real** tool use and mechanical problem solving skills in healthy children. As suggested, children could be able to use tools in a conventional way before developing considerable mechanical problem solving skills. This is partly inconsistent with the neuropsychological literature, which mentions a strong link between these two aspects. Three different apparatus were used for the assessment of mechanical problem solving skills, because the success rates in children for these tasks can differ according to the transparency mechanical relationships and the required degree of tool manipulation (Gardiner et al., 2012). So, at a theoretical level, it appears fundamental to understand how the different forms of tool use skills evolve with age. From a clinical perspective, this is also a fundamental question, since impairment of tool use is frequently described in various etiological contexts with children, such as developmental coordination disorders, cerebral palsy, premature birth, autism (Geldof et al., 2016; O'Hare, Gorzkowska and Elton, 1999; Wunsch et al., 2013). Yet the cognitive processes that underlie these impairments are rarely analyzed, due to a lack of available assessment tests in particular. Besides, children were also assessed on a task assessing functional knowledge, notably because it has been suggested that this knowledge could be the support for familiar tool use (Vaesen, 2012). Our study focused on children aged from 6 to 14 years, a period in which significant age effects on tool innovation have been noted in previous research, with the emergence of alternative problem-solving strategies from the age of 8 years old (Beck et al., 2011). To our knowledge, no study has investigated normal childhood developmental curves up to the age of 14 for these tests.

2. METHOD

2.1 Participants

Following formal approval of the study protocol by the School Inspection Services, a volunteer cohort of 85 children aged 6 up to and including 14 years of age was recruited between January 2014 and June 2015 from the French school system (from first grade to third grade). Once permission was obtained from the school principal and the teachers, all of the children in the class were given the option to participate in the study, provided that the children did not exhibit any of the exclusion criteria: sensory impairments (visual or auditory), their proficiency with the French language was insufficient to allow them to perform the tests, neurodevelopmental or psychiatric pathologies, suspected or proven learning disorders, premature birth (prior to 37 weeks of gestation), or lack of parental consent. The total sample (mean age of 10 years and 3 months, SD: 2 years and 5 months) was divided into six experimental groups according to their ages: 6-7 year olds, 8 year olds, 9 year olds, 10 year olds, 11-12 year olds, and 13-14 year olds.

2.2 Materials

The assessment of effective tool use (conventional or new) was performed using tests developed for a population of adults with cerebral lesions (Jarry et al., 2013; Lesourd et al., 2015), adapted in the present study for use with children.

Real Tool Use (RTU). For this tool use test, the apparatus was comprised of 11 familiar tools displayed simultaneously on a vertical board (see Figure 1). The corresponding objects with which the tools could be used were arranged one by one on a table between the child and the vertical board. Each child was asked to select the tool corresponding with the object presented, and to perform the usual action carried out with the displayed tools and objects. The pair jug/glass was used as a practice item (i.e. assistance with the selection and performance of the action, if necessary) during which the examiner stressed to the children that they needed to fully perform the actions. Performance was video-taped, and one point was awarded if the child exhibited correct use

of the object with the appropriate tool within the time limit (i.e. 1 minute for each item). No point was awarded if the action was not successfully carried out, according to efficiency criteria defined beforehand (e.g. the position of the dead bolt changed due to the action of the key in the lock, the pencil was sharpened by the pencil sharpener and wood shavings were generated). The maximum possible score was 10 points.

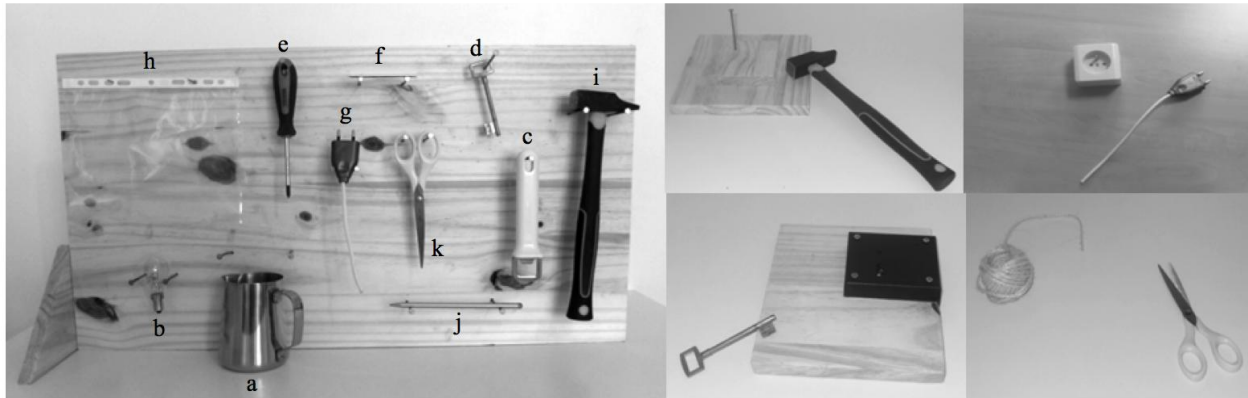


Figure 1. The Real Tool Use test.

Notes. The left picture represents the vertical “tool panel” used for the presentation of the tools (a = jug, b = light bulb, c = bottle cap opener, d = key, e = screwdriver, f = piece of chalk, g = electrical plug, h = plastic sleeve, i = hammer, j = lead pencil, k = scissors). The right picture show examples of tools and the corresponding objects upon which they can be used (i. e., glass, desk lamp, capped glass bottle, lock on a wooden board, screw in a wooden board, slate, electrical socket, ringbinder, nail in a wooden board, pencil sharpener, coil of hemp yarn, respectively).

Mechanical Problem-Solving (MPS). For this test, we used three different transparent plastic apparatus, as Lesourd et al. (2015), albeit with multiple choices. The aim of this test was to extract a little red wooden cube or bead (i.e., the targets), which were lodged inside each of the boxes. For each apparatus, the Chimney task (Figure 2b), the Hook task (Figure 2c), and the Sloping task (Figure 2d) required different actions in order to solve the problem (for more details see Lesourd et al., 2015). To do so, the children were provided with the following materials (Figure 1a): four 25 cm rods (one was made of wood and the others were either aluminum, copper, or tin) and four 7 cm rods (made of the same physical material). The rods were displayed simultaneously in a row on a table to the right of the subjects. The rods hence had various physical properties, e.g., half were long (i.e., rods A, C, E, and G, as shown in Figure 1a) and half were short (i.e., rods B, D, F, and H), half were rigid (i.e., rods A, B, C, and D) and half were flexible (i.e., rods E, F, G, and H).

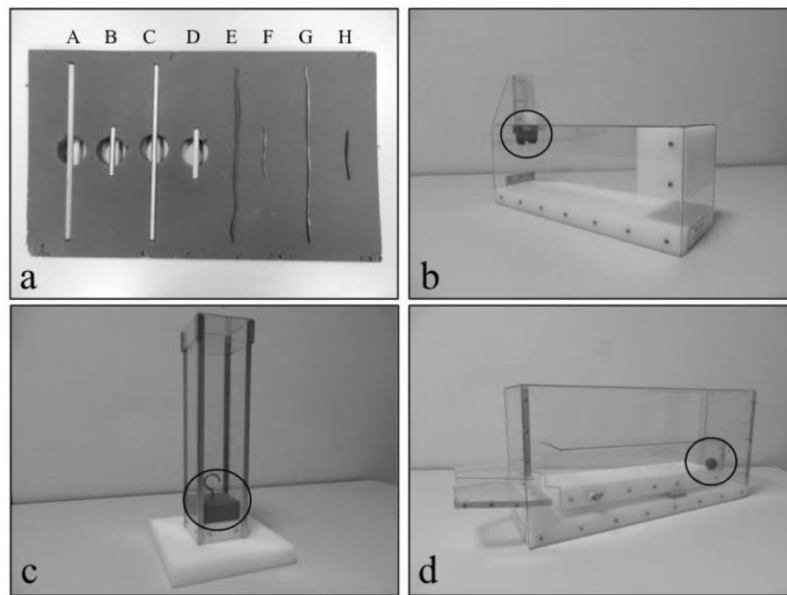


Figure 2. Apparatus and rods used in the Mechanical Problem Solving tasks.

Notes. The black circles denote the wooden targets that the children had to extract from the boxes (derived from Lesourd et al., 2015).

The participants could perform this test using one or both hands, but the problem could not be solved by directly inserting a hand into the box, by shaking or other physical handling, by trial and error, or by choosing the rods at random. A sequence comprised of two actions was necessary to solve the problem. Children could use several rods to extract the target (i.e., combining several rods or alternating different rods according to the target's movement in the box), but only two rods were relevant and necessary to solve each problem (see Lesourd et al., 2015 for more details). Before the test, a sample test was performed (i.e. assistance with performing the action, if necessary) so as to ensure that the children had identified the target that needed to be extracted and had adequately understood the aim of the test. The test item consisted of a red wooden bead that needed to be extracted from a rectangular and horizontal tube by pushing it with a wooden rod. The only instruction that was given with the example was: “using the items at your disposal, show me how to recover the target that is lodged in this box. You may turn the box but do not lift it up.” No feedback was given but children were given neutral prompts if required: “keep going, there is a solution.” Performance was video-taped, and the time limit was 3 minutes for each item. Two variables were collected for this test: a qualitative score in terms of success/failure (“Beck’s rating”)

and a quantitatively accurate score based on a 4-point scale (see Table 1), which was quite similar to the one used by Jarry et al. (2013). The maximum score was 3 points for each apparatus.

Table 1. Accuracy-based scoring system used for Mechanical Problem Solving tasks

	3 points	2 points	1 point	0 point
The Chimney task		The target had fallen down but was not extracted from the box	The child touched the target with a rod but without causing it to fall down	
The Hook task	The target was extracted from the box within the time limit, independently of the rod that was used	The target was fully taken off the base but it was not extracted from the box	The child touched the target with a rod but the target was never completely taken off the base	The children touched the box but never the target
The Sloping task		The target was wedged near the opening due to the action of a rod but it was not extracted from the box	The child touched the outer part of the bottom of the seesaw with a rod introduced into the round opening but they did not activate the seesaw	

Functional Knowledge (FK). Four images with different single familiar tools were displayed below the picture of a tool target (target stimuli were the same as those used in the RTU test). The children were asked to choose one of the four response options as the best match for the target, by pointing to it. The test was preceded by one practice trial (with a jug) for which feedback regarding the correctness was given. The target and the correct response were functionally equivalent (e.g. electrical plug and candle). A score of 1 point was awarded if the correct response was given within 20 sec, equating with a total possible score of 10 points.

2.3 Procedure

When possible, children were tested at their school (in a quiet room), or at home (in an isolated room, without the parents being present). The tests were systematically administered in a specific ordered manner for each participant: RTU test first, then MPS tasks and finally FK test. This work was included in a broader study regarding gestural development and tool use in children.

An anamnestic questionnaire completed by the parents allowed for confirmation prior to the assessment that the criteria for inclusion/exclusion in the study were adhered to. An informed consent form (authorizing the video recordings) was signed by a legal representative for each child, specifying their freedom to withdraw from the study without any prejudice. The rationale and design of the study were detailed in an information pamphlet. The research was conducted in accordance with the University guidelines and the ethical standards established by the Helsinki Declaration.

2.4 Data analysis

Preliminary statistical analyses were conducted with variance analysis (ANOVAs, Bonferroni *post hoc*) and the Chi-Square test was used to examine the equivalence of the age groups in terms of gender, the parents' level of education, and laterality. The inspection of MPS, RTU, and FK score distributions revealed that none of them met the conditions for application of parametric tests: non-normal distribution of raw scores (Kolmogorov-Smirnov one-sample test) and non-homogeneity of variances (Levene's test). Consequently, Kruskal-Wallis ANOVAs were used to examine the effect of the main factor, namely age (6 attributes: 6-7 years of age, 8 years of age, 9 years of age, 10 years of age, 11-12 years of age, 13-14 years of age), on MPS performances (3 apparatus raw scores), RTU and FK results. Post-hoc contrasts were computed with Mann-Whitney tests. Friedman ANOVAs were used to examine the effect of the apparatus (different types of boxes) according to age, with Wilcoxon signed-rank tests used for within-group comparisons according to age. Spearman rank correlations were used to study relationships between Age, RTU, MPS, and FK on the whole group ($n = 85$). However, to better examine the influence of MPS and FK on RTU, we used a generalized linear mixed model (GLMM; Burnham et al., 2011), which included MPS and FK as fixed factors, and Age as a random factor. This analysis was conducted on the whole group ($n = 85$). For this analysis, RTU scores were converted into binomial scores (10: Success; <10: Failure). Akaike's Information Criterion value corrected for small sample size (AICc)

was calculated for the GLMM. Models were ranked in relation to each other using $\Delta AICc$ values ($\Delta_i = AICc(i) - AICc(\min)$). Akaike weights were computed (ω_i) to assess the likelihood of the model relative to the other models considered. All models were averaged to calculate predictor estimates and standard errors using full-model averaging method (Burnham et al., 2011). The GLMM analyses and the model-averaged coefficients were respectively computed using the lme4 and MuMIn packages in R 3.1.3. For all analyses, the alpha threshold was fixed at $p < .05$. The effect sizes were calculated with *Cohen's d*, considering the effect as being large from 0.8 and as being medium from 0.5 (Cohen, 1988).

3. RESULTS

3.1 Sample characteristics

Sociodemographic characteristics of the sample are presented in Table 2. The age groups were comparable in terms of laterality, according to the Edinburgh Handedness Inventory (Oldfield, 1971; with values between +100 for extreme right hand preference and -100), $F(5, 79) = 0.502$, *NS*, and sex ratios, $\chi^2(6) = 6.191$, *NS*, although there was a significant difference in terms of the parental level of education, $F(5, 79) = 3.766$, $p < .01$.

Table 2. General data related to the different age groups of the sample.

	6-7 years (n = 17)	8 years (n = 12)	9 years (n = 10)	10 years (n = 15)	11-12 years (n = 16)	13-14 years (n = 15)
Age (months)	84.94 (6.92)	101.67 (2.49)	110.80 (3.66)	126.07 (3.60)	145.31 (8.22)	167.13 (4.56)
Girls/boys (n)	8/9	8/4	8/2	10/5	8/8	7/8
Edinburgh (quotient of laterality)	81.18 (41.00)	65.00 (54.70)	71.50 (28.46) ^a	82.67 (46.69) ^a	60.63 (53.67) ^a	64.67 (60.54)
PEL (in years)	15.21 (2.88)	16.00 (3.87)	14.15 (2.75)	12.43 (2.04)	12.34 (2.30)	13.10 (3.02)

Notes. All scores correspond to mean scores (with standard deviations in parentheses). PEL = Parental Education Level (mean for both parents). ^a for one child the PEL was calculated based on the level of education for only one of their parents.

Bonferroni's *post hoc* test showed that the parental education level was significantly higher for the 8 year old children than for the 10 and 11-12 years old children. However, no significant correlation was found between the parental education level and scores for the MPS (all $r < -.10$, *NS*), RTU ($r = .03$, *NS*), or the FK ($r = -.10$, *NS*) test. We hence did not take this variable into account for the statistical analyses. Similarly, gender had no effect on the children's performances on the MPS, RTU, and FK tests (Mann-Whitney tests, data not shown). Thus, data from boys and girls were combined for further analyses.

3.2 Age effect

An effect of age was observed on the RTU test, $H(5, 85) = 14.618$, $p = .01$. Post hoc tests were computed and showed that only the youngest children performed worse than children aged 8, 11-12, and 13-14 years of age, with large effect sizes (*Cohen's d* between 0.87 and 1.30). Furthermore, the successful scores increased with age for the FK, although only a tendency toward significance ($p = .054$) was found between the age groups. These results are illustrated by the developmental curves shown in Figure 3.

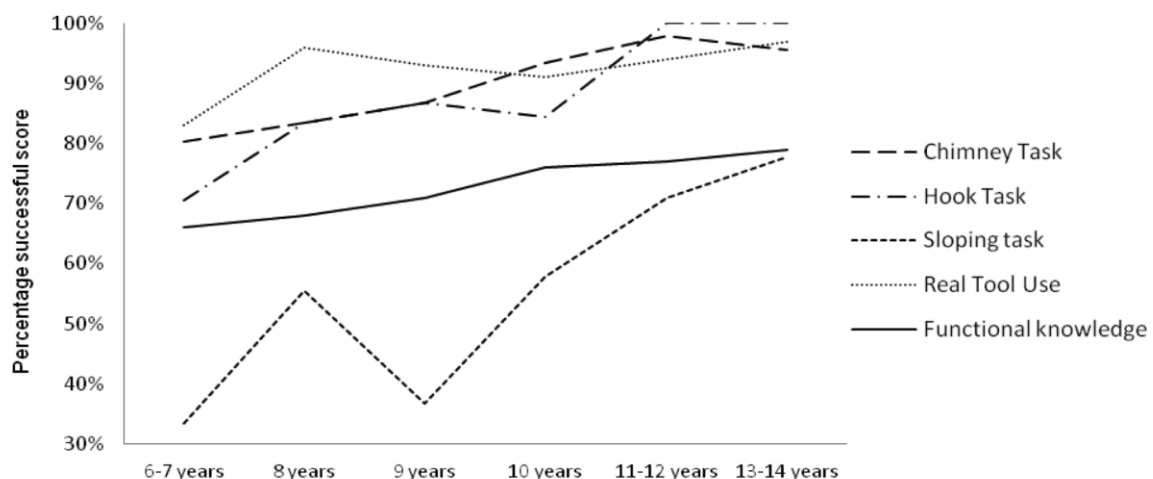


Figure 3. Developmental course of MPS, RTU and FK tests ($n = 85$).

Notes. Percentage successful score accuracy-based scoring system for the three MPS tasks.

We compared the qualitative performances (“Beck’s rating”) for the various age groups with the 3 apparatus for the MPS task using Chi-Square tests. There was a trend for the performance on the Chimney task to improve with age (only 59% of children succeeded at 6-7 years of age, while 94% succeeded at 11-12 years of age), although only 2 significant differences emerged (see Figure 4): more of the 11-12 year-old children succeed than the 6-7 and the 8 year olds ($\chi^2 = 5.470$, $p = .02$; $\chi^2 = 5.110$, $p = .02$, respectively). A greater progression was found with the Hook task: the 11-12 and the 13-14 year-old children were better than the younger 6-7, 8 and 10 year-old (all p s < .03). Likewise, on the Sloping task, the 10 to 14 year olds were better than the 6-7 and 9 year olds (all p s < .03). The number of children who succeeded at this task was also significantly higher among the 13-14 year-old relative to the group of 8 year olds ($\chi^2 = 6.240$, $p = .01$).

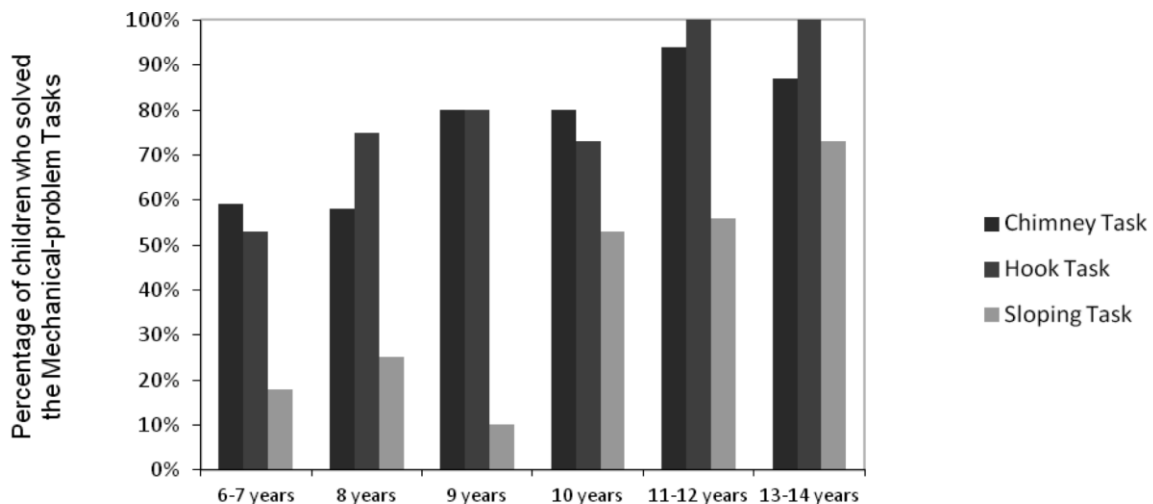


Figure 4. Dichotomous scores of children according to age for the MPS tasks (Beck’s rating).

Results for the accuracy-based scoring system in the MPS tasks (4-point scale) are presented in Table 3. Kruskal-Wallis ANOVAs revealed a main effect of age on two of the three apparatus for the MPS test: the Hook task, $H(5, 85) = 15.683$, $p < .01$, and the Sloping task, $H(5, 85) = 14.583$, $p < .05$. There was no effect of age on the quantitative scores for the Chimney task, $H(5, 85) = 9.066$, NS . For the Hook task, the post hoc analyses showed that the maximal successful performance was reached from 11 years of age onwards, which is significantly distinct from the

performances of the 6-7, 8, and 10-year-old, with large effect sizes (*Cohen's d* between 0.79 and 1.16). For the Sloping task, comparisons between age groups indicate that the 6-7 and the 9 year olds children performed worse than children aged 11-12 and 13-14 (*Cohen's d* between 1.05 and 1.22). Additionally, the youngest children (6-7 year-old) performed worse than children aged 8 years on this apparatus, with a medium effect size ($d = 0.70$).

Table 3. Mechanical problem solving, Real tool use, and Functional knowledge accuracy-based scores system according to the age group

	Chimney task	Hook task	Sloping task	Real Tool Use	Functional Knowledge
6-7 years (G1, n = 17)	2.4 (0.9)	2.1 (1.1)	1.0 (1.1)	8.3 (1.4)	6.6 (1.2)
8 years (G2, n = 12)	2.5 (0.7)	2.5 (0.9)	1.7 (0.9)	9.6 (0.7)	6.8 (1.7)
9 years (G3, n = 10)	2.6 (1.0)	2.6 (0.8)	1.1 (0.7)	9.3 (0.9)	7.1 (1.1)
10 years (G4, n = 15)	2.8 (0.4)	2.5 (0.9)	1.7 (1.4)	9.1 (0.8)	7.6 (1.4)
11-12 years (G5, n = 16)	2.9 (0.3)	3.0 (0.0)	2.1 (1.0)	9.4 (1.1)	7.7 (1.3)
13-14 years (G6, n = 15)	2.9 (0.4)	3.0 (0.0)	2.3 (1.2)	9.7 (0.6)	7.9 (1.1)
<i>Main effect (H, Kruskal-Wallis)</i>	9.066	15.683**	14.583*	14.618*	10.882
<i>Groups comparison (U, Mann-Whitney)</i>	--	G1 < G5**, G6** (d = 1.16) G2 < G5*, G6* (d = 0.79)	G1 < G2*, G5**, G6** (d = 0.70) (d = 1.05) (d = 1.13)	G1 < G2**, G5*, G6** (d = 1.17) (d = 0.87) (d = 1.30)	--
<i>with Effect size (Cohen's d)</i>		G4 < G5*, G6* (d = 0.79)	G3 < G5*, G6* (d = 1.16) (d = 1.22)		

Notes. All scores correspond to mean scores (with standard deviations in parentheses). G1 = Group 1; G2 = Group 2; G3 = Group 3; G4 = Group 4; G5 = Group 5; G6 = Group 6.

* $p < .05$; ** $p < .01$; *** $p < .001$. The effect sizes were calculated with Cohen's *d*, considering the effect as large from 0.8 and as medium from 0.5

3.3 Relationships between RTU, MPS, and FK

The correlations between scores for the MPS, FK, and RTU tests are presented in Table 4.

Table 4. Correlations according to whole sample ($n = 85$) between Real tool use, Mechanical problem-solving and Functional Knowledge

	Age	Real Tool Use	Mechanical Problem Solving
Real Tool Use	.30**		
Mechanical Problem Solving	.52***	.21*	
Functional Knowledge	.39***	.05	.14

Notes. Spearman correlation coefficients. * $p < .05$; ** $p < .01$; *** $p < .001$

When the different age groups were pooled together (i.e., $n = 85$), three significant correlations were seen between age and RTU/MPS/FK (all $ps < .01$). In addition, a significant correlation was also seen between RTU and MPS ($r = .21$; $p = .049$). Nonetheless, no significant correlation was found between scores for RTU and FK, or between MPS and FK.

As mentioned, the influence of the predictors MPS and FK on RTU was tested using a generalized linear mixed model (GLMM) with Age as a random factor. There were three top candidate models with $\Delta i < 2$ (see Table 5), the best one being the MPS only model. We also computed model-averaged estimators based on AICc. The only statistically significant predictor of RTU is MPS (Importance weight: 0.65; Estimate \pm Standard Error: 0.27 \pm 0.08). This variable was significant at the 95% confidence level (the interval did not contain the 0 value).

Table 5: Influence of MPS and FK on RTU (GLMM analysis)

Models	k	AICc	Δ_j	ω_j
<i>MPS</i>	3	118.67	0.00	0.47
<i>Intercept</i>	2	119.86	1.19	0.26
<i>MPS+FK</i>	4	120.64	1.97	0.18
FK	3	121.93	3.27	0.09

Notes. k = number of parameters in the model; AICc = Akaike's Information Criterion corrected; $\Delta_j = \text{AIC}_{c(i)} - \text{AIC}_{c(\min)}$; ω_j = Akaike weights explaining total variance. Models with $\Delta_j < 2$ are in italics.

3.4 Apparatus effect on Mechanical problem solving

Friedman ANOVAs revealed an effect of the apparatus on the MPS tasks at 6-7 years of age ($\chi^2 = 16.511, p < .001$), 9 years of age ($\chi^2 = 10.571, p < .01$), 11-12 years of age ($\chi^2 = 10.750, p < .01$) and 13-14 years of age ($\chi^2 = 7.429, p < .05$). A significant trend was only seen at 8 years of age ($\chi^2 = 5.892, p = .05$), and there were no significant differences between the 3 apparatus at 10 years of age ($\chi^2 = 2.722, p = \text{NS}$).

Post hoc intra-group age comparisons showed that the Sloping task was accomplished significantly worse than the two apparatus of the MPS test by 6-7-year-old than 11-12-year-old (p -values $< .05$). For the oldest children (13-14 years of age), the scores for the Sloping task were not significantly different from the other apparatus ($p = .07$). By contrast, the successful performances with the other two apparatus (Chimney task and Hook task) were equivalent for the six age groups.

4. DISCUSSION

The aim of the present study was to explore the typical development of real tool use and its relationship with mechanical problem solving in a sample of school-age children. The novelty of this work lies in the use of a new experimental test to evaluate Real Tool Use (RTU) in everyday-

life, associated in the use of three different Mechanical Problem Solving (MPS) tasks (Chimney, Hook, and Sloping tasks). In addition, functional knowledge was also assessed, with strictly matched items (the same tools were used in the two tasks).

The main finding is a significant developmental progression of scores in children between 6 and 14 years on the RTU test and on the MPS tasks with two apparatus, namely the Hook task and the Sloping task. However, we found only a weak improvement with age for the Functional Knowledge (FK) test. Interestingly, MPS appears to be a better predictor of RTU task than functional knowledge. Finally, we found no association between the RTU test and FK.

4.1 Underlying cognitive processes involved in the development of real tool use

We found a significant link between the age of children and the three types of tests proposed in this study: RTU, MPS, and FK. The analysis of relationships between these different forms of tool use abilities revealed in healthy children an interesting and novel involvement of MPS skills in conventional tool use development. More particularly, GLMM analyses revealed that MPS was a good predictor of RTU even when age is included as a random factor. In broad terms, a link between mechanical problem-solving and real tool use exists between 6 and 14 years of age. This link supports the hypothesis that the analysis of technical apparatus properties contributes to the development of real tool use, independently of age and functional knowledge. Along these lines, Gergely and Csibra (2003; and more recently Hernik and Csibra, 2015) developed the notion of a teleological interpretation system (“teleological stance”) that allows children from age one onwards to observe actions and to conjure inferences linking these actions in terms of means and ends as a function of situational constraints. In addition, Hernik and Csibra (2009) point out that an object is always made for something, even if not used. The behavior of even very young children shows this search for an object-function association, providing knowledge on the use and function of objects and allowing the child to learn by observing others.

Regarding the FK test, no developmental effect was found, and the GLMM analysis revealed that FK does not predict RTU. Overall, these results indicate that children possess the majority of functional knowledge on these tools from 6 years of age onwards. In our study, this knowledge does not contribute to the typical development of the abilities for effective use of these same tools between 6 and 14 years of age. This supports the hypothesis that functional knowledge is not necessary for and evolves in parallel to real tool use in everyday life. The lack of association between the RTU and FK tests puts the nature of the knowledge examined in question. As a matter of fact, those semantic knowledges allow the selection of the tool that is typically used with a given object. On the other hand, it is unlikely that functional knowledge allows for effective and efficient use of the tool in question. More particularly, functional knowledge can be used to select a *bottle opener* as the tool usually used to remove the cap from a glass bottle. Nonetheless, this knowledge does not provide the information required to use the tool efficiently (i.e., which part of the tool must be applied to the bottle, what action must be undertaken: lifting, rubbing, turning, etc.). In other words, semantic functional knowledge might not be critical for effective use but could facilitate the process to a certain extent (see Bozeat et al., 2002; Hodges et al., 2000). Specific knowledge regarding “use” could be reflected in the “mechanical” properties of the tools (i.e., the way of learning about the tools and the relationship with their abstract physical properties like rigidity, flexibility, etc.).

4.2 Age effect on mechanical problem solving depends on the type of experimental apparatus

Our results reveal an effect of age on the performance of the MPS task, particularly for two out of the three apparatus (Sloping and Chimney apparatus) irrespective of the rating method used (i.e., Beck’s rating system or the accuracy-based scoring system created for our study) in agreement with previous study (Beck et al., 2011; Cutting et al., 2011). For the Hook task, our findings show a ceiling effect from 11 years of age onwards instead of 16-17 years of age, which could indicate earlier maturity of the underlying processes than in the data of Beck et al. (2011). Several

methodological variations could explain these differences (e.g., the time limit, the number of tools). The progression appeared more linear for the Sloping task, with medium to large effect sizes. Performance appeared equivalent between children of 6-7 years of age and 9 years of age (score of 1.1 points out of 3), and an extended improvement of the scores up to 14 years of age was seen (2.3 points, on average, out of 3). By contrast, no significant developmental effect is observed on the Chimney task for the age groups between 6 and 14 years of age. So, the type of experimental apparatus modifies age effects on mechanical problem solving: mature performance at 6 years of age for the Chimney task, at 11 years of age for the Hook task, or under development at 14 years of age for the Sloping task. Moreover, the details of the accuracy-based scoring system on the Hook task show that from 6 years of age, children get a mean score of 2.1 points out of 3. These results indicate that those who failed to extract the target from the box in the allocated time (47 % of the children) were nonetheless able to raise the target off the bottom of the tube. So the analysis of the technical properties of the apparatus already seems to be taking place at the cognitive level. For instance, use of a sufficiently long tool allows contact and action on the target at the bottom of the box (see Figure 1a and 1c). The hypothesis of an early engagement of technical reasoning from age of 6 onwards that allows mechanical problems to be solved, nevertheless raises the issue of the cognitive processes explaining the improvement of scores after this age in the MPS tasks.

The two apparatus showing age effects in our sample revealed differential growth curves. In fact, the intra-group analyses revealed a significant effect of the type of apparatus between 6 and 14 years of age. The Sloping task is the only apparatus with considerably less success than the other two up to 11-12 years of age, after which the gap tended to narrow with the older children (13-14 years of age). A partial variation of the scores for solving mechanical problems was hence seen, depending on the different relationships of means-end reciprocity engaged as a function of age: directly reach and move the target for the Chimney task, create a new tool for the Hook task, and carefully explore the apparatus to find the seesaw for the Sloping task. So this partial effect of apparatus that do not share the same technical principles suggests that technical analysis is done in

the here and now. This is consistent with the results of Beck et al. (2014), who reported no transfer of knowledge for the Hook task with different means and materials. Another explanation could be that there is an effect of complexity between the different mechanical problems used, since performance in the Sloping task is clearly inferior to that obtained in the other apparatus, whatever the age group. Such an effect of complexity has already been seen among healthy children of pre-school age in the setting of mechanical problem solving. Thus, Gardiner et al. (2012) revealed a significant difference between the success rates with three types of mechanical problems according to the transparency mechanical relationships between objects present in the apparatus and the degree of tool manipulation required to extract the target from the box. Unlike other apparatus, the Sloping task in our study requires finding the mobile compartment enclosed within the box, so the affordances of this task were partially hidden. The low scores observed in the Sloping task probably reflect the children's difficulty to readily separate the observable properties of the material so as to discover access to the seesaw located at the back of the box (see Figure 2d). So, this particular apparatus could be more subject than the others to the ability to block non-pertinent strategies; namely, to switch and approach the problem from another point of view, and to plan the successive stages required to solve the problem; or, in other words, through use of executive functioning. Given that cognitive processes are also in full development but still relatively immature at the ages covered in our study (Roy, 2015), their contribution could prove to be effective only in older children. This could potentially explain the narrowing of the significant gap between the scores for the Sloping task and the two other mechanical problems with increasing age.

Further research is needed to highlight the nature of the strategies used by children to solve the MPS task. A first step in this direction was through our study with an accuracy-based scoring system, but qualitative analyses based on the *tool selection* (number of relevant and irrelevant tools grasped; see Lesourd et al., 2015) versus *their application* are also required. Such measurements would allow for examination of the capacity of children to recognize the technical means suitable for performing the task (rigid, flexible, sufficiently long, etc.) and not only the adequate form of a

performed tool. The time spent engaged in various actions could also be studied (no handling, tool handling, box handling, tool-box manipulation; see Osiurak et al., 2013) so as to distinguish behaviors exploring the boxes or the tools as separate from genuine attempts at relating to the purpose of the apparatus (extracting the target) through the technical application of the tools. Other studies are also required to explore possible links between mechanical problem solving and executive functioning in healthy children. While previous works have already raised this issue (Chappell et al., 2013), to our knowledge, no prior study has employed executive tests to address this hypothesis.

5. CONCLUSION

To conclude, this study is original in examining the typical development of real tool use and its relationships with mechanical problem solving. We found an effect of age between 6 and 14 years on the RTU test and on the MPS tasks with only two apparatus. Our findings also provide evidence for the existence of relationships between the real use of tools and mechanical problem solving, and the joint development of these skills in children. On the other hand, no developmental effect was found for functional knowledge test in relation to these tools. Thus, the absence of a relationship with conventional tool use suggests that RTU and FK could evolve in parallel without a strong connection. Furthermore, our results suggest that the underlying processes of technical reasoning (specifying the relationships between various environmental components) are partially operative from the age of 6 onwards, even though the outcome of their use varies according to the context in which they are applied. Lastly, while the theoretical framework used in this study is based on work developed using adults, it offers interesting perspectives in regard to understanding the development of abilities of tool use in various contexts in children. The relationships between real tool use and mechanical problem solving remain to be explored in the context of pediatric pathologies, thus potentially allowing the underlying cognitive processes to be dissociated. Studies

of children with Developmental Coordination Disorder (DCD) would be particularly relevant, as they experience difficulties with the use of tools in everyday life.

ACKNOWLEDGMENTS

The authors thank the School Inspectorate, school principals, and teachers of the participating schools who helped us with the recruitment process, as well as the children and their parents who participated in this study. They also wish to thank Clémence Coiffard and Marguerite Etchenda for assistance with data collection. A special thank to Josselin Baumard for his useful and constructive comments regarding preparation of the manuscript.

DECLARATION OF CONFLICT OF INTERESTS

The authors declare no potential conflicts of interest with respect to the research, authorship, and/or publication of this article.

FUNDING

This study was supported by grants from the Région Pays de la Loire (Project “Outils et Vie Quotidienne/Tool use and Daily Life Activities” OVQ; OVQ-2012-09689) and from ANR (Agence Nationale pour la Recherche; Project “Cognition et économie liée à l’outil/Cognition and tool-use economy” ECOTOOL; ANR-14-CE30-0015-01), and was performed within the framework of the LABEX CORTEX (ANR-11-LABX-0042) of Université de Lyon, within the program “Investissements d’Avenir” (ANR-11-IDEX-0007) operated by the French National Research Agency (ANR).

REFERENCES

- Baumard, J., Osiurak, F., Lesourd, M., and Le Gall, D. (2014). Tool use disorders after left brain damage. *Front. Psychol.* 5, 1–12. doi:10.3389/fpsyg.2014.00473
- Beck, S. R., Apperly, I. A., Chappell, J., Guthrie, C., and Cutting, N. (2011). Making tools isn't child's play. *Cognition* 119, 301–306. doi: 10.1016/j.cognition.2011.01.003
- Beck, S. R., Chappell, J., Apperly, I. A., and Cutting, N. (2012). Tool innovation may be a critical limiting step for the establishment of a rich tool-using culture: A perspective from child development. Commentary on a target article by K. Vaesen, The cognitive basis of human tool use. *Behav. Brain Sci.* 35, 203–262. doi: 10.1017/S0140525X11001877
- Beck, S. R., Cutting, N., Apperly, I. A., Demery, Z., Iliffe, L., Rishi, S., et al. (2014). Is tool-making knowledge robust over time and across problems? *Front. Psychol.* 5, 1–10. doi: 10.3389/fpsyg.2014.01395
- Bozeat, S., Lambon Ralph, M. A., Patterson, K., and Hodges, J. R. (2002). When objects lose their meaning: what happens to their use? *Cogn. Affect. Behav. Neurosci.* 2, 236–251. doi: 10.3758/CABN.2.3.236
- Burnham, K. P., Anderson, D. R., and Huyvaert, K. P. (2011). AIC model selection and multimodel inference in behavioural ecology: Some background, observations and comparisons. *Behav. Ecol. Sociobiol.* 65, 23–35. doi: 10.1007/s00265-010-1029-6
- Chappell, J., Cutting, N., Apperly, I. A., and Beck, S. R. (2013). The development of tool manufacture in humans: what helps young children make innovative tools? *Philos. Trans. R. Soc. B* 368, 1–10. doi: 10.1098/rstb.2012.0409
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioural sciences*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Cutting, N., Apperly, I. A., and Beck, S. R. (2011). Why do children lack the flexibility to innovate tools? *J. Exp. Child Psychol.* 109, 497–511. doi: 10.1016/j.jecp.2011.02.012

- Cutting, N., Apperly, I. A., Chappell, J., and Beck, S. R. (2014). The puzzling difficulty of tool innovation: Why can't children piece their knowledge together? *J. Exp. Child Psychol.* 125, 110–117. doi: 10.1016/j.jecp.2013.11.010
- Defeyter, M. A., and German, T.P. (2003). Acquiring an understanding of design: evidence from children's insight problem solving. *Cognition* 89, 133–155. doi: 10.1016/S0010-0277(03)00098-2
- Gardiner, A. K., Bjorklund, D. F., Greif, M. L., and Gray, S. K. (2012). Choosing and using tools: Prior experience and task difficulty influence preschoolers' tool-use strategies. *Cogn. Dev.* 27, 240–254. doi: 10.1016/j.cogdev.2012.05.001
- Geldof, C. J., van Hus, J. W., Jeukens-Visser, M., Nollet, F., Kok, J. H., Oosterlaan, J., et al. (2016). Deficits in vision and visual attention associated with motor performance of very preterm/very low birth weight children. *Res. Dev. Disabil.* 53, 258–266. doi: 10.1016/j.ridd.2016.02.008
- Gergely G., and Csibra G. (2003). Teleological reasoning in infancy: The naive theory of rational action. *Trends Cogn. Sci.* 7, 287–292. doi: 10.1016/S1364-6613(03)00128-1
- Goldenberg, G., and Hagmann, S. (1998). Tool use and mechanical problem-solving in apraxia. *Neuropsychologia* 36, 581–589. doi: 10.1016/S0028-3932(97)00165-6
- Hernik, M., and Csibra, G. (2009). Functional understanding facilitates learning about tools in human children. *Curr Opin Neurobiol* 19, 34-38. doi: 10.1016/j.conb.2009.05.003
- Hernik M., and Csibra G. (2015). Infants learn enduring functions of novel tools from action demonstrations. *J. Exp. Child Psychol.* 130, 176–192. doi: 10.1016/j.jecp.2014.10.004
- Hodges, J. R., Bozeat, S., Lambon Ralph, M. A., Patterson, K., and Spatt, J. (2000). The role of knowledge in object use: evidence from semantic dementia. *Brain* 123, 1913-1925. doi: 10.1093/brain/123.9.1913
- Kahrs, B. A., and Lockman, J. J. (2014). Tool using. *Child Dev. Perspect.* 8, 231–236. doi: 10.1111/cdep.12087

- Jarry, C., Osiurak, F., and Le Gall, D. (2016). Vous avez dit Homo Faber ? *Tétralogiques* 21, 59–86.
- Jarry, C., Osiurak, F., Delafuys, D., Chauviré, V., Etcharry-Bouyx, F., and Le Gall, D. (2013). Apraxia of tool use: More evidence for the technical reasoning hypothesis. *Cortex* 49, 2322–2333. doi: 10.1016/j.cortex.2013.02.011
- Le Gall, D. (1998). *Des apraxies aux atechnies. Propositions pour une ergologie clinique*. Bruxelles: De Boeck Université.
- Lesourd, M., Baumard, J., Jarry, C., Etcharry-Bouyx, F., Belliard, S., Moreaud, O., et al. (2015, November 2). Mechanical problem-solving strategies in Alzheimer’s disease and semantic dementia. *Neuropsychology*. Advance online publication. doi: 10.1037/neu0000241
- Lockman, J. J. (2000). A perception-action perspective on tool use development. *Child Dev.* 71, 137–144. doi: 10.1111/1467-8624.00127
- Nielsen, M., Tomaselli, K., Mushin, I., and Whiten, A. (2014). Exploring tool innovation: A comparison of Western and Bushman children. *J. Exp. Child Psychol.* 126, 384–394. doi: 10.1016/j.jecp.2014.05.008
- O’Hare, A., Gorzkowska, J., and Elton, R. (1999). Development of an instrument to measure manual praxis. *Dev. Med. Child Neurol.* 41, 597–607. doi: 10.1111/j.1469-8749.1999.tb00663.x
- Oldfield, R. C. (1971). The assessment and analysis of handedness: The Edinburgh inventory. *Neuropsychologia* 9, 97–113.
- Osiurak, F. (2014). What neuropsychology tells us about human tool use? The four constraints theory (4CT): Mechanics, space, time, and effort. *Neuropsychol. Rev.* 24, 88-115. doi: 10.1007/s11065-014-9260-y.
- Osiurak, F., and Badets, A. (2016). Tool use and affordance: Manipulation-based versus reasoning-based approaches. *Psychol. Rev.* Advance online publication. doi: 10.1037/rev0000027

- Osiurak, F., De Oliveiria, E., Navarro, J., Lesourd, M., Claidière, N., and Reynaud, E. (2016). Physical intelligence does predict cumulative technological evolution. *J. Exp. Psychol. Gen.* doi: 10.1037/xge0000189
- Osiurak, F., Jarry, C., Allain, P., Aubin, G., Etcharry-Bouyx, F., Richard, I., et al. (2009). Unusual use of objects after unilateral brain damage: The technical reasoning model. *Cortex* 45, 769–783. doi: 10.1016/j.cortex.2008.06.013
- Osiurak, F., Jarry, C., and Le Gall, D. (2010). Grasping the affordances, understanding the reasoning. Toward a dialectical theory of human tool use. *Psychol. Rev.* 117, 517–540. doi: 10.1037/a0019004
- Osiurak, F., Jarry, C., Lesourd, M., Baumard, J., and Le Gall, D. (2013). Mechanical problem-solving strategies in left-brain damaged patients and apraxia of tool use. *Neuropsychologia* 51, 1964–1972. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2013.06.017
- Reynaud, E., Lesourd, M., Navarro, J., and Osiurak, F. (2016). On the neurocognitive origins of human tool use: A critical review of neuroimaging data. *Neurosci. BioBehav. Rev.*, 64, 421–437. doi: 10.1016/j.neubiorev.2016.03.009.
- Roy, A. (2015). Approche neuropsychologique des fonctions exécutives de l'enfant : état des lieux et éléments de prospective. *Rev. Neuropsychol.* 7, 245–256. doi: 10.1684/nrp.2015.0357
- Tennie, C., Call, J., and Tomasello, M. (2009). Ratcheting up the ratchet: on the evolution of cumulative culture. *Philos. Trans. R. Soc. B* 364, 2405–2415. doi: 10.1098/rstb.2009.0052
- Vaesens, K. (2012). The cognitive bases of human tool use. *Behav. Brain Sci.* 35, 203–262. doi: 10.1017/S0140525X11001452
- van Leeuwen, L., Smitsman, A. and van Leeuwen, C. (1994). Affordances, perceptual complexity, and the development of tool use. *J. Exp. Psychol.* 20, 174–191. doi: 10.1037/0096-1523.20.1.174

Wunsch, K., Henning, A., Aschersleben, G., and Weigelt, M. (2013). A systematic review of the end-state comfort effect in normally developing children and in children with developmental disorders. *J. Motor Learn. Dev.* 1, 59–76. doi: 10.1123/jmld.1.3.59

Article III.

IMPAIRMENT OF REAL TOOL USE IN CHILDREN WITH DCD: ONLY A PRODUCTION SYSTEM DEFICIT?

Ce texte est la reproduction d'un article qui sera soumis pour publication au jour de la soutenance dans la revue *Child Neuropsychology*.

IMPAIRMENT OF REAL TOOL USE IN CHILDREN WITH DCD: ONLY A PRODUCTION SYSTEM DEFICIT?

Chrystelle Remigereau^{1,2*}, Arnaud Roy^{1,2,3}, Oriane Costini^{4,5}, François Osiurak^{6,7}, Josselin Baumard⁸, Christophe Jarry¹, Emmanuelle Renaud-Thomas², Marie Bru², Ghislaine Aubin^{1,9,10} and Didier Le Gall^{1,9}.

¹ Laboratoire de Psychologie des Pays de la Loire (EA 4638), Université d'Angers, 5 Bis Boulevard Lavoisier, 49045 Angers, Cedex 1, France

² Centre Référent des Troubles d'Apprentissage, Centre Hospitalier Universitaire de Nantes, 7 Quai Moncousu, 44093 Nantes, Cedex 1, France

³ Centre de Compétence Nantais de Neurofibromatose, Centre Hospitalier Universitaire de Nantes, 1 Place Alexis-Ricordeau, 44093 Nantes, Cedex 1, France

⁴ Laboratoire de Psychologie de la Perception (CNRS UMR 8158), 45 Rue des Saints-Pères, 75006 Paris, France

⁵ Fondation Ophtalmologique Adolphe de Rothschild, Unité Fonctionnelle Vision et Cognition, 48 avenue Mathurin Moreau, 75019 Paris, France

⁶ Laboratoire d'Etude des Mécanismes Cognitifs (EMC EA 3082), Université de Lyon, 5 avenue Pierre Mendès France, 69676 Bron Cedex, France

⁷ Institut Universitaire de France, 1 Rue Descartes, 75231 Paris, Cedex 05, France

⁸ Laboratoire ICONES (EA 4699), Université de Rouen, Place Emile Blondel, 76821 Mont-Saint-Aignan Cedex, France

⁹ Unité de Neuropsychologie, Département de Neurologie, Centre Hospitalier Universitaire d'Angers, 4 Rue Larrey, 49033 Angers, Cedex 01, France

¹⁰ Centre de Rééducation Les Capucins, 28 Rue des Capucins, 49103 Angers, Cedex 02, France

***CORRESPONDENCE:** Chrystelle Remigereau, Université d'Angers, Laboratoire de Psychologie des Pays de la Loire, Maison de la recherche Germaine Tillion, 5 Bis Boulevard Lavoisier, 49045 Angers, Cedex 1, France. Telephone: +33 6.74.09.20.00

e-mail: chrystelle.remigereau@gmail.com

RUNNING HEAD: Tool use in children with DCD

ACKNOWLEDGEMENTS

This study was supported by grants from the Région Pays de la Loire (Project “Outils et Vie Quotidienne/Tool use and Daily Life Activities” OVQ; OVQ-2012-09689); ANR (Agence Nationale pour la Recherche; Project “Cognition et économie liée à l’outil/Cognition and tool-use economy” ECOTOOL; ANR-14-CE30-0015-01); was performed within the framework of the LABEX CORTEX (ANR-11-LABX-0042) of the Université de Lyon; and within the program “Investissements d’Avenir” (ANR-11-IDEX-0007) operated by the French National Research Agency (ANR).

DECLARATION OF CONFLICT OF INTERESTS

The authors declare no potential conflicts of interest with respect to the research, authorship, and/or publication of this article.

ABSTRACT

Only 14% of studies of children with DCD have examined the impact of this learning disability on activity of daily living (ADL) and on real use of tools. Thus, the outstanding issues are whether children with DCD encounter difficulties performing real tool use tasks and, if so, whether these difficulties result from impairment of anticipatory motor planning, manual dexterity, or from other kinds of cognitive processes known to play key roles in tool use (e.g., technical reasoning, semantic knowledge). Twenty-three children with DCD were matched with 44 control children in terms of age (7-13 years of age), gender, laterality, and parental level of education. The children were asked to select and use ten common tools (real tool use), to solve three mechanical problems (technical reasoning), to match pictures of tools according to their function (semantic knowledge), to transport a wooden-bar (anticipatory motor planning), and to quickly insert pins into holes (manual dexterity). The results clearly show that children with DCD have difficulties with actually using tools, as well as impairment of anticipatory motor planning and manual dexterity, but performances for mechanical problem-solving and functional picture matching were similar to those of healthy children. Results suggest that this disorder mainly result from anticipatory motor impairment or motor simulation impairment. Clinically, our findings underscore the importance of considering real tool use in this pediatric population, in order to verify the diagnosis of DCD criteria and to encourage new avenues for rehabilitative interventions.

Keywords: Developmental coordination disorder, activities of daily living, learning disability, real tool use, school-aged children.

1. INTRODUCTION

According to the DSM-V (APA, 2013), Developmental Coordination Disorder (DCD) is a neurodevelopmental disease that specifically affects the motor domain. With this syndrome, motor coordination (in its acquisition and execution) is substantially and persistently below the level expected based on the individual's chronological age and opportunity for skill learning and use (criterion A). Difficulties are expressed as clumsiness, as well as slowness and inaccuracy of motor performances. The cognitive processes involved in coordinated motor skills are not defined in this atheoretical diagnosis. On the other hand, their impact on Activities of Daily Living has been clearly defined (ADL; criterion B), such as "self-care and self-maintenance", "productivity and schoolwork", and "leisure and play" (van der Linde et al., 2013). Although these activities correspond to situations of effective tool use (e.g., tooth-brushing, shoe-lacing, riding a bicycle, etc.), they are not specifically assessed in diagnostic examinations. Besides, Geuze et al. (2015) underlined that most scientific studies of children with DCD do not consider the impact of the supposed motor impairment on academic achievement and ADL. In fact, only 14% of these publications have examined issues related to daily activity (Magalhaes, Cardoso & Missiuna, 2011). When functional performances of children with DCD are considered, a pervasive impact of DCD can be seen in regard to daily activities at home and at school (Wang et al., 2009).

Questionnaires are available to qualify and quantify the difficulties in everyday life of children at increased risk of DCD (e.g., the Motor Assessment Battery for Children-Checklist by Henderson & Sugden, 1992; the DCD Questionnaire by Wilson et al., 2000). Nevertheless, the items relative to functional daily living skills are not specific enough, so they do not accurately reflect the children's ADL (Rosenblum, 2006), and they do not allow for analysis of the underlying causes of these difficulties. In typically developing children, O'Hare et al. (1999) have shown that reports by parents regarding the manual skills of their children are related to direct assessment of real tool use. Some studies specifically focus on tool use in other etiological contexts, such as Autism Spectrum Disorders (Mostofsky et al., 2006; Nadel et al., 2011), or in typical development

(Casler et al., 2011; Fagard et al., 2016; Remigereau et al., under revision). However, very few studies have considered real tool use in children with DCD, partly because available tests do not “provide comprehensive and ecologically valid assessment of capacity in ADL” (p. 31, van der Linde et al., 2013).

Tool use definition and contributions of studies with adults

“Tool use can be defined as any handheld physical object that is used to make changes to other objects of the environment” (see Osiurak, 2014, p. 88). Each manipulated object that allows for an increase in the sensorimotor abilities of the user, can be deemed to be a “tool”. The entity that receives the action of the tool is generally referred to as “the object”. For instance, a sheet of paper is not a tool, but a pencil employed to draw on it or a pair of scissors used to cut it, are tools. In the theoretical framework of the Four Constraints Theory (4CT), Osiurak (2014) has suggested that an interaction between several cognitive processes occurs both at a conceptual and production level of the activity, thus allowing for analysis of tool use disorders (see also Osiurak & Badets, 2016; Reynaud et al., 2016).

Semantic knowledge of tool function provides information at a conceptual level about the conventional use of familiar tools (i.e., for which purpose, in which context, and with which object; Buxbaum & Saffran, 2002; Buxbaum, Veramonti and Schwartz, 2000). When this type of knowledge is specifically disturbed, as in semantic dementia, patients are no longer able to use common tools in a normal way (Hodges et al., 2000). With regard to everyday activities, these patients present an impairment of adequate tool selection, in relation to a severe loss of knowledge about tool function (Baumard et al., 2016). Semantic knowledge is generally assessed by asking patients to match pictures of tools with their usual objects. For instance, knowing that a picture of a key matches with a picture of a lock, because this tool is generally used to open a lock (even though, in reality, another tool could be used technically by a locksmith).

Technical reasoning is an abstract and relative mode of reasoning at a conceptual level, based on the specific comprehension of mechanical principles (e.g. pushing, pulling, levering). Children rely on the ability to conceive of these mechanical transformations in order to get the desired state of the world (e.g., a piece of paper cut from a whole sheet; for more details see Osiurak et al., 2010). These skills have also been found to be critical to the use of both familiar and non-familiar tools, and are frequently assessed by mechanical problem solving tasks (Lesourd et al., 2015). Patients with left brain damage and technical reasoning disorders have difficulties with inferring tool function from tool structure, and in identifying potential technical actions that could be performed with tools (e.g., “the lead of a pencil can crumble when pressed against paper, but not leather”, p. 2323, Jarry et al., 2013; see also Goldenberg, 2009; Goldenberg & Hagmann, 1998). The production system would be involved “in any situations requiring the interaction of the body with the environment” (p. 94, Osiurak, 2014), as in real tool use, to adapt gestures to environmental constraints. More specifically, the representation of the action conceived at the conceptual level may allow online planning and control of motor behaviors. The end-state comfort effect (i.e., the fact that normal adults tend to anticipate their motor actions so as to avoid uncomfortable body postures), initially observed by Rosenbaum and collaborators in healthy adults (for more details see Rosenbaum et al., 2012), is a good way to illustrate that goal posture and grip selection are constrained by the representation of the action (i.e., the object’s motion).

Although this theoretical background has been drawn from empirical evidence with adults, it stresses that real tool use is not only a matter of tool manipulation. Anticipatory motor planning and manual movement are more specifically linked with the mechanical relationships between tools and objects for optimal application of the hand to the tool as well as the application of the tool to the object (Goldenberg, 2009).

Real tool use in children with DCD

Despite an increasing number of studies focusing on children with DCD, very little is known about the performance of these children in daily living tasks (Magalhaes, Cardoso & Missiuna, 2011). Many publications have focused on body functions of children with DCD (e.g., balance, strength, gross or fine motor skills, imitation of gestures, etc.), but the assessment of their motor coordination impairments rarely includes ecological tool use tasks (i.e., participation and performance in the ADL). When specific tasks are inserted to assess tool use in children with DCD, they are more often introduced secondarily and not as the focal point of the research. The findings to date are still incomplete and contradictory. Dewey (1991) was able to demonstrate a significant deficit for children with motor problems that was probably due to “sensory integration or sensorimotor dysfunction” with a tool use task (see page 197), compared to healthy children of 5 to 8 years of age. Similar findings have been reported more recently by Zoia et al. (2002) for children with DCD who were between 5 and 10 years of age. By contrast, Sinani et al. (2011) found no difference between 9 to 11 year old children with DCD and their typically developing peers, neither in two experimental tasks of familiar tool use (i.e., blindfolded versus normal sight modalities), nor for the recognition of the correct hand posture for tool use. Nevertheless, very little information was provided in regard to the experimental apparatus: real tool use with an object versus mime, the number of steps for use, multiple choices versus a single tool, etc. Yet, some authors have assumed these factors can modify the expression of symptoms (Green, 2008; Osiurak, 2014; Summers, Larkin & Dewey, 2008).

Some studies have also investigated anticipatory motor planning (i.e., macroscopic aspects of motor control) in children with DCD by assessing object transport skills or grip selection. These children were reported by their parents to have immature or awkward grasps that affected use of a knife and a fork in a coordinated manner (Summers, Larkin & Dewey, 2008). Few studies have shown a lack of end-state comfort effect in children with DCD (Wilmot & Byrne, 2014; see also Wunsch et al., 2013 for a review), which refers to the trend to adjust the orientation of a grip to

future manipulations. It means that these children could favor an initial comfort of grip (i.e., “a default thumb-up grasp to reach”, see Wunsch & Weigelt, 2016, pp. 2), instead of anticipating a final comfort position (i.e., which requires an initial uncomfortable position, such as a thumb-down grasp) depending on what was intended with the object in the next step (Wunsch & Weigelt, 2016). Nevertheless, these studies generally did not try to relate these findings to ADL, with a specific goal in a specific context. Studies have essentially focused on representations of egocentric relationships (i.e., the orientation of the hand relative to the object to be displaced) created by the production system according to the 4CT theory (Osiurak, 2014). The role of the allocentric relationships (i.e., tool-object interactions) has not been addressed, while the production and the conceptual levels “work together dynamically and interactively” (page 94, Osiurak, 2014).

By assessing real tool use based on a comprehensive theoretical approach (Osiurak, 2014), this study aimed to determine whether school-aged children with DCD exhibit a general impairment in ADL compared to typically developing (TD) children. To do so, we chose to explore the conceptual and production levels of tool use with new experimental tasks: real tool use, mechanical problem-solving, functional matching of pictures and bar-transport. Aside from this, children were also assessed using the Purdue Pegboard test, which is typically used to explore manual dexterity in children with DCD (Bieber et al., 2016). Such an examination should allow for a thorough assessment of ADL and exhaustive analysis of the underlying dysfunctions in children with DCD. From a clinical perspective, this is a fundamental issue to verify diagnostic criteria and to provide optimal intervention in order to limit the daily consequences of the disorder.

2. METHOD

2.1 Participants

Twenty-seven children with motor problems were referred in a Reference Center for Learning Disabilities of a University Hospital (France) and in a Rehabilitation Centre (France) between March 2013 and January 2015. They were selected according to the DSM-V diagnostic

criteria for DCD (APA, 2013). More specifically, we used a diagnostic procedure which was in line with the flowchart proposed by Smits-Engelsman et al. (2015) and the recommendations made by Blank et al. (2012) and Geuze et al. (2015), as shown in Figure 1. Exclusion and inclusion criteria are also presented in Figure 1. In all, **23 patients** participated in the study, and they were between 7 and 13 years of age (mean age of 10 years and 1 month, SD: 1 year and 10 months).

Forty-seven typically developing children were enrolled from schools with the authorization from the Educational Authorities (i.e. the School Inspection Services, the principal, and the teachers), between January 2014 and June 2015. They were selected from a larger sample of 85 children who participated in a normative study of tool use and mechanical problem solving (Remigereau et al., under revision), on the basis of demographic characteristics (age, gender, laterality, and parental level of education). Exclusion criteria were common for the group of patients. Criteria B, C, and D were verified using an anamnestic questionnaire and the M-ABC parental checklist (Soppelsa & Albaret, 2004). On the basis of this anamnestic questionnaire, participants were excluded if they reported having a diagnosis of neurological, psychiatric, intellectual, or developmental disorders. Lastly, **44 control children** were included, aged 7-13 years (mean age of 10 years and 2 months, SD: 1 year and 10 months), since three of them were removed from the included sample as they had Z scores that were significantly below the mean (-1.64 DS) on the M-ABC parental checklist.

The research was conducted in accordance with the Helsinki Declaration and the ethical standards of the University guidelines. All children and their parents were provided with information about the study. Informed consents were obtained from all of the children and their parents before carrying out the assessment. All of the tests were systematically administered in a systematic ordered manner, and they were included in a broader study regarding gestural development and tool use in children.

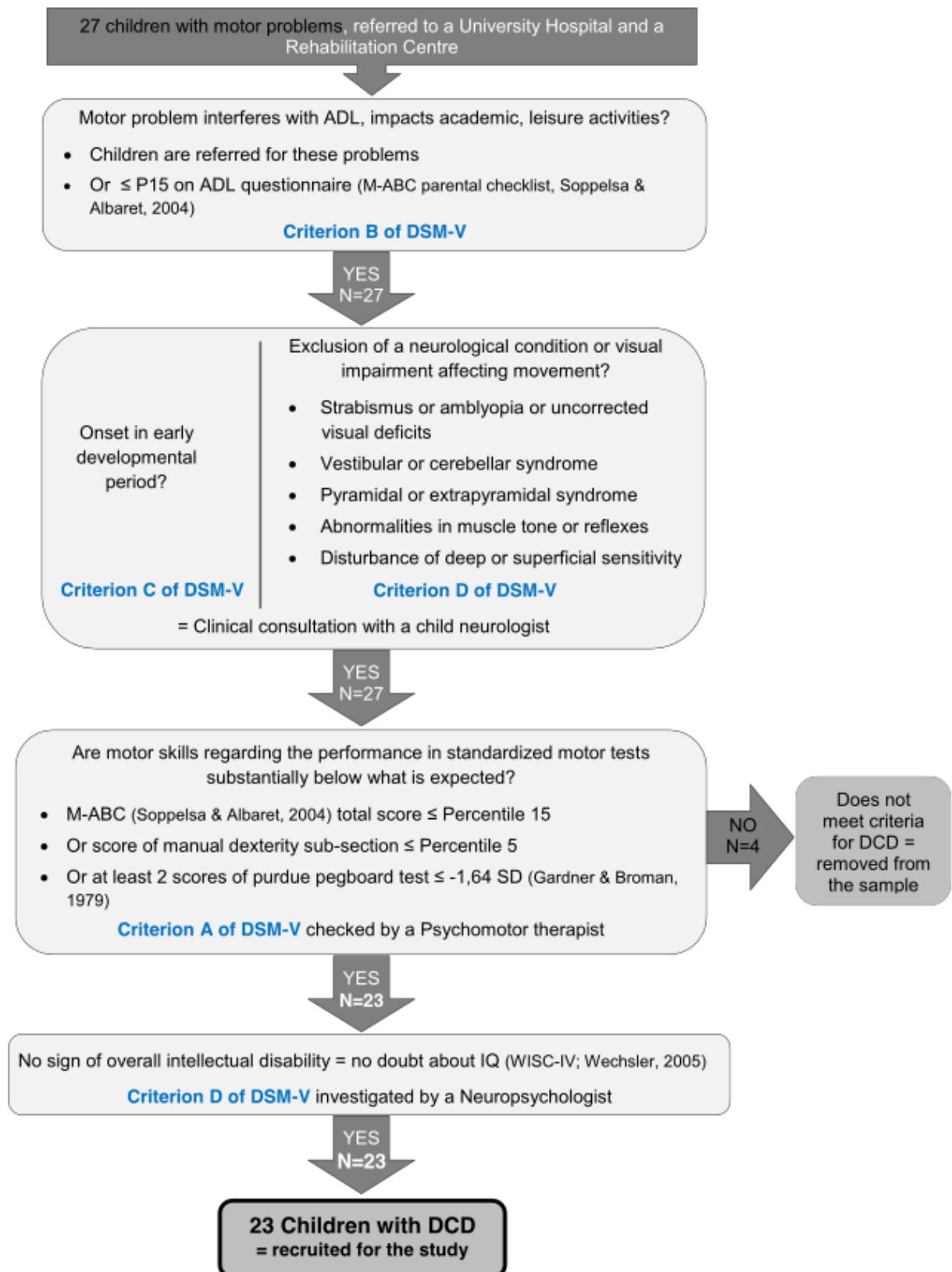


Figure 1. Flowchart for the inclusion of children with DCD, adapted from Smits-Engelsman et al. (2015).

2.2 Materials

Assessment of tool use was carried out by performing experimental tasks, based on a protocol initially developed to investigate apraxia in adults (Jarry et al., 2013; Lesourd et al., 2015), since no equivalent battery has been standardized and normalized in children to assess real tool use or ADL (van der Linde et al., 2013). These experimental tasks were previously adapted and used to investigate tool use skills in children with typical development (Remigereau et al., under revision).

Real Tool Use (RTU)

This test consists of the use of 11 familiar tools and their corresponding objects (e.g., scissors and a coil of hemp yarn), conventionally used in ADL. In the Choice condition, all familiar tools were displayed simultaneously on a vertical board (see Figure 2a; 1 practice and 10 experimental items), but one object at time was placed on the table in front of the children. They were asked to select a tool and perform the usual action carried out with the corresponding object. This test apparatus is close to the context of their use in daily life in that it involves many reachable and distractor tools and effective achievement of the actions. In the No-Choice condition, only the tool associated with the object was presented, to see whether the child could perform the action when only essential tools were at their disposal. One tool and one object (i.e., a jug and plastic cups) were used as a practice exercise, in which children were assisted with selection and handling if necessary. The examiner emphasized to the children that they needed to fully perform the actions.

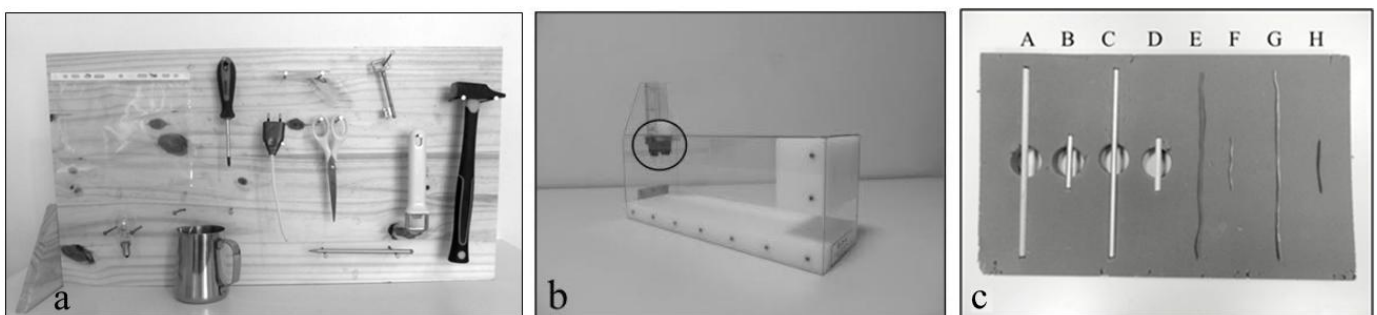


Figure 2. Examples of items used for the experimental tasks, extracted from Remigereau et al., (under revision) for (a) and Lesourd et al., (2015) for (b) and (c).

Performances were videotaped for both conditions. One point was awarded for each correct use with the appropriate tool within the time limit (i.e., 60 seconds for the Choice condition and 30 seconds for the No-Choice condition). Efficiency criteria were defined beforehand to code performances in an objective way (e.g. wood shavings falling from the pencil sharpener; for further details see Remigereau et al., under review). Selection errors and self-corrections were not penalized, but no point was awarded if the action was not carried out successfully. For each condition, the maximum possible score was 10 points. Time (in seconds) was also measured for each correct item.

Mechanical Problem-Solving (MPS)

This test was administered in order to assess technical reasoning skills. Children were asked to solve mechanical problems, in which a little red wooden cube or bead (i.e., the target) was lodged inside three different transparent plastic boxes. The aim of this test was to extract the target with eight different rods presented simultaneously on a table, that varied in length, diameter, rigidity, and their composition (for more details see Remigereau et al., under revision). As for other experimental tasks, children could use one or both hands. Each problem called for a specific mechanical action (e.g., pulling, levering, pushing) and the children could select and combine several rods, but only two particular rods out of the eight that were made available were relevant and necessary for each problem (e.g., rods C or E; see Figure 2b and 2c). Only one relevant rod was presented in the No-Choice condition. Problems could be solved in two steps, but not by directly inserting a hand into the box, by shaking or other forms of physical handling, or by trial and error. Before the test, a practice box was used (i.e. assistance with performing the action was provided, if necessary) to ensure that the children had identified the target and that they adequately understood the aim of the test. The only instruction that was given with the example was: “Using the tools at your disposal, show me how to recover the target that is lodged in this box. You may turn the box, but do not lift it up”. No feedback was given, although neutral prompts were given if required: “Keep going, there is

a solution.” As with the RTU task, all children first performed the Choice condition and then the No-Choice condition.

Performances were video-taped and scored on a 4-point scale: (3) the target was extracted from the box within the time limit (i.e., 180 seconds); (2) the participant did not extract the target from the box but achieved the first step of the problem (i.e., the target moved inside the box); (1) the first step of the problem was not completed, although the child did reach the target with a rod (without actually moving it); (0) the child touched the box but never the target. The maximum score for each condition was 9. For each correct item, the time (in seconds) was measured under both conditions (i.e., the mean time for 3 items).

Functional Picture Matching (FPM)

In order to assess semantic knowledge about tool function independently of tool manipulation, children were asked to choose which of four pictures of different single familiar tools best matched the picture of a target tool. The target and the correct response were functionally equivalent (e.g. an electrical plug and a candle). Target stimuli were the same as those used for the RTU task. The test was preceded by one supervised practice trial. One point was awarded for each correct response within the time limit (i.e., 20 seconds). The maximum score was 10.

Bar-transport task (BT).

This test was administered to assess anticipatory motor planning by observation of the end-state comfort, which is an effect that presumably relies on the production system. The apparatus of this experimental task was adapted from the study by Osiurak et al. (2008) and Thibaut and Toussaint (2010). The children sat at a table throughout the experiment. They were asked to grasp a wooden bar (32 cm in length, 2 cm in diameter) with one red and one blue end, which was suspended horizontally on a support (62 cm in length, 20 cm in width), and to insert it in a vertical position into the holes for the support on the table’s surface. Participants began each trial with their

hands resting in a neutral position (see Figure 3). When the examiner pointed to a red (or blue) hole of the support, the children were required to pick up the wooden bar with a power grip and place the red (or blue) end squarely into the hole indicated by the examiner. The children were not instructed how to grasp the wooden bar, but only that the grasp could not be changed during the movement.

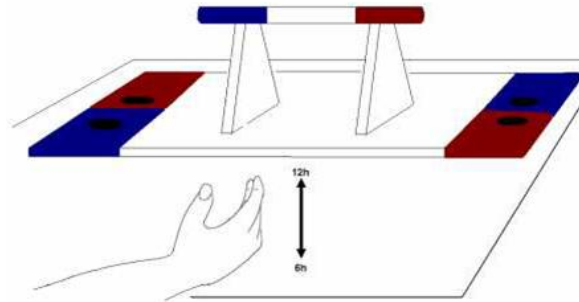


Figure 3. The apparatus used for the Bar-transport task, adapted from Osiurak et al. (2008).

Notes. The wooden bar is positioned on the support at an elevation of 9 cm. The initial hand neutral orientation is shown (i.e., the thumb pointing to 12 o'clock).

Two initial grips were distinguished at the beginning of the action: an overhand or an underhand grip, resulting in a comfortable thumb-up versus an uncomfortable thumb-down final position. Prior to the test, four familiarization trials were permitted (i.e. assistance with performing the action was provided, if necessary) so as to ensure adequate understanding of the test. Each target was pointed at 6 times, totaling 24 trials for each hand: preferred hand (PH) and non-preferred hand (NPH), in a preset randomized order. Hand preference was determined by the Edinburgh handedness inventory (Oldfield, 1971; with values between +100 for extreme right hand preference and -100). The maximum score was 24 for each hand, which correspond to the number of grips correctly anticipated for an optimal end-state comfort.

Purdue Pegboard Test

This test was administered to assess manual dexterity in a conventional way, which requires accuracy and speed (Purdue Research Foundation, 1948; French adaptation by ECPA, 1961). Children were asked to pick-up and insert pins into a row of holes using their preferred hand (PH)

first, and then their non-preferred hand (NPH), previously determined by the Edinburgh handedness inventory (Oldfield, 1971). Two scores were derived for the pin placement subtests. They consisted of the number of pins inserted in the time limit (30 seconds) for each hand.

2.4 Data analysis

All analyses were performed with Statistica software (version 7). Non-parametric tests were preferred due to non-normality of the data (checked with Kolmogorov-Smirnov one-sample test and Levene's test). Comparisons between groups were performed with the Mann-Whitney U-test. Wilcoxon signed-rank tests were used for within-group comparisons and Spearman rank correlations were conducted to study relationships between variables. However, to better examine the influence of MPS, FPM, BT, and Purdue on RTU, we used a generalized linear mixed model (GLMM; Burnham et al., 2011), in which MPS, FPM, BT, and Purdue were included as fixed factors, while Age was a random factor. This analysis was carried out on the group of children with DCD ($n = 23$). The Akaike Information Criterion value, corrected for small sample size (AICc) was calculated for the GLMM. Models were ranked in relation to each other using $\Delta AICc$ values ($\Delta i = AICc(i) - AICc(\min)$). Akaike weights were computed (ω_i) to assess the likelihood of the model relative to the other models that were considered. All models were averaged to calculate predictor estimates and standard errors using a full-model averaging method (Burnham et al., 2011). The GLMM analyses and the model-averaged coefficients were computed using the lme4 and MuMIn packages, respectively, in R 3.1.3. For all analyses, the level of significance was set at $p < .01$ to control for type I error.

3. RESULTS

3.1 Sample characteristics

Sociodemographic characteristics of the sample are presented in Table 1. Both groups were matched for age, sex ratios, laterality quotient, and parental level of education (the mean education level of the two parents, expressed as years of schooling).

Table 1: General data related to the clinical sample and controls.

	DCD (n = 23)			Controls (n = 44)			Z value	p-value
	M	SD	Range	M	SD	Range		
Age (in months)	121.8	22.3	85 – 161	122.8	22.5	86 – 161	0.18	.853
Girls/boys	11/12			22/22			$\chi^2 = 0.03$.865
Edinburgh (quotient of laterality)	41.8	73.0	-90 +100	66.7	52.9	-100 +100	1.66	.096
PEL (in years)	13.6 ^a	1.9	10.5 – 17.0	14 ^b	3.1	9.0 – 20.0	0.15	.880

Note. DCD = Developmental Coordination Disorder; PEL = Parental level of education (mean for both parents); M = mean; SD = standard deviation.

^an = 22; ^b for three children the PEL was based on the level of education for only one of their parents.

Gender comparisons were performed using the χ^2 test for gender (categorical variable).

3.2 Real tool use

As shown in Table 2, children with DCD exhibited real tool use disorders, with significant differences in the four studied variables (i.e., Choice and No-Choice conditions). Tool use was slower and less efficient for children with DCD in both conditions.

Within-group comparisons also indicated significantly better efficiency scores in the No-Choice condition of RTU as compared with the Choice condition, in children with DCD ($z = 3.39$, $p < .001$). However, no difference was found between these two conditions in normal control children ($z = 1.55$, $p = .12$; see Figure 4).

Table 2: Tool use scores for children with DCD and controls

	DCD (n = 23)	Controls (n = 44)	Z value	p-value
RTU Choice (score). <i>M (SD)</i>	7.3 (1.9)	9.3 (1.0)	4.28	< .0001
RTU Choice (time). <i>M (SD)</i>	16.8 (5.4)	11.0 (4.1)	-4.38	< .0001
RTU No-Choice (score). <i>M (SD)</i>	8.4 (1.4)	9.5 (0.7)	3.66	< .001
RTU No-Choice (time). <i>M (SD)</i>	10.8 (2.2)	6.3 (1.8)	-5.82	< .0001
MPS Choice (score). <i>M (SD)</i>	6.6 (2.1)	7.0 (1.6)	0.76	.444
MPS Choice (time). <i>M (SD)</i>	63.9 (29.9) ^a	51.7 (27.9) ^b	-1.61	.106
MPS No-Choice (score). <i>M (SD)</i>	7.7 (1.5)	7.9 (1.3)	0.54	.586
MPS No-Choice (time). <i>M (SD)</i>	37.9 (28.6)	36.9 (33.8)	-0.83	.401
FPM (score). <i>M (SD)</i>	7.2 (1.0)	7.5 (1.5)	1.25	.208
Bar-transport (PH). <i>M (SD)</i>	16.7 (3.9)	20.2 (3.9)	3.24	< .01
Bar-transport (NPH). <i>M (SD)</i>	15.7 (4.3)	18.7 (4.8)	2.40	.01
Purdue (PH). <i>M (SD)</i>	10.8 (1.9)	13.6 (2.2)	4.54	< .0001
Purdue (NPH). <i>M (SD)</i>	9.7 (2.2)	12.7 (2.1)	4.48	< .0001

Note. DCD = Developmental Coordination Disorder; RTU = real tool use; MPS = mechanical problem solving; FPM = functional picture matching; PH = preferred hand; NPH = non-preferred hand; *M* = mean; *SD* = standard deviation.

Significant effects ($p < .01$) appear in bold. ^a for MPS Choice (time), $n = 19$. ^b for MPS C (time), $n = 42$.

3.3 Conceptual system

Both DCD and control groups performed similarly on the MPS test (i.e., Choice, No-Choice, efficiency scores and time) and the FPM task. Within-group comparisons revealed significant differences between the Choice and No-Choice conditions of MPS in both groups ($z = 2.77$, $p < .01$ for children with DCD; $z = 2.83$, $p < .01$ for control children; see Figure 4).

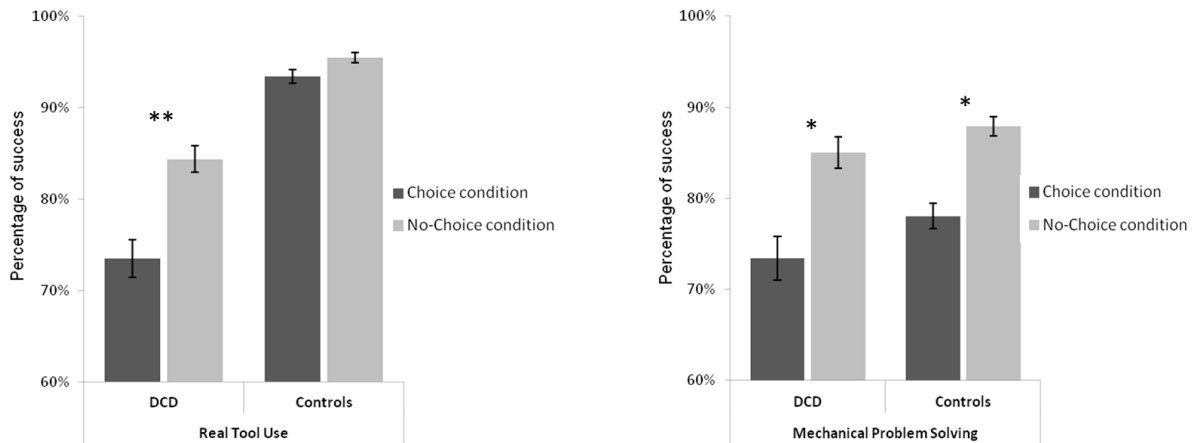


Figure 4. Within-group comparisons between experimental conditions on RTU and MPS tasks.

Notes. Data corresponding to mean scores of efficiency, with standard error intervals. Within-group comparisons performed with the Wilcoxon signed-rank tests were significant with ** $p < .001$, * $p < .01$. DCD = Developmental Coordination Disorder; RTU = Real tool use; MPS = Mechanical problem-solving.

3.4 Production system

Children with DCD attained significantly lower scores than controls on the Purdue Pegboard test for both hands (see Table 2). Children with DCD also exhibited lower performances on the Bar-transport task for their preferred-hand, but a trend to significance was only observed for their non-preferred hand.

3.5 Relationships between RTU, MPS, FPM, BT, and Purdue tasks

Results in children with DCD are presented in Table 3. Only the variables of efficiency for the Choice condition were taken into account for these analyses, in order to limit the risk for type 1 error. Indeed, efficiency scores for RTU and MPS involved time limits in coding the performances, and real tool use disorders in children with DCD persisted in the No-Choice condition. It is also the one condition that gets closer to the context of daily life use. In children with DCD, a strong association was found between RTU and MPS ($r = .65$; $p < .001$). Two others significant positive correlations were observed between RTU and Purdue for both hands ($r = .53$; $p < .01$ and $r = .71$; p

< .001, respectively). By contrast, there was no relationship between RTU and Bar-transport, or between RTU and FPM.

Spearman’s rank order correlations indicated relatively no association between RTU and other experimental tasks in the control group. MPS was correlated with BT for both hands (for preferred and non-preferred hand, $r = .39$ and $r = .35$; $ps < .01$, respectively) and the Purdue only for the preferred hand ($r = .38$; $p < .01$). Two significant positive correlations were observed between the score for the non-preferred hand in the Purdue and BT for both hands ($r = .46$; $p < .01$ and $r = .38$; $p < .01$, respectively).

Table 3. Correlations according to the DCD group ($n = 23$) between Real tool use, Mechanical problem-solving, Bar-transport, Purdue Pegboard, and Semantic Knowledge

	RTU C	MPS C	BT (PH)	BT (NPH)	Purdue (PH)	Purdue (NPH)
MPS C	.65**					
BT (PH)	.05	-.03				
BT (NPH)	.12	.21	.64**			
Purdue (PH)	.53*	.30	.34	.18		
Purdue (NPH)	.71**	.35	.36	.29	.57*	
FPM	.15	.27	.19	.14	.11	.36

Notes. Spearman correlation coefficients. Significant effects ($p \leq .01$) appear in bold. * $p < .01$; ** $p < .001$

RTU = Real tool use; MPS = Mechanical problem solving; BT = Bar-transport; FPM = Functional picture matching; PH = preferred hand; NPH = non-preferred hand; C = Choice condition; M = mean; SD = standard deviation.

As mentioned earlier, the influence of the MPS, FPM, BT, and Purdue predictors on RTU was tested using a generalized linear mixed model (GLMM) with Age as a random factor. There were three top candidate models with $\Delta_i < 2$ (see Table 4), the best one being the MPS only model. We also computed model-averaged estimators based on AICc, but none of the considered predictors of RTU was statistically significant (i.e., at the 95% confidence level, the interval did not contain the 0 value). A trend to significance was only observed for MPS (Importance weight: 0.64; Estimate±Standard Error: 0.08±0.04).

Table 4. Influence of MPS, FPM, BT, and the Purdue on RTU (GLMM analysis) according to the DCD group (n = 23)

Models	k	AICc	Δ_i	ω_i
<i>MPS</i>	3	101.92	0.00	.30
<i>Purdue</i>	3	103.66	1.74	.13
<i>MPS + Purdue</i>	4	103.67	1.75	.13
Intercept	2	104.12	2.20	.10
MPS + BT	4	104.83	2.90	.07
MPS + FPM	4	104.84	2.92	.07
Purdue + BT	4	106.50	4.58	.03
FPM + Purdue	4	106.56	4.64	.03
FPM	3	106.66	4.73	.03
BT	3	106.74	4.82	.03
MPS + FPM + Purdue	5	106.95	5.03	.02
MPS + Purdue + BT	5	106.96	5.04	.02
MPS + FPM + BT	5	108.05	6.12	.01
FPM + BT	4	109.61	7.68	.01
FPM + Purdue + BT	5	109.67	7.75	.01
MPS + FPM + Purdue + BT	6	110.66	8.74	.00

Notes. k = number of parameters in the model; AICc = Akaike's Information Criterion corrected; $\Delta_i = AIC_{c(i)} - AIC_{c(\min)}$; ω_i = Akaike weights explaining total variance. Models with $\Delta_i < 2$ are in italics.

4. DISCUSSION

The aim of this study was to assess real tool use skills in school-aged children with DCD. The relative contributions of technical reasoning, semantic knowledge, and anticipatory motor planning in the use of familiar tools were also investigated based of the 4CT theoretical model (Osiurak, 2014). The main results can be summed up as follows. Firstly, children with DCD had impaired performances in real tool use, either with or without choice. An impairment of anticipatory motor planning and manual dexterity was also observed, while results for mechanical problem-solving and functional picture matching were similar to those of healthy children. Secondly, for children with DCD we found strong associations between tool use and mechanical problem-solving on the one hand, and between tool use and the Purdue Pegboard on the other hand. Otherwise, no relationship was found between real tool use, the bar-transport task, and functional picture matching.

4.1 Impairment of real tool use in children with DCD

To our knowledge this is the first time that a disorder of real tool use has been confirmed in children with DCD using an experimental task involving familiar daily living tools. Children with DCD were less efficient and needed more time than the controls when they performed familiar tool use actions. These original findings are consistent with parental complaints in regard to the ADL (Summers, Larkin & Dewey, 2008), and they confirm tool use impairment in DCD as suggested by Dewey (1991) and Zoia et al. (2002). By contrast, Sinani et al. (2011) did not find evidence of this disorder, although the apparatus used by these authors could explain these divergent findings. Indeed, the authors did not specify how many and which tools were given to the children to perform the action. As we understand it, only the tool to be manipulated was supplied, and the children were asked to demonstrate its use rather than to actually use it with a presented object. Under such conditions, only prototypical knowledge would be assessed and not the efficiency of use, because

the latter was suggested but not really performed (Osiurak & Le Gall, 2012). For example, demonstrating the use of a hammer requires that the participant imagines a nail, which presumably calls for semantic knowledge about tool function. Thus, the findings of Sinani et al. (2011) are congruent with those of this study, as we have both shown that children with DCD do not present impairment of semantic knowledge about tool function. Furthermore, no relationship was found between real tool use and semantic knowledge in both groups of children.

The impairment of real tool use was observed under two conditions: Choice (i.e., 11 familiar tools and one object) and No-Choice (i.e., only one tool and its corresponding object). Performances were significantly better for the No-Choice than for the Choice condition for the children with DCD only. An explanatory assumption could implicate the effect of choice and distractors in real tool use, because efficiency improved when this criterion was deleted. However, this hypothesis is unlikely for two reasons. Firstly, it is noteworthy that even for the No-Choice condition, the performance of the children with DCD remained significantly impaired as compared to the healthy children. Secondly, the children with DCD did not significantly differ from the healthy children in regard to functional picture matching. This suggests that apart from tool manipulation, choosing familiar tools to perform a usual action is not a problem for children with DCD. Another explanation for the improvement of tool use scores between the two conditions could be a learning effect due to a second exposure to the same tools in the No-Choice condition. Nevertheless, to the extent that this learning effect is not observed in healthy children, we can assume that real tool use disorders in children with DCD is not due to a problem related to the choice of the tool commonly used with the presented object, despite a potential ceiling effect on this task in healthy children.

Another cognitive function involved in real tool use is technical reasoning, which allows for analysis of potential mechanical relationships between tools and conception of necessary transformations to achieve the purpose of the action (e.g., understanding that using a pencil-sharpener requires placing the pencil's graphite in contact with the blade). Ours results confirm, for

the first time, the existence of a strong association between real tool use and technical reasoning skills in children with DCD (for similar findings in adults, see Jarry et al., 2013). More specifically, GLMM analyses revealed that mechanical problem-solving seemed to be a better predictor of real tool use than the other four factors examined in our study. Although performances of these two tasks varied in the same way, mechanical problem-solving skills for children with DCD were similar to those of healthy children. In other words, the deficit of real tool use is probably not the consequence of reduced technical reasoning skills. Rather, it may be related to another disorder. As a whole, these findings suggest that impairment of ADL does not stem from a deficit in conception but rather from the production system according to 4CT Theory, at least in regard to semantic knowledge and technical reasoning.

4.2 Only a production system disorder?

Impairment in real tool use was associated with an impairment of manual dexterity and a lack of an end-state comfort effect for both hands in children with DCD. Our findings are novel, since although previous studies have already shown less anticipatory motor planning with a handle-rotation or a sword task (Adams et al., 2016; van Swieten et al., 2010; Wilmut & Byrne, 2014), this has not previously been reported with a bar-transport task (Noten et al., 2014; Smyth & Mason, 1997). These results are probably explained by methodological aspects, such as the way in which the DCD and typically developing children groups were sampled (i.e., the cut-off scores used for diagnosis of coordinated motor skills deficits were less restrictive in others studies), and the apparatus used in our bar-transport task, which required greater precision compared with previous studies (for more details see Wunsch et al., 2013).

The disorder of bar-transport supports the hypothesis of impairment in egocentric relationships (i.e., hand-object interactions) in children with DCD. By contrast, at the conceptual level, they were able to infer mechanical relationships between objects, considering their

mechanical problem-solving efficiency scores. These findings are consistent with previous proposals (Costini et al., under revision) according to which the main impairment in children with DCD is at the production level, and this may explain real tool use deficits. Nonetheless, although a production disorder should have a negative impact on all tasks which entailed tool manipulation, we found no difference between the two groups of children in regard to the mechanical problems. A likely explanation for this is that precision demands were higher for real tool use and the Purdue Pegboard test than for mechanical problem-solving. Indeed, strong associations were found between manual dexterity (i.e., the Purdue Pegboard) for both hands and real tool use in children with DCD, but not between manual dexterity and mechanical problem solving, which does not require complex manipulation (e.g. co-activating some fingers to use scissors or to manipulate and insert pins into holes). This could explain why, although all of the four production tasks (i.e., RTU, MPS, BT, and the Purdue Pegboard test) called for actual manipulation (and hence for the production system), the presumed production deficit had a more negative impact on use of familiar tools and manual dexterity.

Furthermore, no significant correlation was found between the real tool use and bar-transport tasks. In daily living activities, grip selection depends on the intention of the subject. For instance, “to cut a piece of paper one would hold the scissors by the two handles, whereas one might grab them by the end of the blades to hand them to somebody else” (see p. 116, Thibaut & Toussaint, 2010). In healthy children at 8 years of age, Thibaut and Toussaint (2010) have shown that grip selection depends on the purpose of the action (i.e., pointing with a pencil versus tracing a line in a sinuous alley). In healthy children, Scharoun and Bryden (2013) have also observed a greater sensitivity to the end-state comfort effect when the transport of a cup is directly followed by the final goal of the action (i.e., pouring themselves water into a cup after knocking it over), by contrast with another object-transport task (i.e., handing the cup to the researcher). In regard to the current study, the findings may be interpreted in two ways.

Firstly, children with DCD could present a disorder of the production system, which determines the necessary online movements to accomplish the intended action, according to sensorimotor feedbacks. This assumption is supported by a significant association that has been observed between real tool use and manual dexterity for both hands. However, if children with DCD exhibit an impairment of the motor execution of movement, one would expect to find a broader disorder of manual dexterity and real tool use. Indeed, the performances of these children were not exceptionally poor, since they were able to insert 10 pins into holes versus 13 for control children, and they were able to efficiently use 7 tools out of 10, despite significant differences between the two groups. Children with DCD used the tools less efficiently and more slowly than healthy children, but they were not completely unable to use them. Thus, this assumption is not fully adequate.

Secondly, children with DCD could exhibit an impairment of motor simulation of the action, which may negatively impact on real tool manipulation. Motor simulation refers “to a dynamic representation of body activity and interactions” (Declerck, 2013, pp. 290). For instance, one can imagine the use of a tool to do something. A motor simulation disorder, already shown to occur in children with DCD (Noten et al., 2014; for more details see Williams et al., 2008) could negatively impact the estimation of the hand position at the end of the bar-transport. Thus, such an impairment may explain the deficit observed with the bar-transport task, Purdue Pegboard, and real tool use in children with DCD. It is also consistent with parental complaints in regard to the ADL for instance, e.g. when a child tries to cut a piece of bread with a knife, by holding the end which they were cutting instead of the loaf of bread. In this case, the production of the action was awkward and inefficient, but not impossible. Motor simulation in relation with ADL and real tool use has already been assessed in children with DCD, without any manipulation. Sinani et al. (2011) have found that recognition of the correct hand posture for tool use with this learning disability is relatively spared. Nevertheless, with the photographs used in this study, tool-object interactions could change (i.e., allocentric relationships) and not only hand-tool interactions (i.e., egocentric relationships). Hence,

potential impairment of motor simulation may have been offset, if children with DCD chose photographs by a process of strategic elimination.

That being said, the question remains whether tool use deficits are the consequence of a disorder of motor execution of movement (i.e., a production system which determines the necessary online movements to accomplish the intended action) or a specific impairment of motor simulation (i.e., which precede action, potentially associated with anticipatory motor planning skills; Noten et al., 2014). Further research is needed to identify whether grip selection or motor simulation could impact real tool use and vice versa in the same experimental apparatus in children with DCD. Lastly, further studies are also required to explore a possible link between real tool use and executive functioning in children with DCD. Indeed, tool use disorders could also be due to a general impairment in the sequential organization of actions (see Luria, 1978). While executive function disorders have already been observed with this learning disability and could negatively impact motor control (Leonard, 2016; Ruddock et al., 2015; Toussaint-Thorin et al., 2013), to our knowledge no study to date has examined this issue.

5. CONCLUSION

In conclusion, our findings provide original evidence for the existence of tool use disorders in children with DCD, with strong associations with impairment of manual dexterity. Furthermore, an end-state comfort effect was not found in children with DCD, suggesting an anticipatory motor planning deficit. Motor simulation impairment is hypothesized to underlie this effect, as this could better explain real tool use disorder in children with DCD, rather than impairment of motor execution of movement. Lastly, this work underscores the importance of considering effective tool use in this pediatric population, in order to check diagnostic criteria of DCD and to verify the concordance of the symptoms with the parental complaints in daily life. We hope that these findings will provide support for rehabilitative interventions that rely on preserved cognitive skills, such as

regulation of the gesture production by language in formulating milestones prior to the actions to be performed. In order to promote their autonomy in ADL, these children could also have more of a need than healthy children to experiment with the sensorimotor consequences of their motor actions, because they cannot anticipate them.

REFERENCES

- Adams, I. L., Ferguson, G. D., Lust, J. M., Steenbergen, B., & Smits-Engelsman, B. C. (2016). Action planning and position sense in children with Developmental Coordination Disorder. *Human Movement Science, 46*, 196-208.
- American Psychiatric Association (2013). Diagnostic and statistical manual of mental disorders (DSM 5th ed.). Washington (D. C.), London: American Psychiatric Pub.
- Baumard, J., Lesourd, M., Jarry, C., Merck, C., Etcharry-Bouyx, F., Chauviré, V., ... & Le Gall, D. (2016). Tool use disorders in neurodegenerative diseases: Roles of semantic memory and technical reasoning. *Cortex, 82*, 119-132.
- Bieber, E., Smits-Engelsman, B. C. M., Sgandurra, G., Cioni, G., Feys, H., Guzzetta, A., & Klingels, K. (2016). Manual function outcome measures in children with developmental coordination disorder (DCD): Systematic review. *Research in Developmental Disabilities, 55*, 114-131.
- 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 and Child Neurology, 54*, 54-93.

- Burnham, K. P., Anderson, D. R., and Huyvaert, K. P. (2011). AIC model selection and multimodel inference in behavioural ecology: Some background, observations and comparisons. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, *65*, 23–35. doi: 10.1007/s00265-010-1029-6
- Buxbaum, L. J., & Saffran, E. M. (2002). Knowledge of object manipulation and object function: dissociations in apraxic and nonapraxic subjects. *Brain and Language*, *82*, 179-199.
- Buxbaum, L. J., Veramonti, T., & Schwartz, M. F. (2000). Function and manipulation tool knowledge in apraxia: knowing ‘what for’ but not ‘how’. *Neurocase*, *6*(2), 83-97.
- Casler, K., Eshleman, A., Greene, K., & Terziyan, T. (2011). Children’s scale errors with tools. *Developmental Psychology*, *47*, 857-866.
- Centre de Psychologie Appliquée (1961). *Purdue Pegboard, Manuel d’Application*. Paris: les Editions du Centre de Psychologie Appliquée.
- Costini, O., Roy, A., Faure, S., Remigereau, C., Renaud, E., Blanvillain, L., Fossoud, C., & Le Gall, D. (under revision). Gestures and Related skills in Developmental Coordination Disorder : A production-system deficit ? *Human Movement Science*.
- Declerck, G. (2013). Why motor simulation cannot explain affordance perception. *Adaptive Behavior*, *21*(4), 286-298.
- Dewey, D. (1991). Praxis and sequencing skills in children with sensorimotor dysfunction. *Developmental Neuropsychology*, *7*, 197-206.
- Fagard, J., Rat-Fischer, L., Esseily, R., Somogyi, E., & O’Regan, J. K. (2016). What does it take for an infant to learn how to use a tool by observation? *Frontiers in Psychology*, *7*:267, doi:10.3389/fpsyg.2016.00267
- Gardner, R. A., & Broman, M. (1979). The Purdue Pegboard: normative data on 1334 school children. *Journal of Clinical Child Psychology*, *8*, 156-162.

- Geuze, R., Schoemaker, M., & Smits-Engelsman, B. (2015). Clinical and research criteria for Developmental coordination disorder, should they be one and the same? *Current Developmental Disorders Reports*, 2, 127-130.
- Goldenberg, G. (2009). Apraxia and the parietal lobes. *Neuropsychologia*, 47(6), 1449-1459.
- Goldenberg, G., and Hagmann, S. (1998). Tool use and mechanical problem-solving in apraxia. *Neuropsychologia*, 36, 581-589.
- Green, D., Chambers, M. E., & Sugden, D. A. (2008). Does subtype of developmental coordination disorder count: Is there a differential effect on outcome following intervention? *Human Movement Science*, 27, 363-382.
- Henderson, S. E., & Sugden, D. A. (1992). *Movement Assessment Battery for Children*. The Psychological Corporation, Kent, UK.
- Henry, L. A., Messer, D. J., & Nash, G. (2012). Executive functioning in children with specific language impairment. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 53, 37-45.
- Hodges, J.R., Bozeat, S., Lambon Ralph, M.A., Patterson, K., & Spatt, J. (2000). The role of conceptual knowledge in object use: evidence from semantic dementia. *Brain*, 123, 1913-1925.
- Jarry, C., Osiurak, F., Delafuys, D., Chauviré, V., Etcharry-Bouyx, F., and Le Gall, D. (2013). Apraxia of tool use: More evidence for the technical reasoning hypothesis. *Cortex*, 49, 2322-2333. doi:10.1016/j.cortex.2013.02.011
- Leonard, H. C. (2016). The impact of poor motor skills on perceptual, social and cognitive development: the case of developmental coordination disorder. *Frontiers in Psychology*, 7 : 311.

- Lesourd, M., Baumard, J., Jarry, C., Etcharry-Bouyx, F., Belliard, S., Moreaud, O., et al. (2015, November 2). Mechanical problem-solving strategies in Alzheimer's disease and semantic dementia. *Neuropsychology*. Advance online publication. doi: 10.1037/neu0000241
- Luria, A.R. (1978). *Les fonctions corticales supérieures de l'homme*. Paris: Presses Universitaires de France.
- Magalhaes, L. C., Cardoso, A. A., & Missiuna, C. (2011). Activities and participation in children with developmental coordination disorder: A systematic review. *Research in Developmental Disabilities, 32*, 1309-1316.
- Mostofsky, S. H., Dubey, P., Jerath, V. K., Jansiewicz, E. M., Goldberg, M. C., & Denckla, M. B. (2006). Developmental dyspraxia is not limited to imitation in children with autism spectrum disorders. *Journal of the International Neuropsychological Society, 12*, 314-326.
- Nadel, J., Aouka, N., Coulon, N., Gras-Vincendon, A., Canet, P., Fagard, J., & Bursztejn, C. (2011). Yes they can! An approach of observational learning in low-functioning children with autism. *Autism, 15*, 1-15.
- Noten, M., Wilson, P., Ruddock, S., & Steenbergen, B. (2014). Mild impairments of motor imagery skills in children with DCD. *Research in Developmental Disabilities, 35*, 1152-1159.
- O'Hare, A., Gorzkowska, J., & Elton, R. (1999). Development of an instrument to measure manual praxis. *Developmental Medicine and Child Neurology, 41*, 597-607.
- Oldfield, R. C. (1971). The assessment and analysis of handedness: The Edinburgh inventory. *Neuropsychologia, 9*, 97-113.
- Osiurak, F. (2014). What Neuropsychology tells us about human tool use? The four constraints theory (4CT): Mechanics, Space, Time, and Effort. *Neuropsychology Review, 24*, 88-115.

- Osiurak, F., Aubin, G., Allain, P., Jarry, C., Etcharry-Bouyx, F., Richard, I., & Le Gall, D. (2008). Different constraints on grip selection in brain-damaged patients: Object use versus object transport. *Neuropsychologia*, *46*, 2431-2434.
- Osiurak, F., & Badets, A. (2016). Tool use and affordance: Manipulation-based versus reasoning-based approaches. *Psychological Review*. Advance online publication. doi: 10.1037/rev0000027
- Osiurak, F., Jarry, C., & Le Gall, D. (2010). Grasping the affordances, understanding the reasoning: Toward a dialectical theory of human tool use. *Psychological Review*, *117*, 517-540.
- Osiurak, F., & Le Gall, D. (2012). Apraxia: Clinical types, theoretical models, and evaluation. In T. Heinbockel (Ed.), *Neuroscience* (pp. 69-92). InTech.
- Purdue Research Foundation (1948). *Examiner manual for the Purdue Pegboard*. Chicago: Science Research Associates.
- Remigereau, C., Roy, A., Costini, C., Osiurak, F., Jarry, C., & Le Gall, D. (in revision). Involvement of technical reasoning more than functional knowledge in development of tool use in childhood. *Frontiers in Psychology*.
- Reynaud, E., Lesourd, M., Navarro, J., & Osiurak, F. (2016). On the neurocognitive origins of human tool use: A critical review of neuroimaging data. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, *64*, 421-437.
- Rosenbaum, D. A., Chapman, K. M., Weigelt, M., Weiss, D. J., & van der Wel, R. (2012). Cognition, action, and object manipulation. *Psychological Bulletin*, *138*, 924-946.
- 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*, 619-632.

- Ruddock, S., Piek, J., Sugden, D., Morris, S., Hyde, C., Caeyenberghs, K., & Wilson, P. (2015). Coupling online control and inhibitory systems in children with developmental coordination disorder: goal-directed reaching. *Research in Developmental Disabilities, 36*, 244-255.
- Scharoun, S. M., & Bryden, P. J. (2014). The Development of End- and Beginning-state comfort in a cup manipulation task. *Developmental Psychobiology, 56*, 407-420.
- Sinani, C., Sugden, D. A., & Hill, E. L. (2011). Gesture production in school vs. clinical samples of children with Developmental Coordination Disorder (DCD) and typically developing children. *Research in Developmental Disabilities, 32*, 1270-1282.
- Smits-Engelsman, B., Schoemaker, M., Delabastita, T., Hoskens, J., & Geuze, R. (2015). Diagnostic criteria for DCD: Past and future. *Human Movement Science, 42*, 293-306.
- Smyth, M. M., & Mason, U. C. (1997). Planning and execution of action in children with and without developmental coordination disorder. *Journal of Child Psychology and Psychiatry, 38*, 1023-1037.
- Soppelsa, R., & Albaret, M. (2004). *Adaptation française de la Batterie d'Evaluation du Mouvement chez l'Enfant (M-ABC)*. Paris : ECPA.
- Summers, J., Larkin, D., & Dewey, D. (2008). Activities of daily living in children with developmental coordination disorder: dressing, personal hygiene, and eating skills. *Human Movement Science, 27*, 215-229.
- Thibaut, J. P., & Toussaint, L. (2010). Developing motor planning over ages. *Journal of Experimental Child Psychology, 105*, 116-129.
- Toussaint-Thorin, M., Marchal, F., Benkhaled, O., Pradat-Diehl, P., Boyer, F. C., & Chevignard, M. (2013). Executive functions of children with developmental dyspraxia: Assessment combining neuropsychological and ecological tests. *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine, 56*, 268-287.

- Van der Linde, B. W., Van Netten, J. J., Otten, E., Postema, K., Geuze, R. H., & Schoemaker, M. M. (2013). A systematic review of instruments for assessment of capacity in activities of daily living in children with developmental co-ordination disorder. *Child: Care, Health and Development, 41*, 23-34.
- Van Swieten, L. M., van Bergen, E., Williams, J. H., Wilson, A. D., Plumb, M. S., Kent, S. W., & Mon-Williams, M. A. (2010). A test of motor (not executive) planning in developmental coordination disorder and autism. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 36*, 493-499.
- Wang, T. N., Tseng, M. H., Wilson, B. N., & Hu, F. C. (2009). Functional performance of children with developmental coordination disorder at home and at school. *Developmental Medicine & Child Neurology, 51*(10), 817-825.
- Wechsler, D. (2005). *Echelle d'intelligence pour enfants, Quatrième Edition: WISC-IV*. Paris: les Editions du Centre de Psychologie Appliquée.
- Williams, J., Thomas, P. R., Maruff, P., & Wilson, P. H. (2008). The link between motor impairment level and motor imagery ability in children with developmental coordination disorder. *Human Movement Science, 27*, 270-285.
- Wilmut, K., & Byrne, M. (2014). Grip selection for sequential movements in children and adults with and without Developmental Coordination Disorder. *Human Movement Science, 36*, 272-284.
- 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. *American Journal of Occupational Therapy, 54*, 484-493.

Wunsch, K., Henning, A., Aschersleben, G., & Weigelt, M. (2013). A systematic review of the end-state comfort effect in normally developing children and in children with developmental disorders. *Journal of Motor Learning and Development, 1*, 59-76.

Wunsch, K., & Weigelt, M. (2016). A Three-Stage Model for the Acquisition of Anticipatory Planning Skills for Grip Selection during Object Manipulation in Young Children. *Frontiers in Psychology, 7*. Advance online publication. doi: 10.3389/fpsyg.2016.00958

Zoia, S., Pelamatti, G., Cattini, M., Casotto, V., & Scabar, A. (2002). Performance of gesture in children with and without DCD: effects of sensory input modalities. *Developmental Medicine & Child Neurology, 44*, 699-705.

SYNTHESE ET DISCUSSION

GENERALE

« Face au réel, ce qu'on croit savoir clairement offusque ce qu'on devrait savoir. Quand il se présente à la culture scientifique, l'esprit n'est jamais jeune. Il est même très vieux, car il a l'âge de ses préjugés. Accéder à la science, c'est, spirituellement rajeunir, c'est accepter une mutation brusque qui doit contredire un passé. »

Bachelard (1967, p. 17)

Une partie de ce travail de réflexion avait été initié dans une étude préliminaire :

Remigereau, C., Roy, A., Costini, C., Barbarot, S., Bru, M., & Le Gall, D. (under review). Praxis skills and executive function in children with Neurofibromatosis Type 1. *Archives of Clinical Neuropsychology*.

Rappel des objectifs et synthèse des principaux résultats

L'objectif général de notre travail de recherche était de contribuer à la compréhension du développement typique et atypique de l'utilisation d'outils chez l'enfant. Nous avons cherché plus précisément à interroger la nature des processus neuropsychologiques impliqués dans le développement de l'utilisation d'outils chez l'enfant tout-venant, ainsi que la manière dont ils dysfonctionnent chez l'enfant présentant un Trouble de l'Acquisition de la Coordination (TAC), tout en questionnant la pertinence des concepts théoriques et des évaluations cliniques mis en œuvre pour les analyser. Pour cela, le présent travail de Thèse s'est organisé autour de la rédaction de plusieurs articles scientifiques complémentaires incluant 1) un état de l'art sur la question de l'utilisation d'outils chez l'enfant, 2) une étude transversale consacrée à l'évolution des performances d'utilisation d'outils chez 85 enfants tout-venant âgés de 6 à 14 ans, et 3) une étude clinique explorant l'hypothèse d'un déficit de ces compétences chez 23 enfants TAC comparés à 44 enfants tout-venant. Avant d'examiner plus précisément les implications de nos résultats sur les plans théorique et clinique, nous proposons de les résumer brièvement.

Dans une première partie, nous avons présenté *un état des lieux des connaissances disponibles dans la littérature sur le TAC* (article I), qui met en évidence l'absence d'hypothèses théoriques consensuelles portant sur l'origine des troubles de coordination motrice. Nous avons également montré que ces lacunes conceptuelles et l'absence de définition spécifique de la coordination motrice induisent des stratégies d'évaluation peu structurées, voire affranchies de cadrage théorique. De plus, ces évaluations n'intègrent pas systématiquement l'examen du retentissement des difficultés dans la vie quotidienne de l'enfant, notamment faute de test de performance étalonné, qui permettrait d'évaluer l'utilisation d'outils et d'analyser les processus impliqués. Pourtant, cet examen fait partie intégrante des critères diagnostiques du TAC proposés dans le cadre du DSM-V (APA, 2013). Dans ce contexte, nous avons souligné que les modélisations théoriques formulées dans le développement typique et en neuropsychologie adulte

(auprès de patients apraxiques cérébro-lésés) sont susceptibles d'éclairer la compréhension des symptômes relatifs à l'utilisation d'outils décrits par l'entourage des enfants présentant un TAC.

Dans la seconde partie de cette Thèse, l'objectif principal de la première étude expérimentale (article II) était d'explorer le *développement typique de l'utilisation réelle d'outils* et ses relations avec le raisonnement technique au sein d'un échantillon d'enfants tout-venant d'âge scolaire. Nos résultats ont confirmé l'existence d'une progression significative des performances d'utilisation d'outils familiers et des capacités de résolution de problèmes mécaniques entre 6 et 14 ans. En revanche, seule une faible amélioration des scores en fonction de l'âge a été constatée s'agissant des connaissances fonctionnelles sur ces mêmes outils. En outre, nos résultats ont attesté de façon originale de l'implication des compétences de raisonnement technique dans l'utilisation d'outils familiers, tandis qu'aucune relation significative avec les connaissances fonctionnelles n'a été observée.

Avec la seconde étude clinique (article III), nous avons confirmé la présence de *perturbations dans l'utilisation réelle d'outils au sein d'un groupe d'enfants TAC*, associées à un déficit d'anticipation motrice et de dextérité manuelle. Nos résultats ont par ailleurs permis d'écarter l'hypothèse d'un déficit conceptuel de l'action dans cette population, étant donné la préservation des capacités de raisonnement technique et des connaissances fonctionnelles sur les outils. Des relations entre l'utilisation d'outils du quotidien et les capacités de raisonnement technique ont également été relevées dans cette étude, ainsi que des liens significatifs entre l'utilisation d'outils et les habiletés de dextérité manuelle.

A l'appui de cette synthèse des objectifs et principaux résultats obtenus dans le cadre de la présente Thèse, nous proposons dans cette discussion de revenir sur le rôle des différents processus neuropsychologiques susceptibles de participer au développement typique et atypique des compétences d'utilisation d'outils chez l'enfant.

Raisonnement technique et utilisation d'outils chez l'enfant

En comparaison à d'autres espèces animales, l'utilisation d'outils est très complexe et diversifiée dans les cultures humaines. Pour autant, les travaux de la littérature ont souligné à de nombreuses reprises les possibilités d'utilisation d'outils familiers des tout jeunes enfants (i.e., avant l'âge de 2 ans), en fonction des propriétés physiques de ces derniers. Selon Kahrs et Lockman (2012, p. 69), avant l'âge de 1 an « les bébés manipulent les objets avec discernement, combinant les objets et les surfaces de manière appropriée en tenant compte de la relation entre leurs compositions matérielles respectives. [...] Ils adaptent leurs actions à la partie fonctionnelle de l'objet, même si ce n'est pas cette partie qu'ils prennent dans la main ». Dès lors, il apparaît surprenant de considérer que les capacités de résolution de problèmes mécaniques, via l'utilisation d'outils non familiers (e.g., *the Hook task*, voir Beck et al., 2011), ne deviennent opérantes que vers l'âge de 8 ans. Ces éléments contredisent en effet l'hypothèse formulée en neuropsychologie adulte, selon laquelle le raisonnement technique est le processus fondamental impliqué dans l'utilisation d'outils, que ces derniers soient familiers *ou* nouveaux (e.g., résolution de problèmes mécaniques ; Le Gall, 1998 ; Osiurak, 2014 ; Osiurak & Badets, 2016).

Dans ce contexte, nous avons cherché à savoir *si les capacités de raisonnement technique étaient associées au développement typique de l'utilisation d'outils familiers chez l'enfant*. En parallèle, l'objectif était de *tester cette hypothèse dans un contexte clinique (i.e., le TAC) où les plaintes de l'entourage des enfants en vie quotidienne se cristallisent précisément sur l'utilisation des outils familiers*.

Nos résultats ont mis en évidence de fortes relations entre le raisonnement technique et l'utilisation d'outils familiers dans les articles II et III. Le raisonnement technique s'est avéré être un bon prédicteur des performances d'utilisation effective des enfants tout-venant et TAC, soutenant l'hypothèse développée en neuropsychologie adulte (i.e., l'utilisation d'outils familiers engagerait également le raisonnement technique). Dans ce contexte, l'analyse des propriétés physiques des outils sous-tendrait à la fois le développement de l'utilisation d'outils familiers *et*

nouveaux, comme la résolution de problèmes mécaniques ou encore l'utilisation d'outils familiers de manière inhabituelle. Nous pouvons ainsi supposer que le même type d'analyse technique implicite est à l'œuvre dans toute situation d'utilisation effective, qui s'apparente de fait à la résolution d'un problème (Keen, 2011). En effet, l'atteinte du but (*e.g.*, planter un clou) impose de mettre en rapport les propriétés pertinentes des outils et objets et de sélectionner les tâches qui y sont liées (*e.g.*, marteler de façon à percuter le clou avec la partie métallique du marteau, afin de transmettre l'énergie cinétique suffisante pour que le clou s'enfonce dans la planche).

De plus, nous avons souligné dans l'article II (développement typique) une progression significative des scores de résolution de problèmes mécaniques entre 6 et 14 ans, confirmant les résultats obtenus par Beck et al. (2011). Ce développement prolongé dans l'enfance ne signifie pas pour autant que le raisonnement technique n'opère pas plus tôt dans la vie de l'enfant. Nos résultats semblent indiquer qu'une forme de raisonnement est déjà mise en œuvre à 6 ans avec une problématisation a minima de la situation, même si les enfants de cet âge ne parviennent pas à extraire totalement la cible des boîtes. En effet, le détail des scores quantitatifs obtenus par les enfants montre que les propriétés des boîtes mécaniques et de l'outil choisi sont analysées et mises en rapport. Ils utilisent par exemple une tige suffisamment longue pour pouvoir atteindre et interagir avec la cible logée au fond de la *Hook task*. Ces données rejoignent des travaux récents qui soulignent qu'entre 2 ans et 3 ans et demi, les enfants sont capables de résoudre des problèmes mécaniques comprenant une seule étape, sans observation préalable ni démonstration de la solution (Reindl et al., 2016).

D'un point de vue fondamental, l'ensemble de ces résultats interrogent le caractère développemental (*i.e.*, à l'échelle ontogénétique) du raisonnement technique, qui semble participer dès les premières années de vie à la résolution de problèmes d'utilisation chez l'enfant. A l'instar du domaine des troubles du développement et des apprentissages, « le problème de savoir de savoir si le développement est à attribuer aux représentations elles-mêmes (*i.e.*, connaissances) ou au traitement de ces représentations (*i.e.*, processus), n'a pas encore été résolu (Zesiger & Hirsbrunner,

2000). La question est encore débattue dans la littérature de savoir si ces capacités techniques sont présentes d'emblée à la naissance chez l'être humain (*i.e.*, marquant ainsi une différence d'ordre phylogénétique avec d'autres animaux utilisateurs d'outils), ou si elles font l'objet d'un développement prolongé en interaction avec d'autres habiletés cognitives, sociales et sensorimotrices au cours de l'enfance (Reindl et al., 2016 ; voir aussi Fagard et al., 2016 ; Kahrs et al., 2014).

En outre, l'effet de l'âge observé dans l'article II sur les scores de résolution de problèmes mécaniques, dépendait du dispositif expérimental considéré (effet significatif pour la *Hook task* et *Sloping task*). Étant donné que les 3 problèmes mécaniques proposés aux enfants n'engagent pas les mêmes principes techniques (*e.g.*, pousser directement la cible à l'intérieur de la boîte versus créer un nouvel outil pour pouvoir l'atteindre), l'analyse abstraite des matériaux engagés et du but poursuivi nécessite d'être actualisée dans l'ici et le maintenant de la situation. Ces données sont consistantes avec les résultats de Beck et al. (2014) qui n'observent pas de transfert de « connaissances » à travers divers problèmes mécaniques (*e.g.*, *Hook task* présentée avec différents matériaux et/ou formes d'outil). Cette question du rôle des connaissances sur les objets dans l'utilisation effective est abordée dans la partie suivante.

Dans ce contexte, approfondir notre compréhension du développement de l'utilisation réelle d'outils et de ses relations avec le raisonnement technique apparaît fondamental pour l'étude du développement atypique de ces compétences. En effet, nous avons mis en évidence un développement conjoint et prolongé durant l'enfance de ces capacités, suggérant qu'elles interagissent et sont potentiellement sensibles en cas de pathologie acquise ou développementale. Nos résultats n'ont toutefois pas permis de confirmer l'hypothèse d'un trouble de raisonnement technique chez les enfants TAC, à travers l'article III. Le fait que malgré tout chez les enfants TAC, des corrélations significatives soient observées entre le raisonnement technique et l'utilisation d'outils pourrait être dû à une perturbation potentielle d'autres processus cognitifs impliqués, à l'instar des fonctions exécutives. Cette hypothèse sera explicitée plus loin dans ce chapitre. Les

variabilités interindividuelles caractéristiques de ce trouble neurodéveloppemental peuvent par ailleurs avoir masqué certains déficits de raisonnement technique à l'échelle des analyses de groupe. C'est pourquoi une analyse des performances des enfants TAC grâce à une étude de profils intra- et inter-individuels, telle qu'elle est prônée par certains auteurs (King et al., 2011), serait pertinente et complémentaire des analyses déjà réalisées. De plus, une analyse plus approfondie des stratégies employées au niveau qualitatif par les enfants TAC pour résoudre les problèmes mécaniques est également à envisager. En effet, les scores quantitatifs tels qu'ils ont été utilisés dans ce travail de Thèse ne sont pas suffisamment sensibles (plafonnement des scores déjà évoqué) et sont peu représentatifs des stratégies employées par les enfants (*e.g.*, pertinence des outils saisis, temps d'interaction de l'outil avec la boîte et appliqués sur la boîte, sélection optimale d'un outil adéquat dès la première saisie, présence de rupture de règles...).

En parallèle de ces compétences de raisonnement technique, le rôle des connaissances conceptuelles dans le développement de l'utilisation réelle d'outils chez l'enfant est également interrogé dans la littérature.

Connaissances fonctionnelles et utilisation d'outils chez l'enfant

Les connaissances fonctionnelles sur les objets, généralement définies comme un savoir sémantique sur la fonction des objets, permettent en d'autres termes de déterminer l'usage attribué à un objet selon l'objectif pour lequel il a été créé (*i.e.*, comment utiliser l'objet et dans quel but ; Jarry et al., 2016 ; voir aussi Osiurak et al., 2008). Ce concept a été largement étudié dans la littérature portant sur les troubles praxiques chez l'adulte (Bozeat et al., 2002 ; Buxbaum et al., 2000). Ces travaux ont permis de mettre en évidence des dissociations entre les connaissances fonctionnelles et l'utilisation effective d'outils (Hodges et al., 2000 ; Osiurak et al., 2008), appuyant l'hypothèse d'une indépendance fonctionnelle entre le savoir sur *l'usage* (*i.e.*, usage

conventionnel/prototypique d'un outil selon la culture) et les capacités d'*utilisation* réelle (*i.e.*, efficience de l'utilisation d'un outil en fonction du but poursuivi et non pas selon l'usage habituel). Par exemple, « une chaussure est assez lourde et solide pour servir de marteau » (Le Gall et al., 2012, p.179), même si d'ordinaire on utilise plutôt le marteau issu de la caisse à outil pour fixer un crochet au mur.

Chez l'enfant tout-venant, la présence de connaissances précoces sur l'usage habituel des objets a été relevée dès l'âge de 6 mois grâce à un paradigme de regard prédictif (*i.e.*, localisation et durée des fixations oculaires, mouvement anticipé de déplacement oculaire ; Hunnius & Bekkering, 2010). Les résultats de ces travaux indiquent que les très jeunes enfants ont déjà intégré en partie l'usage habituel de certains outils familiers de vie quotidienne. De ce fait, les enfants s'attendent à observer une certaine forme d'usage, avant même de pouvoir la mettre en œuvre par eux-mêmes de manière efficiente (*i.e.*, compte tenu de l'immaturation de leur système moteur). Une sensibilisation précoce à l'usage conventionnel des outils a ainsi été proposée (« designed for a purpose » ou « design stance », Hunnius & Bekkering, 2010 ; voir aussi Defeyter & German, 2003), faisant écho à des observations similaires réalisées dans le cadre du développement langagier, et indiquant une préférence marquée chez les nouveau-nés pour l'écoute de leur langue maternelle, par contraste avec une langue étrangère (Moon et al., 1993). Une question demeure toutefois en suspens dans la littérature concernant *le rôle de ces connaissances sémantiques dans le développement typique des capacités d'utilisation réelle d'outils*. Dans ce contexte, *un contrôle rigoureux de l'intégrité de ces processus apparaissait indispensable dans la perspective d'explorer les difficultés d'utilisation réelle d'outil chez l'enfant TAC*.

Nos résultats ont montré (article II, développement typique) une faible progression des performances à une épreuve d'appariement fonctionnel d'images d'outils (*i.e.*, entre 66 % et 79 % de réussite) entre 6 et 14 ans chez l'enfant tout-venant, rejoignant ainsi les résultats obtenus par Collette et al. (2016) avec un paradigme d'amorçage sémantique. Le « plafonnement » des résultats à 79 % de réussite est toutefois assez surprenant dans notre étude, car il pourrait indiquer que les

connaissances fonctionnelles ne sont pas encore pleinement matures à 14 ans. Néanmoins, l'interprétation la plus plausible renvoie à un biais méthodologique, car deux voire trois des outils représentés sur les images n'étaient pas bien reconnus par les enfants, rendant ainsi potentiellement artificiel le « plafonnement » des scores à 79 % de réussite. Ces résultats, combinés à ceux de l'épreuve d'utilisation réelle d'outil (*i.e.*, impliquant aussi un choix selon l'usage habituel) dans laquelle un plafonnement des performances est aussi observé dès l'âge de 8 ans, suggèrent plutôt des connaissances fonctionnelles opérantes dès l'âge de 6-7 ans (voir avant) pour les outils considérés, conformément aux résultats de Mounoud et al. (2007). En somme, ces résultats pourraient être interprétés comme une dissociation entre la possibilité « d'expliquer comment faire » (connaissances fonctionnelles) et les capacités à « faire vraiment » (résolution de problèmes mécaniques) puisque les calendriers développementaux diffèrent.

Par ailleurs, nos données soutiennent l'hypothèse d'une relative indépendance entre ces connaissances fonctionnelles et l'utilisation réelle d'outil chez les enfants contrôles sains (article II) et chez les enfants TAC (article III) puisque aucune relation significative n'a été observée dans ces deux études. Il convient de souligner que ces connaissances étaient comparables entre les deux groupes d'enfants dans notre dernier article, ce qui peut donc difficilement expliquer les perturbations d'utilisation d'outils observées dans le cadre du TAC. Ceci étant dit, si les connaissances fonctionnelles sur les outils (*i.e.*, « quoi » faire avec l'outil) ne semblent pas nécessaires, ni suffisantes pour expliquer le développement de l'utilisation effective au cours du développement, il est toutefois plausible que ces processus évoluent en parallèle et puissent interagir. Le fait de disposer de connaissances sur l'usage habituel d'un outil peut assurément en faciliter l'utilisation au quotidien (*i.e.*, économie d'une analyse de la situation d'utilisation et de la recherche de nouvelles solutions). Par exemple, pour accrocher une nouvelle toile sur le mur du salon, savoir qu'un marteau est efficace pour enfoncer le clou et qu'il se trouve généralement dans la caisse à outil, évitera de partir à la recherche d'un autre outil suffisamment lourd et solide pour servir de marteau.

En outre, ces connaissances culturelles pourraient aussi restreindre l'utilisation d'outils de vie quotidienne aux fonctions ou aux contextes pour lesquels ils ont été spécifiquement conçus. Defeyter et German (2003) ont ainsi relevé une modification des stratégies de résolution de problèmes usitées par des enfants de 5 et 7 ans. Les plus jeunes priorisaient l'utilisation d'un outil en fonction du but poursuivi (et non pas de l'usage habituellement attribué à celui-ci), tandis que les plus âgés étaient davantage influencés par l'usage prototypique (*i.e.*, "*functional fixedness*"; voir aussi Barrett et al., 2007) limitant le nombre de solutions envisagées d'un point de vue technique. Cette réduction du champ des possibles au cours du développement cognitif n'est pas sans rappeler les mécanismes de maturation cérébrale sous-jacents au niveau anatomo-fonctionnel, à savoir l'élagage des réseaux de neurones et la « spécialisation » progressive des circuits cérébraux envers les objets culturels (Houdé & Leroux, 2009). Pour autant, cela ne signifie pas que toute innovation deviendrait impossible en raison de cette "*functional fixedness*", tout comme il n'est pas impossible d'apprendre une langue étrangère au-delà de 25 ans, bien que cela devienne toutefois plus coûteux sur le plan cognitif. Pour reprendre l'exemple précédemment cité, en l'absence de marteau à disposition, l'individu cherchera à utiliser un autre outil familier de manière inhabituelle, telle qu'une chaussure ou une pierre ramassée dans le jardin.

Au-delà des connaissances fonctionnelles sur les objets, la participation d'une autre forme de connaissances conceptuelles dans le développement de l'utilisation d'outils est par ailleurs discutée dans la littérature : les représentations sensori-motrices. Ces connaissances sur la manipulation, encore nommées engrammes gestuels, renvoient aux représentations sur les gestes réalisés pour utiliser un outil spécifique de manière adéquate (*e.g.*, une clef est tenue entre le pouce et l'index, insérée dans la serrure puis tournée ; Collette et al., 2016, voir aussi chez l'adulte Buxbaum et al., 2000, 2002 et Osiurak, 2011). Chez l'enfant TAC, les études de Sinani et al. (2011) et de Chang et Yu (2016) n'ont pas mis en évidence de perturbations des connaissances sensori-motrices. Néanmoins, les épreuves expérimentales employées, visant la reconnaissance de postures manuelles d'utilisation, présentaient certaines limites méthodologiques qui méritent d'être

soulignées. Les choix multiples proposés aux enfants présentaient des variations dans les interactions allocentriques outil-objet (*e.g.*, marteau-clou) d'une photographie à l'autre (*e.g.*, marteau en contact ou non avec le clou). Les épreuves n'étaient donc pas basées uniquement sur l'appréciation des interactions egocentriques main-outil, offrant potentiellement des possibilités de compensation des difficultés grâce à des stratégies d'élimination appropriées. De plus, les auteurs ne considèrent pas dans leurs études que ce type d'épreuve puisse impliquer davantage que des connaissances spécifiques, à savoir une reconstruction *online* de l'analyse de la situation d'utilisation et de la simulation motrice du geste à produire.

D'un point de vue fondamental, l'hypothèse d'un développement de capacités effectives d'utilisation qui serait tributaire d'un répertoire de connaissances (sémantiques ou sensori-motrices) n'apparaît pas entièrement satisfaisante et mérite d'être interrogée. Dans une perspective développementale, cela signifie que les compétences d'utilisation seraient essentiellement soumises au stock de connaissances spécifiques à tel objet/geste emmagasinées par l'enfant, ce qui limiterait considérablement les possibilités d'utilisation inhabituelles et d'innovation au quotidien. Il apparaît plus plausible que la nature des informations stockées en mémoire renvoie à des principes physiques abstraits appris par l'expérience (*e.g.*, tels que pousser, tirer, frapper, couper ; Osiurak et al., 2016), lesquels ont été décrits chez les jeunes enfants dès leur première année (Khars & Lockman, 2012). A la différence des connaissances sensori-motrices, celles-ci seraient de nature mécanique, et non spécifiques d'un outil (*i.e.*, connaissances fonctionnelles) ni d'un geste manuel (*i.e.*, connaissances sensori-motrices).

De ce fait, il serait pertinent –à terme–, de pouvoir discuter les résultats des études II et III à la lumière des performances obtenues par les enfants à ce type d'épreuve afin de déterminer 1) si des connaissances sensori-motrices se développent conjointement avec l'utilisation effective d'outils sur des items appariés et 2) si les perturbations d'utilisation réelle d'outils des enfants TAC peuvent en partie s'expliquer par une atteinte de telles connaissances sur la manipulation. C'est dans cet objectif qu'une tâche a été spécifiquement développée dans le cadre du présent travail de

Thèse, avec des items appariés aux autres tâches d'utilisation réelle, mais dont les données n'ont pas encore été exploitées.

Ainsi, les troubles d'utilisation d'outils dans le TAC reflètent plus probablement des difficultés relatives au système de production d'un geste d'utilisation, plutôt qu'au système de conception (*i.e.*, connaissances fonctionnelles et raisonnement technique préservés, en comparaison au groupe contrôle apparié).

Production motrice et utilisation d'outils dans le TAC

L'individu ne peut pas utiliser un outil sans le manipuler (Osiurak & Badets, 2016) : quand nous utilisons physiquement un outil, tel qu'un couteau ou un marteau, nous le manipulons afin d'exécuter l'action mécanique visée. L'acquisition d'habiletés perceptivo-motrices chez l'enfant a ainsi fait l'objet de propositions théoriques, qui néanmoins ne permettent pas d'analyser les troubles d'utilisation d'outils dans une visée intégrative, tel que nous l'avons souligné dans l'article I. C'est pourquoi nous nous sommes appuyés dans le présent travail de Thèse sur les propositions théoriques développées chez l'adulte par Le Gall (1998) et Osiurak (2014, voir aussi Osiurak & Badets, 2016), lesquelles suggèrent une interaction réciproque entre un système conceptuel de l'action (*i.e.*, raisonnement technique, connaissances) et un système de production motrice indispensable à la mise en œuvre physique de l'action mécanique visée.

Nous avons ainsi cherché à *savoir si les perturbations de coordination motrice chez l'enfant TAC étaient susceptibles de rendre compte des difficultés d'utilisation réelle d'outil* décrites par l'entourage de ces enfants (*i.e.*, parents et enseignants). Pour cela nous avons utilisé un paradigme d'état de confort final (article III, enfants TAC), initialement développé par Rosenbaum et utilisé pour l'étude du développement typique et atypique de l'anticipation motrice (voir Rosenbaum et al., 2012 pour une revue ; Khars & Lockman, 2014 ; Rosenbaum et al., 2014 ; Wunsch et al., 2013). L'état de confort final, décrit comme une illustration adéquate du système de production motrice

(Osiurak, 2014), correspondrait à une simulation mentale de l'action (i.e., mouvement d'un objet) qui guide la sélection des postures manuelles de saisies et le cours du mouvement. Cette tendance à anticiper les actions motrices de transport ou d'utilisation d'outils (i.e., afin d'éviter des postures corporelles finales inconfortables), fait référence aux travaux développés par Gibson (1979 ; cité par Khars et Lockman, 2014) dans une approche écologique, portant sur le couplage perception-action et la notion d'affordance.

Nos résultats ont montré dans l'article III un déficit d'anticipation motrice chez l'enfant TAC sur une épreuve de transport de cylindre, en comparaison à un groupe d'enfants tout-venant apparié. Ces données confortent ainsi les résultats relevés dans la littérature chez l'enfant TAC avec d'autres épreuves (e.g., rotation de poignée ou tâche de l'épée ; Adams et al., 2016; van Swieten et al., 2010; Wilmut & Byrne, 2014). Nous avons également retrouvé une perturbation classique de la dextérité manuelle à l'épreuve du Purdue Pegboard (Gardner & Broman, 1979) dans le groupe TAC. De façon originale, nos résultats ont aussi confirmé l'existence de relations significatives entre le déficit d'utilisation réelle d'outils et les troubles de dextérité manuelle, entérinant ainsi l'idée de la participation d'un déficit du système de production dans l'expression des troubles d'utilisation chez l'enfant TAC. Toutefois, ce déficit n'est probablement pas à interpréter comme un trouble d'exécution motrice du mouvement en tant que tel. En effet, si un déficit significatif ressort au niveau statistique dans l'étude de groupe, l'écart de performances entre les deux échantillons n'est pas incommensurable et les enfants TAC ne produisaient pas d'erreur aberrante d'utilisation.

Une hypothèse explicative plus plausible concerne le trouble d'anticipation motrice relevé chez l'enfant TAC (article III). Néanmoins, aucun lien significatif n'a été observé entre ce déficit et les altérations d'utilisation réelle d'outils dans le groupe TAC, ni dans le groupe contrôle (article III), ce qui relève probablement de limites méthodologiques. En effet, l'épreuve expérimentale d'*utilisation* réelle d'outil nécessitait de modifier l'objet grâce à l'action de l'outil, ce qui implique des relations allocentriques entre l'outil et l'objet, telle qu'enfoncer un clou dans une planche en bois avec un marteau (i.e., potentiellement sous-tendues par les régions cérébrales du lobe pariétal

inférieur, voie ventro-dorsale ; Osiurak, 2014). Néanmoins, les conditions méthodologiques de cette épreuve ne permettaient pas de contrôler le facteur d'anticipation motrice lors de la saisie des outils sur le support. A contrario, la tâche du cylindre consistait à *déplacer* le bâton d'une position horizontale à une position verticale sans réelle modification des propriétés de l'objet grâce à l'action d'un outil (*i.e.*, relations égocentriques entre l'enfant et l'outil, potentiellement sous-tendues par le lobe pariétal supérieur, voie dorso-dorsale ; Osiurak, 2014). Ainsi, ces deux épreuves expérimentales impliquaient des tâches différentes (*i.e.*, transporter versus utiliser, Osiurak et al., 2008) qui n'ont pas permis d'examiner l'impact du déficit d'anticipation motrice sur l'utilisation effective et inversement. En outre, une analyse plus fine des résultats d'anticipation motrice serait à envisager afin de déterminer si certains patients TAC utilisaient des saisies « par défaut » ou s'ils corrigeaient *in extremis* leur posture de saisie du cylindre.

Si les modélisations développées chez l'adulte (Le Gall, 1998 ; Osiurak, 2014 ; Osiurak & Badets, 2016) n'explicitent pas précisément le fonctionnement du système de production d'un geste d'utilisation, les propositions théoriques récentes de Wunsch et Weigelt (2016) dans le cadre du développement typique de l'anticipation motrice, pourraient être employées pour qualifier les performances des enfants TAC. Ces auteurs développent une modélisation en 3 stades. *Au premier niveau* (avant 3 ans), les auteurs décrivent des saisies d'outils familiers avec des postures manuelles répondant à un confort immédiat (*i.e.*, pouce en l'air par défaut) visant à contrôler la tâche en cours, mais indiquant une absence d'anticipation du geste de saisie. *Au second niveau* (entre 5 et 10 ans), également appelé anticipation motrice de second ordre, une réorganisation motrice permettrait de commencer à former des associations entre la posture de saisie initiale (jugée la plus efficace) et finale (la moins inconfortable possible) de l'objet. *Au troisième et dernier niveau* (après 10 ans), les saisies d'objet deviennent flexibles et s'adaptent en fonction du but de l'action et du contexte de la situation. Dans ce contexte, de futures études sont nécessaires pour explorer ces diverses modalités d'anticipation motrice avec des outils familiers : anticiper pour simuler, anticiper pour transporter, anticiper pour utiliser, afin de tenter de situer plus précisément le niveau des troubles et déterminer

si ces derniers sont spécifiques d'un défaut de simulation ou de production motrice chez l'enfant TAC. C'est dans cette perspective que deux mémoires de recherche de Master en neuropsychologie de l'enfant ont été réalisés en étroite collaboration avec le présent travail de Thèse : *Trouble de la planification motrice et utilisation d'objets chez l'enfant TAC* (Coiffard, 2015) et *Planification motrice et utilisation d'objet, Etude développementale et comparative* (Coiffard, 2016).

Une autre hypothèse soulevée par ces auteurs (Wunsch & Weigelt, 2016) concerne le sens attribué à l'état de confort ou d'inconfort chez l'enfant. Ils remarquent en effet que ce dernier peut faire l'objet de variations selon l'âge des sujets et les modifications corporelles liées à la croissance physique chez l'enfant (*e.g.*, élasticité plus ou moins importante des articulations et ligaments). Aussi, il apparaît essentiel de souligner la pertinence de cette question dans d'autres contextes cliniques et notamment chez l'enfant TAC, pour lesquels des troubles sensori-perceptifs sont évoqués dans la littérature (Li et al., 2015 ; Schoemaker et al., 2001).

Limites de l'examen et perspectives

Les résultats de notre recherche ont permis de confirmer la présence d'un trouble d'utilisation d'outils familiers chez l'enfant TAC et de situer ce dernier au niveau du système de production dynamique d'un geste d'utilisation (*i.e.*, chargé des relations egocentriques entre l'utilisateur et l'outil ; Osiurak, 2014). D'un point de vue fondamental, il reste toutefois à expliciter précisément comment ce système de production dynamique fonctionne et se développe chez l'enfant tout-venant. En ce sens, les récentes propositions de Wunsch et Weigelt (2016) sont intéressantes et nécessitent d'être examinées de manière empirique dans de futurs travaux.

De plus, dans le cadre de la pathologie, d'autres processus cognitifs potentiellement altérés, à l'instar de l'intégration sensorielle ou des fonctions exécutives, pourraient contribuer au déficit d'utilisation d'outils familiers chez l'enfant. D'autant plus que des études ont déjà souligné la présence de telles altérations chez l'enfant TAC. D'une part, l'hypothèse d'un déficit perceptif et

d'intégration sensorielle (afférence tactile, traitement visuo-perceptif et visuo-spatial notamment) est susceptible de limiter le contrôle perceptif *online* du geste d'utilisation. De plus, l'intégration sensorielle est mise en relation avec les représentations sur le corps (*i.e.*, schéma corporel), lesquelles sont indispensables pour anticiper les déplacements dans l'environnement et estimer par exemple, le rapport entre la hauteur des marches et la longueur de nos jambes. Il reste néanmoins à déterminer de manière empirique, si les perturbations sensori-perceptives et d'intégration sensorielle relevées chez l'enfant TAC (Bair et al., 2011 ; Li et al., 2015 ; Schoemaker et al., 2001) sont significativement associées au déficit d'anticipation/de simulation motrice, ainsi qu'aux troubles d'utilisation d'outils relevés dans le TAC. C'est dans cette optique qu'un troisième mémoire de recherche de Master en neuropsychologie de l'enfant a été mené en étroite collaboration avec ce travail de Thèse : *Anticipation motrice, Intégration sensorielle et Dyspraxie développementale* (Etchenda, 2015).

D'autre part, le rôle des fonctions exécutives dans l'organisation de l'activité d'une manière générale et transversale est aujourd'hui communément admis. En neuropsychologie adulte, une altération des compétences d'utilisation, sous-tendue par un désordre du fonctionnement exécutif, a été mis en évidence dans des épreuves d'utilisation d'outils « multi-tâches » (*i.e.*, désorganisation de l'action à distinguer d'une atteinte du raisonnement technique ; Goldenberg et al., 2007). Chez l'enfant, les liens possibles entre l'utilisation d'outils, l'anticipation motrice et l'activité outillée ne sont pas clairement définis. L'hypothèse d'un processus commun impliqué à la fois dans le développement cognitif et moteur est discutée dans la littérature chez l'enfant tout-venant (*i.e.*, implication des boucles fronto-striato-cérébelleuses ; Diamond, 2000 ; Fernandes et al., 2016 ; Shaheen, 2013). La présence d'un dysfonctionnement exécutif a par ailleurs été relevée chez l'enfant TAC (Ruddock et al., 2015 ; Toussaint-Thorin et al., 2013 ; Wang et al., 2011), sans que les répercussions éventuelles de ce déficit sur l'utilisation d'outils ou l'anticipation motrice ne soient examinées de manière approfondie (*e.g.*, planification exécutive versus planification motrice). C'est dans cet objectif que des épreuves exécutives et des activités d'utilisation d'outils

multi-tâches ont été annexées au protocole expérimental du présent travail de Thèse, sans que les données n'aient pour le moment pu être exploitées. Compte tenu du rôle essentiel supposé des processus exécutifs pour le développement psychologique de l'enfant au sens large, la question du profil exécutif des enfants TAC et de son interaction potentielle avec les troubles d'utilisation représente un enjeu clinique et théorique fondamental (voir Roy, 2015).

En outre, à l'image des doubles dissociations fonctionnelles observées en neuropsychologie adulte entre des altérations sémantiques, exécutives et techniques, une analyse sémiologique comparative dans différents contextes pathologiques chez l'enfant pourrait être envisagée afin de déterminer si diverses atteintes cognitives (*e.g.*, déficit d'anticipation motrice/simulation motrice, trouble sensori-perceptif, dysfonctionnement exécutif) peuvent se répercuter de manière différentielle sur l'utilisation d'outils. Cette démarche avait initialement été envisagée lors de l'élaboration du projet de Thèse, et nous avait conduit à inclure, en parallèle du recrutement des enfants TAC, des enfants anciens prématurés et des enfants atteints de Neurofibromatose de type 1, en vue d'une comparaison des profils cognitifs selon les étiologies.

Dans le prolongement des questionnements théoriques et méthodologiques qui ont accompagnés ce travail, l'étude de l'utilisation d'outils chez l'enfant amène à s'interroger d'un point de vue clinique sur les critères diagnostiques du TAC. Si l'hétérogénéité des troubles présentés par les enfants TAC a été mentionné à plusieurs reprises dans la littérature (Smits-Engelsman et al., 2015 ; Zwicker et al., 2012), il est d'autant plus surprenant de constater que certaines études constituent leurs groupes expérimentaux (*e.g.*, enfants TAC en comparaison à des enfants contrôles) uniquement sur la base de résultats isolés à une batterie d'évaluation du mouvement administrée au sein d'une école.

“The participants of this study were 82 children between 7 and 12 years of age ($M = 10.3$ $SD = 1.4$, 36 male and 46 female). They were recruited from three regular primary schools in the suburbs of Melbourne. Motor skills were assessed by the McCarron Assessment of Neuromuscular Development (MAND). [...] Children scoring below the 15th percentile on the MAND were considered to meet basic research criteria for DCD and children scoring

above the 20th percentile were used in the control group (Hyde & Wilson, 2011; Wilson et al., 2004). This yielded 21 children in the DCD group (Mage = 10.4, 11 male, 10 female) and 56 children in the control group (Mage = 10.3, 22 male, 34 female)."

Noten et al. (2014, p.1154).

Au-delà d'un problème d'imprécision des critères diagnostiques du TAC, il apparaît fondamental d'interroger le sens de cette démarche expérimentale (que l'on retrouve parfois dans certains lieux de prise en charge clinique des patients), d'un point de vue épistémologique. Si l'on se situe à un tel niveau phénoménologique d'observation du mouvement, sans appréciation qualitative de retentissement en vie quotidienne, ni d'appréhension d'une spécificité du phénomène observé (*i.e.*, n'est pas lié à un autre trouble neuropsychologique), ni de validation de critères d'exclusion ou de persistance des phénomènes observés, comment une conclusion sur la présence ou l'absence d'un quelconque déficit peut-elle être formulée pour un échantillon d'enfants qualifiés de « TAC » ? Dans ces conditions, quel sens pourrait être attribué à l'analyse des processus cognitifs sous-jacents aux « troubles » de coordination motrice de ces enfants ? Ce constat rappelle les limites d'une approche psychométrique utilisée sans discernement (Roy, 2007) et dont les excès peuvent aboutir à des non sens thérapeutiques et/ou des adaptations pédagogiques inappropriées, voire des orientations scolaires inadaptées aux difficultés de l'enfant.

Dans le champ clinique des troubles d'apprentissage ou neurodéveloppementaux chez l'enfant, il apparaît donc fondamental de porter une plus grande attention à l'identification et au diagnostic du TAC, afin de pouvoir développer des prises en charge individualisées et des adaptations pédagogiques spécifiques, selon l'identification précise des processus neuropsychologiques impliqués dans l'expression des symptômes. Dans ce contexte, l'enjeu de ce travail de Thèse était de fournir des éléments de réflexion pour la création et la validation d'une batterie d'évaluation clinique de l'utilisation d'outils chez l'enfant.

CONCLUSION

Les résultats que nous avons obtenus apportent des éléments de réponse dans un champ de la neuropsychologie du développement qui a été très peu exploré : l'utilisation d'outils. De manière générale, les apports de ce travail de Thèse sont à situer à divers niveaux complémentaires.

Au niveau théorique, nous avons mis en évidence l'apport des propositions théoriques développées en neuropsychologie adulte dans la compréhension de la symptomatologie liée aux difficultés d'utilisation d'outils chez l'enfant TAC. A défaut de disposer de telles modélisations intégratives chez l'enfant, les travaux de Le Gall (1998) et Osiurak (2014 ; Osiurak & Badets, 2016) permettent de mettre en perspective l'hypothèse d'une perturbation de l'utilisation d'outils chez l'enfant TAC au niveau de la production dynamique du geste, en écartant corrélativement l'idée d'une altération technique spécifique de l'utilisation d'outils.

Au niveau méthodologique, ce travail souligne de façon indirecte l'importance d'inclure de manière plus systématique une évaluation de l'utilisation d'outils dans le bilan neuropsychologique chez l'enfant, afin d'interroger l'impact des troubles dans les activités de vie quotidienne. Dans cette optique, il apparaît primordial de faire produire par les enfants des actions réelles d'utilisation afin de pouvoir évaluer *online* les performances, dans la mesure où l'évaluation des connaissances ou des capacités d'imagerie mentale ne préjuge pas de l'efficacité de l'action réelle.

Au niveau clinique, enfin, nous avons confirmé la nécessité d'une identification rigoureuse des critères diagnostiques, en interrogeant comme le propose Roy (2007) à la fois la *significativité* des altérations de la coordination motrice et de l'utilisation d'outils (critère quantitatif)-via des évaluations standardisées des performances-, mais en intégrant aussi leur *retentissement* dans la vie quotidienne de l'enfant (critère qualitatif) -par le biais de l'entretien clinique et de l'utilisation de questionnaires complétés par les parents et les enseignants-. Cette démarche de réflexion

diagnostique doit également porter sur la question de *l'exclusion* des facteurs neurologiques et/ou psychologiques (critère d'exclusion) susceptibles de rendre compte à eux-seuls des difficultés de l'enfant, afin de déterminer ce qui pourrait relever d'un trouble neurodéveloppemental au sens spécifique du terme. Il s'agit également, dans cette perspective, de tenir compte de la *persistance* des troubles dans le temps (critère de durée) grâce à un suivi longitudinal, afin d'une part de confirmer ou d'infirmer le diagnostic du TAC, et d'autre part d'apprécier l'effet des prises en charges rééducatives et d'ajuster les adaptations pédagogiques proposées. Cette perspective de suivi longitudinal a également été envisagée en parallèle du présent travail de Thèse au sein de notre laboratoire (Projet OVQ, volet enfant).

Ainsi, les enjeux d'une démarche diagnostique qui soit davantage articulée sur ce type d'argumentaire sont véritablement d'ordre éthique et déontologique. Pour ne pas se contenter d'une appréhension des troubles basée exclusivement sur l'application sans discernement d'une batterie d'évaluation du mouvement, les neuropsychologues sont aujourd'hui confrontés à la nécessité de penser les cadres théoriques qui leur permettront de réinventer les stratégies d'examen dans le TAC, et plus globalement au sein des troubles d'apprentissage chez l'enfant.

BIBLIOGRAPHIE

- Adams, I. L., Ferguson, G. D., Lust, J. M., Steenbergen, B., & Smits-Engelsman, B. C. (2016). Action planning and position sense in children with Developmental Coordination Disorder. *Human Movement Science, 46*, 196-208.
- American Psychiatric Association (2013). *Diagnostic and statistical manual of mental disorders (DSM 5th ed.)*. Washington (D. C.), London: American Psychiatric Pub.
- Ayres, J. (1972). *Sensory integration and learning disorders*. Los Angeles: Western Psychological Services.
- Bachelard, G. (1967). *La formation de l'esprit scientifique : contribution à une psychanalyse de la connaissance*. Paris : Librairie philosophique J. Vrin.
- Bair, W. N., Barela, J. A., Whittall, J., Jeka, J. J., & Clark, J. E. (2011). Children with developmental coordination disorder benefit from using vision in combination with touch information for quiet standing. *Gait & Posture, 34*(2), 183-190.
- Barrett, T. M., Davis, E. F., & Needham, A. (2007). Learning about tools in infancy. *Developmental Psychology, 43*(2), 352.
- Baumard, J. (2015). *De l'outil et du corps. Etude neuropsychologique des troubles praxiques et du schéma corporel dans les pathologies neurodégénératives*. Thèse de doctorat non publiée. Université d'Angers, Angers, France.
- Beck, S.R., Apperly, I.A., Chappell, J., Guthrie, C., & Cutting, N. (2011). Making tools isn't child's play. *Cognition, 119*, 301–306.

- Beck, S. R., Cutting, N., Apperly, I. A., Demery, Z., Iliffe, L., Rishi, S., & Chappell, J. (2014). Is tool-making knowledge robust over time and across problems? *Frontiers in Psychology*, 5(1395), 1-10.
- 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 and Child Neurology*, 54, 54-93.
- Bozeat, S., Lambon Ralph, M. A., Patterson, K., & Hodges, J. R. (2002). When objects lose their meaning: what happens to their use? *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, 2(3), 236-251.
- Buxbaum, L. J., & Saffran, E. M. (2002). Knowledge of object manipulation and object function: dissociations in apraxic and nonapraxic subjects. *Brain and Language*, 82(2), 179-199.
- Buxbaum, L. J., Veramonti, T., & Schwartz, M. F. (2000). Function and manipulation tool knowledge in apraxia: knowing 'what for' but not 'how'. *Neurocase*, 6(2), 83-97.
- Chang, S. H., & Yu, N. Y. (2016). Comparison of motor praxis and performance in children with varying levels of developmental coordination disorder. *Human Movement Science*, 48, 7-14.
- Chokron, S. (2010). Approche neuropsychologique des troubles des apprentissages. In S. Chokron, J.-F. Démonet (Eds.), *Approche neuropsychologique des troubles des apprentissages* (pp.9-25). Bruxelles : De Boeck Supérieur SA.
- Coiffard, C. (2015). *Trouble de la planification motrice et utilisation d'objets chez l'enfant TAC*. Mémoire de Master 1 non publié. Université d'Angers, Angers, France.
- Coiffard, C. (2016). *Planification motrice et utilisation d'objet : Etude développementale et comparative*. Mémoire de Master 2 non publié. Université d'Angers, Angers, France.

- Collette, C., Bonnotte, I., Jacquemont, C., Kalénine, S., & Bartolo, A. (2016). The development of object function and manipulation knowledge: evidence from a semantic priming study. *Frontiers in Psychology*, 7(1239), 1-11.
- Conners, K. (2000). *Echelle de Conners pour les parents - révisée: version brève (CPRS-R :S)*, traduite par J. Renaud, P. Oigny et S. Robinson. Toronto: Multi-Health Systems
- Costini, O., Remigereau, C., Roy, A., Faure, S., & Le Gall, D. (2014). Troubles visuo-spatiaux dans la dyspraxie: peut-on encore parler de dyspraxie. *Approche Neuropsychologique des Apprentissages chez l'Enfant*, 26, 127-36.
- Costini, O., Roy, A., Faure, S., & Le Gall, D. (2013). La dyspraxie développementale: actualités et enjeux. *Revue de Neuropsychologie*, 5(3), 200-212.
- Defeyter, M. A., & German, T. P. (2003). Acquiring an understanding of design: evidence from children's insight problem solving. *Cognition*, 89, 133–155.
- Désautels, J., & Larochelle, M. (1989). *Qu'est-ce que le savoir scientifique ? Points de vue d'adolescents et d'adolescentes*. Québec : Presses de l'Université Laval.
- Diamond, A. (2000). Close interrelation of motor development and cognitive development and of the cerebellum and prefrontal cortex. *Child Development*, 71(1), 44-56.
- Dunn, W. (2010). *Profil sensoriel: manuel*. Montreuil : Les Éditions du Centre de Psychologie Appliquée.
- Etchenda, M. (2015). *Anticipation motrice, Intégration sensorielle et Dyspraxie développementale*. Mémoire de Master 1 non publié. Université d'Angers, Angers, France.
- Fagard, J., Rat-Fischer, L., Esseily, R., Somogyi, E., & O'Regan, J. K. (2016). What does it take for an infant to learn how to use a tool by observation? *Frontiers in Psychology*, 7(267), 1-11.

- Fernandes, V. R., Ribeiro, M. L. S., Melo, T., de Tarso Maciel-Pinheiro, P., Guimarães, T. T., Araújo, N. B., ... & Deslandes, A. C. (2016). Motor Coordination Correlates with Academic Achievement and Cognitive Function in Children. *Frontiers in Psychology*, 7(318), 1-8.
- Gardner, R. A., & Broman, M. (1979). The Purdue Pegboard: Normative data on 1334 school children. *Journal of Clinical Child & Adolescent Psychology*, 8(3), 156-162.
- Geuze, R., Schoemaker, M., & Smits-Engelsman, B. (2015). Clinical and research criteria for Developmental coordination disorder, should they be one and the same? *Current Developmental Disorders Reports*, 2, 127-130.
- Goldenberg, G. (1999). Matching and imitation of hand and finger postures in patients with damage in the left or right hemispheres. *Neuropsychologia*, 37(5), 559-566.
- Goldenberg, G., Hartmann-Schmid, K., Sürer, F., Daumüller, M., & Hermsdörlfer, J. (2007). The impact of dysexecutive syndrome on use of tools and technical devices. *Cortex*, 43(3), 424-435.
- Habib, M., Giraud, K., & Liégeois-Chauvel, C. (2005). Ontogénèse, environnement pré- et postnatal et troubles d'apprentissage. In C. Hommet, I. Jambaqué, C. Billard, & P. Gillet (Eds.), *Neuropsychologie de l'enfant et troubles du Développement* (pp. 37-58). Marseille : Solal.
- Hodges, J. R., Bozeat, S., Lambon Ralph, M. A., Patterson, K., & Spatt, J. (2000). The role of conceptual knowledge in object use evidence from semantic dementia. *Brain*, 123(9), 1913-1925.
- Holmes, N. P., & Spence, C. (2004). The body schema and multisensory representation (s) of peripersonal space. *Cognitive Processing*, 5(2), 94-105.
- Houdé, O., & Leroux, G. (2009). *Psychologie du développement cognitif*. Paris : Presses universitaires de France.

- Hunnius, S., & Bekkering, H. (2010). The early development of object knowledge: A study of infants' visual anticipations during action observation. *Developmental Psychology, 46*(2), 446-454.
- Jarry, C. (2013). *Les troubles d'utilisation d'objets : de la neuropsychologie cognitive vers l'anthropologie clinique*. Thèse de doctorat non publiée. Université d'Angers, Angers, France.
- Jarry, C., Osiurak, F., Etcharry-Bouyx, F., Baumard, J., Lesourd, M., & Le Gall, D. (2016). Stratégies d'évaluation des troubles d'utilisation d'objets. *Revue de neuropsychologie, 8*(2), 108-117.
- Jarry, C., Osiurak, F., & Le Gall, D. (2016). Vous avez dit HOMO FABER ? *Tétralogiques, 21*, 59-86.
- Kahrs, B. A., Jung, W. P., & Lockman, J. J. (2014). When does tool use become distinctively human? Hammering in young children. *Child Development, 85*(3), 1050-1061.
- Kahrs, B. A., & Lockman, J. J. (2012). L'utilisation d'objets comme outils: un développement continu. *Enfance; Psychologie, Pédagogie, Neuropsychiatrie, Sociologie, 64*(1), 61-72.
- Kahrs, B. A., & Lockman, J. J. (2014). Building tool use from object manipulation: A perception-action perspective. *Ecological Psychology, 26*, 88-97.
- Keen, R. (2011). The development of problem solving in young children: A critical cognitive skill. *Annual Review of Psychology, 62*, 1-21.
- Khomsî, A. (2001). *Evaluation du Langage Oral*. Paris : Les Éditions du Centre de Psychologie Appliquée.
- King, B. R., Harring, J. R., Oliveira, M. A., & Clark, J. E. (2011). Statistically characterizing intra- and inter-individual variability in children with Developmental Coordination Disorder. *Research in Developmental Disabilities, 32*(4), 1388-1398.

- Korkman, M., Kirk, U., & Kemp, S. (2003). *Bilan Neuropsychologique de l'enfant : NEPSY*. Paris : Les Éditions du Centre de Psychologie Appliquée.
- Krebs, M. O., Gut-Fayand, A., Bourdel, M. C., Dischamp, J., & Olié, J. P. (2000). Validation and factorial structure of a standardized neurological examination assessing neurological soft signs in schizophrenia. *Schizophrenia research*, *45*(3), 245-260.
- Le Gall, D. (1998). *Des apraxies aux atechnies. Propositions pour une ergologie clinique*. Bruxelles: De Boeck Université.
- Le Gall, D., Etcharry-Bouyx, F., & Osiurak, F. (2012). Les apraxies: synthèse et nouvelles perspectives. *Revue de Neuropsychologie*, *4*(3), 174-185.
- Li, K. Y., Su, W. J., Fu, H. W., & Pickett, K. A. (2015). Kinesthetic deficit in children with developmental coordination disorder. *Research in Developmental Disabilities*, *38*, 125-133.
- Moon, C., Cooper, R. P., & Fifer, W. P. (1993). Two-day-olds prefer their native language. *Infant Behavior and Development*, *16*(4), 495-500.
- Mounoud, P., Duscherer, K., Moy, G., & Perraudin, S. (2007). The influence of action perception on object recognition: a developmental study. *Developmental Science*, *10*(6), 836-852.
- Noten, M., Wilson, P., Ruddock, S., & Steenbergen, B. (2014). Mild impairments of motor imagery skills in children with DCD. *Research in Developmental Disabilities*, *35*(5), 1152-1159.
- Oldfield, R. C. (1971). The assessment and analysis of handedness: The Edinburgh inventory. *Neuropsychologia*, *9*, 97-113.
- Osiurak, F. (2014). What Neuropsychology tells us about human tool use? The four constraints theory (4CT): Mechanics, Space, Time, and Effort. *Neuropsychology Review*, *24*, 88-115.
- Osiurak, F. (2016). *Apraxie et troubles d'utilisation d'outils: «Que sais-je?» n° 4063*. Presses Universitaires de France.

- Osiurak, F., Aubin, G., Allain, P., Jarry, C., Richard, I., & Le Gall, D. (2008). Object utilization and object usage: A single-case study. *Neurocase*, *14*(2), 169-183.
- Osiurak, F., & Badets, A. (2016). Tool use and affordance: Manipulation-based versus reasoning-based approaches. *Psychological Review*. Advance online publication. doi: 10.1037/rev0000027
- Osiurak, F., Reynaud, E., Navarro, J., & Lesourd, M. (2016). Commentary: Effects of dividing attention on memory for declarative and procedural aspects of tool use. *Frontiers in Psychology*, *7*(1488), 1-3.
- Reindl, E., Beck, S. R., Apperly, I. A., & Tennie, C. (2016). Young children spontaneously invent wild great apes' tool-use behaviours. *Proceedings of the Royal Society Biological Sciences*, *283*(2402), 1-7.
- Remigereau, C., Roy, A., Costini, C., Barbarot, S., Bru, M., & Le Gall, D. (under review). Praxis skills and executive function in children with Neurofibromatosis Type 1. *Archives of Clinical Neuropsychology*.
- Remigereau, C., Roy, A., Costini, O., Osiurak, F., Jarry, C. and Le Gall (2016). Involvement of technical reasoning more than functional knowledge in development of tool use in childhood. *Frontiers in Psychology*, *7*: 1625. doi: 10.3389/fpsyg.2016.01625
- Rosenbaum, D. A., Chapman, K. M., Weigelt, M., Weiss, D. J., & van der Wel, R. (2012). Cognition, action, and object manipulation. *Psychological Bulletin*, *138*(5), 924-946.
- Rosenbaum, D. A., Herbort, O., Van der Wel, R., & Weiss, D. J. (2014). What's in a Grasp? *American Scientist*, *102*(5), 366-373.
- Roy, A. (2007). *La Neurofibromatose de type 1. Approche clinique et critique*. Thèse de doctorat non publiée. Université d'Angers, Angers, France.

- Roy, A. (2015). Approche neuropsychologique des fonctions exécutives de l'enfant : état des lieux et éléments de prospective. *Revue de Neuropsychologie*, 7(4), 245-256.
- Roy, A., Allain, P., Roulin, J. L., Fournet, N., & Le Gall, D. (2015). Ecological approach of executive functions using the Behavioural Assessment of the Dysexecutive Syndrome for Children (BADS-C): Developmental and validity study. *Journal of clinical and experimental neuropsychology*, 37(9), 956-971.
- Roy, A., Barbarot, S., Roulin, J. L., Charbonnier, V., Fasotti, L., Stalder, J. F., & Le Gall, D. (2014). Is executive function specifically impaired in children with Neurofibromatosis type 1? A neuropsychological investigation of cognitive flexibility. *Applied Neuropsychology: Child*, 3(2), 94-102.
- Roy, A., Kefi, M.-Z., Bellaj, T., Fournet, N., Le Gall, D., & Roulin, J.-L. (2016). The Stroop test: A developmental study in a French children sample aged 7 to 12 years. *Psychologie Française*, Advance online publication. doi: 10.1016/j.psfr.2016.08.001
- Roy, A., Roulin, J. L., Charbonnier, V., Allain, P., Fasotti, L., Barbarot, S., ... & Le Gall, D. (2010). Executive dysfunction in children with neurofibromatosis type 1: a study of action planning. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 16(06), 1056-1063.
- Ruddock, S., Piek, J., Sugden, D., Morris, S., Hyde, C., Caeyenberghs, K., & Wilson, P. (2015). Coupling online control and inhibitory systems in children with developmental coordination disorder: goal-directed reaching. *Research in Developmental Disabilities*, 36, 244-255.
- Shaheen, S. (2013). Motor Assessment in pediatric neuropsychology: Relationships to executive function. *Applied Neuropsychology Child*, 2, 116-124.
- Schoemaker, M. M., van der Wees, M., Flapper, B., Verheij-Jansen, N., Scholten-Jaegers, S., & Geuze, R. H. (2001). Perceptual skills of children with developmental coordination disorder. *Human Movement Science*, 20(1), 111-133.

- Sinani, C., Sugden, D. A., & Hill, E. L. (2011). Gesture production in school vs. clinical samples of children with Developmental Coordination Disorder (DCD) and typically developing children. *Research in Developmental Disabilities, 32*, 1270-1282.
- Soppelsa, R., & Albaret, M. (2004). *Adaptation française de la Batterie d'Evaluation du Mouvement chez l'Enfant (M-ABC)*. Paris : ECPA.
- Smits-Engelsman, B., Schoemaker, M., Delabastita, T., Hoskens, J., & Geuze, R. (2015). Diagnostic criteria for DCD: Past and future. *Human Movement Science, 42*, 293-306.
- Stöckel, T., & Hughes, C. M. (2015). The relation between measures of cognitive and motor functioning in 5-to 6-year-old children. *Psychological Research*, doi: 10.1007/s00426-015-0662-0
- Thibaut, J. P., & Toussaint, L. (2010). Developing motor planning over ages. *Journal of Experimental Child Psychology, 105*(1), 116-129.
- Toussaint-Thorin M, Marchal F, Benkhaled O, Pradat-Diehl, P., Boyer, F. C., & Chevignard, M. (2013). Executive functions of children with developmental dyspraxia: Assessment combining neuropsychological and ecological tests. *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine, 56*(4), 268-287.
- Van Swieten, L. M., van Bergen, E., Williams, J. H., Wilson, A. D., Plumb, M. S., Kent, S. W., & Mon-Williams, M. A. (2010). A test of motor (not executive) planning in developmental coordination disorder and autism. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 36*, 493-499.
- Wechsler, D. (2005). *Echelle d'intelligence pour enfants, Quatrième Edition: WISC-IV*. Paris : les Editions du Centre de Psychologie Appliquée.

- Wilmot, K., & Byrne, M. (2014). Grip selection for sequential movements in children and adults with and without Developmental Coordination Disorder. *Human Movement Science, 36*, 272-284.
- Wuang, Y. P., Su, C. Y., & Su, J. H. (2011). Wisconsin Card Sorting Test performance in children with developmental coordination disorder. *Research in Developmental Disabilities, 32*(5), 1669-1676.
- Wunsch, K., Henning, A., Aschersleben, G., & Weigelt, M. (2013). A systematic review of the end-state comfort effect in normally developing children and in children with developmental disorders. *Journal of Motor Learning and Development, 1*(3), 59-76.
- Wunsch, K., & Weigelt, M. (2016). A three-stage model for the acquisition of anticipatory planning skills for grip selection during object manipulation in young children. *Frontiers in Psychology, 7*(958), 1-5.
- Zesiger, P. E., & Hirsbrunner, T. (2000). Neuropsychologie du développement: réflexions sur quelques questions actuelles. *Revue de Neuropsychologie, 10*(3), 369-386.
- Zwicker, J. G., Missiuna, C., Harris, S. R., & Boyd, L. A. (2012). Developmental coordination disorder: a review and update. *European Journal of Paediatric Neurology, 16*(6), 573-581.

ANNEXES

ANNEXE 1. CONVENTION D'ACCUEIL AVEC LE CENTRE RÉFÉRENT DES TROUBLES D'APPRENTISSAGES DU CHU DE NANTES.....	I
ANNEXE 2. CONVENTION D'ACCUEIL AVEC LE CENTRE DE RÉADAPTATION LES CAPUCINS À ANGERS.....	V
ANNEXE 3. EXAMEN NEUROPÉDIATRIQUE - PATIENTS.....	IX
ANNEXE 4. NOTICE D'INFORMATION - ÉTABLISSEMENTS SCOLAIRES.....	XII
ANNEXE 5. AVIS FAVORABLE DE L'INSPECTION ACADÉMIQUE DE MAINE-ET-LOIRE.....	XIV
ANNEXE 6. RECUEIL ANAMNESTIQUE, ENFANTS TOUT-VENANT.....	XV
ANNEXE 7. ESTIMATION DU NIVEAU SOCIOCULTUREL DES PARENTS.....	XVII
ANNEXE 8. MANUEL DE PASSATION - PROTOCOLE EXPÉRIMENTAL.....	XVIII
ANNEXE 9. CAHIER DE PASSATION.....	LXVII
ANNEXE 10. NOTICE D'INFORMATION - PATIENTS.....	XCVIII
ANNEXE 11. NOTICE D'INFORMATION - ENFANTS TOUT-VENANT.....	C
ANNEXE 12. FORMULAIRE DE CONSENTEMENT.....	CII

**ANNEXE 1. CONVENTION D'ACCUEIL AVEC LE CENTRE REFERENT DES TROUBLES
D'APPRENTISSAGES DU CHU DE NANTES**

CONVENTION D'ACCUEIL

ENTRE :

L'Université d'Angers,

Pour le compte du Laboratoire de Psychologie des Pays de la Loire (UPRES EA 4638)
situé 40, Rue de Rennes, BP 73532, 49 035 ANGERS Cedex 01
représenté par son Président, Monsieur Jean-Paul SAINT-ANDRE

Ci-après dénommé « l'Université d'Angers »

D'une part,

ET :

Le Centre Hospitaliser Universitaire de Nantes,

situé 7, Quai Moncousu, 44 093 NANTES Cedex 1
représenté par sa Directrice Générale, Madame Christiane COUDRIER

Ci-après dénommé « le CHU de Nantes », .

plus particulièrement l'Unité Pédiatrique des Troubles d'Apprentissage (UPTA) et le Centre
Réfèrent du Langage (CRL), de l'Hôpital mère-enfant

D'autre part,

Ci-après dénommés collectivement par « les Parties » ou individuellement par « la Partie ».

ETANT PREALABLEMENT EXPOSE QUE :

Dans le cadre de la réalisation de ses travaux de recherche sur la spécificité des atteintes gestuelles dans les dyspraxies chez l'enfant, le CHU de Nantes accueillera Mademoiselle Chrystelle REMIGEREAU dans les locaux de l'Unité Pédiatrique des Troubles d'Apprentissage (UPTA) et du Centre Référent du Langage (CRL), de l'Hôpital Mère-Enfant. Dans ce cadre, le temps de travail mensuel de Mademoiselle Chrystelle REMIGEREAU sera variable chaque mois, répondant aux contraintes de la recherche clinique. A titre indicatif, la base mensuelle est fixée au minimum à 1 jour par mois, et au maximum à 100% de l'ETP.

Les Parties décident ainsi de mettre en place la présente convention pour définir les modalités d'accueil et d'hébergement de Mademoiselle Chrystelle REMIGEREAU.

IL A ETE CONVENU ET ARRETE CE QUI SUIT :**ARTICLE I – OBJET**

La présente convention définit les conditions d'accueil et d'hébergement dans les locaux du CHU de Nantes de Mademoiselle Chrystelle REMIGEREAU, actuellement doctorante au laboratoire LPPL (*Laboratoire de Psychologie des Pays de la Loire ; UPRES EA 4638*) de l'Université d'Angers.

ARTICLE II – DATE D'EFFET - DUREE

La présente convention entre en vigueur à compter du 5 novembre 2012. Sa durée est de 36 mois, à compter de sa date d'entrée en vigueur.

Elle pourra être renouvelée par avenant signé entre les Parties, qui précisera les modalités de cette prolongation.

Il pourra y être mis fin par les Parties dans les conditions prévues par l'article 9 ci-après.

ARTICLE III – LIEU D'ACCUEIL

Mademoiselle Chrystelle REMIGEREAU sera accueillie dans les locaux de l'Unité Pédiatrique des Troubles d'Apprentissage (UPTA) et du Centre Référent du Langage (CRL), de l'hôpital Mère-Enfant du CHU de Nantes.

ARTICLE IV – CONDITIONS D'ACCUEIL

- IV.1 Le CHU de Nantes fournira à Mademoiselle Chrystelle REMIGEREAU les conditions d'accueil nécessaires à l'accomplissement de ses activités, et analogues à celles du personnel du CHU de Nantes.
- IV.2 Mademoiselle Chrystelle REMIGEREAU travaillant sur le site du CHU de Nantes restera placée sous l'autorité hiérarchique et administrative de l'Université d'Angers, qui reste son employeur.
- IV.3 En parallèle, les activités que Mademoiselle Chrystelle REMIGEREAU effectuera au CHU de Nantes seront également sous la responsabilité du Dr. Arnaud ROY, coordinateur de l'Unité

Pédiatrique des Troubles d'Apprentissage (UPTA) et du Centre Référent du Langage (CRL), et co-encadrant du doctorat.

- IV.4 Mademoiselle Chrystelle REMIGEREAU bénéficiera des partenariats et conventions dont disposent l'Unité Pédiatrique des Troubles d'Apprentissage (UPTA) et du Centre Référent du Langage (CRL), de l'hôpital Mère-Enfant du CHU de Nantes.

ARTICLE V – ENGAGEMENTS DU CHU

- V.1 A la signature des présentes, le salarié de l'Université d'Angers que le CHU de Nantes accueille dans le cadre de la présente convention est Mademoiselle Chrystelle REMIGEREAU.
- V.2 L'Université d'Angers s'engage à faire respecter par Mademoiselle Chrystelle REMIGEREAU le règlement intérieur du CHU de Nantes ainsi que les consignes d'hygiène, de sécurité, de restriction d'accès et d'usage des moyens informatiques en vigueur sur le site du CHU de Nantes.

ARTICLE VI – RESPONSABILITE - ASSURANCE A L'EGARD DES TIERS

Mademoiselle Chrystelle REMIGEREAU s'engage à souscrire une police d'assurance couvrant sa responsabilité civile à raison des dommages corporels ou matériels qu'elle pourrait provoquer.

La police d'assurance couvrira les dommages corporels sans limitation de montant, ainsi que les dommages matériels (*liés aux risques de vol, détérioration, incendie et explosion*) pour la valeur de remplacement ou de réparation de ses propres matériels, ainsi que ceux mis à disposition par le CHU de Nantes.

A cet effet, Mademoiselle Chrystelle REMIGEREAU transmettra au CHU de Nantes, au plus tard quinze (15) jours suivant la date de signature de la présente convention, une attestation d'assurance couvrant les risques précités, pour la période définie à l'article II ci-dessus.

ARTICLE VII – CONFIDENTIALITE

L'Université d'Angers s'engage à faire respecter par Mademoiselle Chrystelle REMIGEREAU la confidentialité des informations, résultats et connaissances de quelque nature que ce soit, qu'elle pourrait être amenée à connaître à l'occasion de ses activités et/ou de l'utilisation des locaux, équipements et prestations mis à sa disposition par le CHU de Nantes, et ceci jusqu'à ce qu'ils soient tombés dans le domaine public.

Cette obligation de confidentialité est maintenue pour une durée de cinq (5) ans après le départ de Mademoiselle Chrystelle REMIGEREAU.

ARTICLE VIII – CONDITIONS FINANCIERES

Mademoiselle Chrystelle REMIGEREAU sera accueillie gratuitement pendant toute la durée de la présente convention.

ARTICLE IX – RESILIATION

La présente convention pourra être résiliée de façon anticipée et à tout moment par chacune des Parties ; cette résiliation devra être effectuée par courrier recommandé avec un préavis minimum de deux (2) mois.

La présente convention sera résiliée de plein droit par l'une des Parties en cas d'inexécution par l'autre d'une ou plusieurs des obligations contenues dans ses diverses clauses. Cette résiliation ne deviendra effective que trois (3) mois après l'envoi par la Partie plaignante d'une lettre recommandée avec accusé de réception, exposant les motifs de la plainte, à moins que, dans ce délai, la Partie défaillante n'ait satisfait à ses obligations ou n'ait apporté la preuve d'un empêchement consécutif à un cas de force majeure.

L'exercice de cette faculté de résiliation ne dispense par la partie défaillante de remplir les obligations contractées jusqu'à la date de prise d'effet de la résiliation et ce, sous réserve des dommages éventuellement subis par la Partie plaignante du fait de la résiliation anticipée de la convention.

ARTICLE X – LITIGES - LOI APPLICABLE

La présente convention est régie par les lois et jurisprudences françaises.

Tout litige intervenant entre les Parties au cours de l'exécution de la présente convention fera l'objet, dans la mesure du possible, d'un règlement amiable.

Tout litige, non résolu à l'amiable dans un délai de trente (30) jours à compter de la notification écrite par une des Parties à l'autre Partie de l'objet du litige, sera porté devant le Tribunal Administratif compétent.

Fait à Angers, en trois (3) exemplaires.
Le 5 novembre 2012,

Pour le CHU de Nantes,
Christiane COUDRIER

Pour le Directeur Général
et par délégation
le Directeur Adjoint
du Pôle Personnel et Relations Sociales

Anne MADOIRE

CHU de NANTES
Bureau des Stages
50 route de St Sébastien
44093 NANTES CEDEX 1



ANNEXE 2. CONVENTION D'ACCUEIL AVEC LE CENTRE DE READAPTATION LES CAPUCINS A ANGERS

CONVENTION D'ACCUEIL

ENTRE :

L'Université d'Angers,

Pour le compte du Laboratoire de Psychologie des Pays de la Loire (UPRES EA 4638)
situé 40, Rue de Rennes, BP 73532, 49 035 ANGERS Cedex 01
représenté par son Président, Monsieur Jean-Paul SAINT-ANDRE

Ci-après dénommé « l'Université d'Angers »

D'une part,

ET :

**Les Capucins Réadaptation Spécialisée adulte et pédiatrique et Soins de Longue
Durée,**

situé 28, Rue des Capucins, B.P. 40329, 49 103 ANGERS Cedex 02
représenté par son Directeur, Monsieur Philippe MAHEUX

Ci-après dénommé « Les Capucins »,

plus particulièrement le service de Soins de Suite et de Réadaptation (SSR) spécialisés
pédiatriques

D'autre part,

Ci-après dénommés collectivement par « les Parties » ou individuellement par « la Partie ».

ETANT PREALABLEMENT EXPOSE QUE :

Dans le cadre de la réalisation de ses travaux de recherche sur la spécificité des atteintes gestuelles dans les dyspraxies chez l'enfant, Les Capucins accueilleront Mademoiselle Chrystelle REMIGEREAU dans les locaux du service SSR pédiatrique. Dans ce cadre, le temps de travail mensuel de Mademoiselle Chrystelle REMIGEREAU sera variable chaque mois, répondant aux contraintes de la recherche clinique. A titre indicatif, la base mensuelle est fixée au minimum à 1 jour par mois, et au maximum à 100% de l'ETP.

Les Parties décident ainsi de mettre en place la présente convention pour définir les modalités d'accueil et d'hébergement de Mademoiselle Chrystelle REMIGEREAU.

IL A ETE CONVENU ET ARRETE CE QUI SUIT :**ARTICLE I – OBJET**

La présente convention définit les conditions d'accueil et d'hébergement dans les locaux des Capucins de Mademoiselle Chrystelle REMIGEREAU, actuellement doctorante au laboratoire LPPL (*Laboratoire de Psychologie des Pays de la Loire ; UPRES EA 4638*) de l'Université d'Angers.

ARTICLE II – DATE D'EFFET - DUREE

La présente convention entre en vigueur à compter du 20 septembre 2013. Sa durée est de 24 mois, à compter de sa date d'entrée en vigueur.

Elle pourra être renouvelée par avenant signé entre les Parties, qui précisera les modalités de cette prolongation.

Il pourra y être mis fin par les Parties dans les conditions prévues par l'article 9 ci-après.

ARTICLE III – LIEU D'ACCUEIL

Mademoiselle Chrystelle REMIGEREAU sera accueillie dans les locaux du service SSR pédiatrique des Capucins à Angers.

ARTICLE IV – CONDITIONS D'ACCUEIL

- IV.1 Les Capucins fourniront à Mademoiselle Chrystelle REMIGEREAU les conditions d'accueil nécessaires à l'accomplissement de ses activités, et analogues à celles du personnel des Capucins.
- IV.2 Mademoiselle Chrystelle REMIGEREAU travaillant sur le site des Capucins restera placée sous l'autorité hiérarchique et administrative de l'Université d'Angers, qui reste son employeur.
- IV.3 En parallèle, les activités que Mademoiselle Chrystelle REMIGEREAU effectuera aux Capucins seront également sous la responsabilité du Dr. Ghislaine AUBIN, cadre rééducateur du service de Soins de Suite et de Réadaptation (SSR) spécialisés pédiatriques des Capucins.

- IV.4 Mademoiselle Chrystelle REMIGEREAU bénéficiera des partenariats et conventions dont dispose le service de Soins de Suite et de Réadaptation spécialisés pédiatriques des Capucins.

ARTICLE V – ENGAGEMENTS DU CHU

- V.1 A la signature des présentes, le salarié de l'Université d'Angers que Les Capucins accueillent dans le cadre de la présente convention est Mademoiselle Chrystelle REMIGEREAU.
- V.2 L'Université d'Angers s'engage à faire respecter par Mademoiselle Chrystelle REMIGEREAU le règlement intérieur des Capucins ainsi que les consignes d'hygiène, de sécurité, de restriction d'accès et d'usage des moyens informatiques en vigueur sur le site des Capucins à Angers.

ARTICLE VI – RESPONSABILITE - ASSURANCE A L'EGARD DES TIERS

Mademoiselle Chrystelle REMIGEREAU s'engage à souscrire une police d'assurance couvrant sa responsabilité civile à raison des dommages corporels ou matériels qu'elle pourrait provoquer.

La police d'assurance couvrira les dommages corporels sans limitation de montant, ainsi que les dommages matériels (*liés aux risques de vol, détérioration, incendie et explosion*) pour la valeur de remplacement ou de réparation de ses propres matériels, ainsi que ceux mis à disposition par les Capucins.

A cet effet, Mademoiselle Chrystelle REMIGEREAU transmettra aux Capucins, au plus tard quinze (15) jours suivant la date de signature de la présente convention, une attestation d'assurance couvrant les risques précités, pour la période définie à l'article II ci-dessus.

ARTICLE VII – CONFIDENTIALITE

L'Université d'Angers s'engage à faire respecter par Mademoiselle Chrystelle REMIGEREAU la confidentialité des informations, résultats et connaissances de quelque nature que ce soit, qu'elle pourrait être amenée à connaître à l'occasion de ses activités et/ou de l'utilisation des locaux, équipements et prestations mis à sa disposition par Les Capucins, et ceci jusqu'à ce qu'ils soient tombés dans le domaine public.

Cette obligation de confidentialité est maintenue pour une durée de cinq (5) ans après le départ de Mademoiselle Chrystelle REMIGEREAU.

ARTICLE VIII – CONDITIONS FINANCIERES

Mademoiselle Chrystelle REMIGEREAU sera accueillie gratuitement pendant toute la durée de la présente convention.

ARTICLE IX – RESILIATION

La présente convention pourra être résiliée de façon anticipée et à tout moment par chacune des Parties ; cette résiliation devra être effectuée par courrier recommandé avec un préavis minimum de deux (2) mois.

La présente convention sera résiliée de plein droit par l'une des Parties en cas d'inexécution par l'autre d'une ou plusieurs des obligations contenues dans ses diverses clauses. Cette résiliation ne deviendra effective que trois (3) mois après l'envoi par la Partie plaignante d'une lettre recommandée avec accusé de réception, exposant les motifs de la plainte, à moins que, dans ce délai, la Partie défaillante n'ait satisfait à ses obligations ou n'ait apporté la preuve d'un empêchement consécutif à un cas de force majeure.

L'exercice de cette faculté de résiliation ne dispense par la partie défaillante de remplir les obligations contractées jusqu'à la date de prise d'effet de la résiliation et ce, sous réserve des dommages éventuellement subis par la Partie plaignante du fait de la résiliation anticipée de la convention.

ARTICLE X – LITIGES - LOI APPLICABLE

La présente convention est régie par les lois et jurisprudences françaises.

Tout litige intervenant entre les Parties au cours de l'exécution de la présente convention fera l'objet, dans la mesure du possible, d'un règlement amiable.

Tout litige, non résolu à l'amiable dans un délai de trente (30) jours à compter de la notification écrite par une des Parties à l'autre Partie de l'objet du litige, sera porté devant le Tribunal Administratif compétent.

Fait à Angers, en trois (3) exemplaires.

Le 20 septembre 2013,

Pour Les Capucins,
Philippe MAHEUX



Pour l'Université d'Angers,
Jean-Paul SAINT-ANDRE

ANNEXE 3. EXAMEN NEUROPEDIATRIQUE - PATIENTS

Nom, Prénom (patient) :	
Date de Naissance :	
Hypothèse diagnostique ou Contexte médical connu :	

Anomalie de développement du **périmètre crânien** ?

- microcéphalie oui non
 macrocéphalie oui non

Déficits visuels ? oui non Corrigés par des lunettes ? oui non

Si oui, lesquels ? (*par ex : acuité visuelle, vision des couleurs, champ visuel, sensibilité au contraste...*)

Présence d'un strabisme ? oui non **d'une amblyopie** ? oui non

Si oui, préciser l'âge d'apparition et les traitements réalisés :

Déficits auditifs ? oui non Appareillage ? oui non

Si oui, lesquels ? Diminution fonctionnelle ?

MOTRICITE			
<i>Force musculaire</i> (contraction volontaire)			
Membres supérieurs (proximal, distal)	<input type="checkbox"/> diminution	<input type="checkbox"/> asymétrie	<input type="checkbox"/> normale
Membres inférieurs (proximal, distal)	<input type="checkbox"/> diminution	<input type="checkbox"/> asymétrie	<input type="checkbox"/> normale
Tête	<input type="checkbox"/> diminution	<input type="checkbox"/> asymétrie	<input type="checkbox"/> normale
<i>Activité Réflexe</i>			
Réflexes ostéo-tendineux (percussion du tendon)	<input type="checkbox"/> hyper <input type="checkbox"/> hypo	<input type="checkbox"/> asymétrie	<input type="checkbox"/> normale
Réflexes cutanés (stimulation)	<input type="checkbox"/> absent <input type="checkbox"/> inversé	<input type="checkbox"/> asymétrie	<input type="checkbox"/> normale

superficielle)			
<i>Tonus musculaire</i>			
Résistance à l'étirement passif des muscles	<input type="checkbox"/> hypotonie <input type="checkbox"/> hypertonie	<input type="checkbox"/> asymétrie	<input type="checkbox"/> normale
<i>Paires crâniennes</i>			
Motilité oculaire			
↳ <i>sur consigne orale</i>	<input type="checkbox"/> impossible	<input type="checkbox"/> anormale	<input type="checkbox"/> normale
↳ <i>poursuite visuelle</i>	<input type="checkbox"/> impossible	<input type="checkbox"/> anormale	<input type="checkbox"/> normale
↳ <i>fixation lors d'un déplacement de tête</i>	<input type="checkbox"/> impossible	<input type="checkbox"/> anormale	<input type="checkbox"/> normale
Motricité de la face	<input type="checkbox"/> diminution	<input type="checkbox"/> asymétrie	<input type="checkbox"/> normale
Motricité linguale	<input type="checkbox"/> diminution	<input type="checkbox"/> asymétrie	<input type="checkbox"/> normale
Phonation et déglutition	<input type="checkbox"/> impossible	<input type="checkbox"/> anormale	<input type="checkbox"/> normale
Fonctions vestibulaires			
↳ <i>nystagmus</i>	<input type="checkbox"/> oui		<input type="checkbox"/> non
↳ <i>sensation de vertige</i>	<input type="checkbox"/> oui		<input type="checkbox"/> non
↳ <i>marche aveugle en étoile</i>	<input type="checkbox"/> oui		<input type="checkbox"/> non
<i>Equilibre (fonctions cérébelleuses)</i>			
Statique			
↳ <i>signe de Romberg (yeux clos, debout bras tendus, pieds joints)</i>			
↳ <i>élargissement du polygone de sustentation</i>		<input type="checkbox"/> oui	<input type="checkbox"/> non
↳ <i>déviations des index</i>		<input type="checkbox"/> oui	<input type="checkbox"/> non
Cinétique			
↳ <i>démarche ébrieuse</i>		<input type="checkbox"/> oui	<input type="checkbox"/> non
↳ <i>marche stable talon-pointe</i>		<input type="checkbox"/> oui	<input type="checkbox"/> non
↳ <i>tremblement d'action</i>		<input type="checkbox"/> oui	<input type="checkbox"/> non
↳ <i>hypermétrie : doigt/nez</i>		<input type="checkbox"/> oui	<input type="checkbox"/> non
↳ <i>talon/crête tibiale</i>		<input type="checkbox"/> oui	<input type="checkbox"/> non
↳ <i>asynergie (décollement talons si accroupissement ?)</i>		<input type="checkbox"/> oui	<input type="checkbox"/> non
↳ <i>adiadococinésie</i>		<input type="checkbox"/> oui	<input type="checkbox"/> non

SENSIBILITE			
<i>Sensibilité profonde (proprioceptive)</i>			
Sens de position du GO	<input type="checkbox"/> erreurs		<input type="checkbox"/> normale
Préhension aveugle	<input type="checkbox"/> erreurs		<input type="checkbox"/> normale
<i>Sensibilité superficielle</i>			
Tactile	<input type="checkbox"/> hypoesthésie <input type="checkbox"/> hyperesthésie	<input type="checkbox"/> asymétrie	<input type="checkbox"/> normale
Algique	<input type="checkbox"/> hypoesthésie <input type="checkbox"/> hyperesthésie	<input type="checkbox"/> asymétrie	<input type="checkbox"/> normale

Médecin ayant complété ce questionnaire : _____

Avec nos remerciements,

Coordonnateur du projet et contact :

Chrystelle Remigereau, psychologue-neuropsychologue, Doctorante en Neuropsychologie, Université d'Angers (chrystelle.remigereau@univ-angers.fr ou tél : 06.74.09.20.00).

Direction scientifique :

Didier Le Gall – Professeur de Neuropsychologie, Université d'Angers

Arnaud Roy – Maître de Conférences en Neuropsychologie, Université d'Angers, Coordinateur du CRTA (CHU de Nantes).

ANNEXE 4. NOTICE D'INFORMATION - ETABLISSEMENTS SCOLAIRES

**ÉTUDE DES PRAXIES CHEZ L'ENFANT****NOTICE D'INFORMATION A L'INTENTION DES ÉTABLISSEMENTS SCOLAIRES**

Madame, Monsieur, Directeurs d'Établissement et membres du corps enseignant,

Après avoir recueilli l'avis favorable de la Direction Académique des services de l'éducation nationale de Maine-et-Loire et de l'IEN de votre circonscription (ou du chef d'établissement), nous nous permettons de vous contacter afin de rencontrer des élèves dans le cadre d'une étude qui a pour but de mieux comprendre les difficultés gestuelles et d'apprentissage qui peuvent survenir dans différents contextes médicaux tels que la dyspraxie développementale, la prématurité, la neurofibromatose de type 1 et les lésions cérébrales acquises.

Cette étude est initiée par le Laboratoire de Psychologie des Pays de la Loire de l'Université d'Angers, en collaboration avec le Centre Référent des Troubles d'Apprentissage (CRTA) du Centre Hospitalier Universitaire de Nantes et Les Capucins (Centre de Réadaptation Spécialisée adulte et pédiatrique et Soins de Longue Durée) à Angers.

Les praxies correspondent à la coordination volontaire de mouvements orientés vers un but précis. La qualité de leur développement influence un grand nombre d'habiletés quotidiennes et d'apprentissages scolaires. Néanmoins, les connaissances dans ce domaine chez l'enfant sont encore limitées et nous manquons notamment d'outils d'évaluation.

Dans la perspective d'améliorer le repérage et donc la prise en charge des difficultés que peuvent présenter certains enfants dans l'acquisition, l'élaboration et l'automatisation de gestes complexes volontaires, cette recherche comporte deux volets distincts :

- en milieu hospitalier, auprès d'enfants présentant une plainte gestuelle (dyspraxie développementale, contexte de prématurité, maladie neurogénétique et lésion cérébrale acquise).
- en milieu scolaire, auprès d'enfants **ne présentant pas de difficultés d'apprentissage**, afin d'appréhender le développement *normal* du geste, et **pour laquelle nous vous sollicitons**.

Nous avons donc besoin de rencontrer un grand nombre d'enfants âgés de 6 à 14 ans, qui ne présentent pas les pathologies précédentes, afin de fournir une base de comparaison pour les patients.

Les tâches qui sont proposées aux enfants sont simples et ludiques, et explorent plus particulièrement les

compétences gestuelles et motrices. Il est demandé par exemple de manipuler des cubes, de reproduire des dessins selon un modèle, d'utiliser des objets quotidiens (brosse, crayon, etc.) ou encore d'imiter les gestes de l'examineur. La participation requiert **3 séances individuelles de 1h30/2h chacune** (6 heures maximum par enfant au total), espacées au maximum de 1 mois. Dans la mesure où cette étude porte sur les gestes complexes, il est par ailleurs indispensable d'effectuer une analyse fine des données recueillies, impliquant nécessairement **l'enregistrement vidéo** des productions gestuelles de l'enfant au cours des passations. Il est à préciser que les parents et enfants seront dûment informés de cette démarche.

Les séances pourront être réalisées **au sein de l'établissement scolaire** (si la mise à disposition d'une salle est possible, et en accord avec l'enseignant afin de ne pas gêner la classe), ou à **domicile**. Des questionnaires sont aussi proposés aux parents afin de recueillir des informations complémentaires. Dans la mesure où il s'agit d'une étude expérimentale, les résultats individuels des enfants ne seront pas communiqués à titre personnel. A terme, un récapitulatif des résultats généraux de l'étude pourra être transmis sur demande. Par ailleurs, lors du traitement, toutes les données sont rendues **anonymes**.

Si vous acceptez de collaborer à cette recherche de participants, nous vous invitons à nous contacter (contact : Chrystelle REMIGEREAU) afin de formaliser les modalités d'intervention. Une réunion avec les équipes enseignantes pourrait notamment être organisée afin de présenter cette recherche et les modalités de recueil des données. Dans cette éventualité, nous souhaitons également que vous transmettiez aux parents la notice d'information qui leur est destinée, les deux exemplaires du formulaire de consentement éclairé, ainsi que la fiche de recueil d'informations, qui sont joints à ce document.

Nous vous remercions de l'intérêt que vous porterez à cette démarche, et vous invitons à nous contacter pour tout complément d'information.

Chrystelle REMIGEREAU

Coordonnateur du projet et contact :

Chrystelle Remigereau, psychologue-neuropsychologue, Doctorante en Neuropsychologie, Université d'Angers (chrystelle.remigereau@gmail.com ou tél : 06.74.09.20.00)

Direction scientifique :

Didier Le Gall – Professeur de Neuropsychologie, Université d'Angers

Arnaud Roy – Maître de Conférences en Neuropsychologie, Université d'Angers, Coordinateur du CRL/UPTA (CHU de Nantes).

ANNEXE 5. AVIS FAVORABLE DE L'INSPECTION ACADEMIQUE DE MAINE-ET-LOIRE



INSPECTION DE
L'EDUCATION NATIONALE
ADAPTATION SCOLAIRE ET
SCOLARISATION DES
ELEVES HANDICAPES

Dossier suivi par :
Olivier GROMY

Inspection Académique
Cité Administrative
15 bis, rue Dupetit-Thouars
49047 ANGERS cedex

Tél : 02 41 74 35 76
Télécopie : 02 41 74 35 22
ien.ash49@ac-nantes.fr

Angers, le 22 décembre 2012

Le Directeur académique adjoint des services
de l'éducation nationale de Maine-et-Loire

à

Mademoiselle Chrystelle REMIGEREAU
Doctorante en Neuropsychologie
Psychologue, spécialisée en neuropsychologie

Objet : projet de recherche dans le cadre d'une thèse
en psychologie à l'université d'Angers

Réf : vos courriers électroniques des mois de novembre et décembre 2012

Mademoiselle,

Pour faire suite à votre demande d'interventions auprès d'un public d'élèves âgés de 6 à 14 ans, j'ai l'honneur de vous informer que j'émetts un avis favorable à votre projet de recueil de données normatives de tests relatifs au dépistage de troubles praxiques.

Ces recherches visent à alimenter la thèse que vous soutiendrez à l'occasion de votre Doctorat et nécessitent la collecte, auprès des familles et des enseignants, d'informations relatives à la motricité générale de l'élève.

Vos interventions seront soumises à l'accord préalable des inspecteurs de l'éducation nationale, directeurs d'école, chefs d'établissement et responsables légaux concernés.

Une réunion préalable sera organisée avec les acteurs du système éducatif concernés pour présenter la démarche et expliciter en tant que besoin le contenu des documents annexes (notice d'information à l'intention des établissements scolaires, notice d'information à l'intention des parents, formulaire de consentement).

Vos travaux sont prévus pour s'étaler sur trois années scolaires (2012-2013 à 2014-2015).

Je vous prie de croire, Mademoiselle, en l'expression de ma considération distinguée.

ANNEXE 6. RECUEIL ANAMNESTIQUE, ENFANTS TOUT-VENANT

Madame, Monsieur,

Dans le cadre de la participation de votre enfant au projet de recherche « Etude des praxies gestuelles chez l'enfant », nous avons besoin de plusieurs informations.

Nom de votre enfant Prénom	_____ _____
Date de naissance	__ __ / __ __ / __ __ (jour/mois/année)
Sexe	Masculin <input type="checkbox"/> Féminin <input type="checkbox"/>
Votre profession	- Mère : _____ - Père : _____
Votre niveau d'étude <i>(diplôme scolaire le plus élevé obtenu : Brevet, BEP, CAP, BAC, etc. préciser)</i>	- Mère : _____ - Père : _____
Nombre de frères et/ou sœurs de votre enfant qui participe à l'étude	_ _
Langue(s) parlée(s) à la maison	_____
Y a-t-il eu un problème particulier pendant la grossesse ou l'accouchement de votre enfant ?	Oui <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/> Si oui, préciser : _____ _____
Votre enfant est-il né à terme ?	Oui <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/> Préciser : _____ Poids de naissance : _____
Votre enfant a-t-il présenté un retard à l'apparition...	- du langage oral : Oui <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/> Si oui, préciser : _____ - de la motricité : Oui <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/> Age estimé du début de la <i>marche</i> sans support : mois. <input type="checkbox"/> avant 12 mois <input type="checkbox"/> entre 12-18 mois <input type="checkbox"/> entre 18-24 mois <input type="checkbox"/> après 24 mois - Autre : Oui <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/> Si oui, préciser : _____
Votre enfant participe-t-il actuellement à des activités sportives organisées ?	Oui <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/> Si oui, préciser : _____

Votre enfant a-t-il déjà pris des leçons de musique ?	Oui <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/> Si oui, préciser l'instrument : _____ Nombre d'années de pratique : _____									
Votre enfant prend-il actuellement un traitement médicamenteux ?	Oui <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/> Si oui, préciser le nom commercial : _____									
Votre enfant présente-t-il ou a-t-il présenté par le passé une pathologie particulière sur le plan neurologique ou psychiatrique ?	Oui <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/> Si oui, préciser : _____									
Votre enfant présente-t-il des problèmes de vue ?	Oui <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/> Si oui, sa vue est-elle corrigée (lunettes) : Oui <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/>									
Votre enfant présente-t-il des problèmes d'audition ?	Oui <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/> Si oui, sa vue est-elle corrigée (appareillée) : Oui <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/>									
En quelle classe est votre enfant ?	_____									
Votre enfant a-t-il déjà redoublé une classe ?	Oui <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/> Si oui, préciser la (les) classe (s) : _____									
Votre enfant a-t-il déjà sauté une classe ?	Oui <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/> Si oui, préciser la (les) classe (s) : _____									
Votre enfant a-t-il déjà bénéficié d'aménagements pour sa scolarité (par exemple : Réseau d'aides spécialisées, auxiliaire de vie scolaire, ...) ?	OUI <input type="checkbox"/> NON <input type="checkbox"/> Si oui, préciser :									
	<table border="1"> <thead> <tr> <th><u>Nature</u> (RASED, AVSI, SESSAD, ...)</th> <th><u>Classe/Durée</u> (préciser la période)</th> <th><u>Fréquence</u> (2 heures/semaine, etc.)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> </tbody> </table>	<u>Nature</u> (RASED, AVSI, SESSAD, ...)	<u>Classe/Durée</u> (préciser la période)	<u>Fréquence</u> (2 heures/semaine, etc.)						
	<u>Nature</u> (RASED, AVSI, SESSAD, ...)	<u>Classe/Durée</u> (préciser la période)	<u>Fréquence</u> (2 heures/semaine, etc.)							
Votre enfant a-t-il déjà bénéficié de prises en charge/suivis en dehors de l'école (psychologue, orthophoniste, ...) ?	OUI <input type="checkbox"/> NON <input type="checkbox"/> Si oui, préciser :									
	<table border="1"> <thead> <tr> <th><u>Nature</u> (psychologue, orthophoniste, etc.)</th> <th><u>Classe/Durée</u> (préciser la période)</th> <th><u>Fréquence</u> (2 heures/semaine, etc.)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> </tbody> </table>	<u>Nature</u> (psychologue, orthophoniste, etc.)	<u>Classe/Durée</u> (préciser la période)	<u>Fréquence</u> (2 heures/semaine, etc.)						
	<u>Nature</u> (psychologue, orthophoniste, etc.)	<u>Classe/Durée</u> (préciser la période)	<u>Fréquence</u> (2 heures/semaine, etc.)							
Votre enfant présente-t-il des troubles d'apprentissage qui ont fait l'objet d'un diagnostic auprès d'un spécialiste (dysphasie, dyslexie, dyspraxie, dyscalculie, hyperactivité, ...) ?	Oui <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/> Si oui, préciser : _____									

Nous vous remercions d'avoir pris le temps de répondre à ces questions.

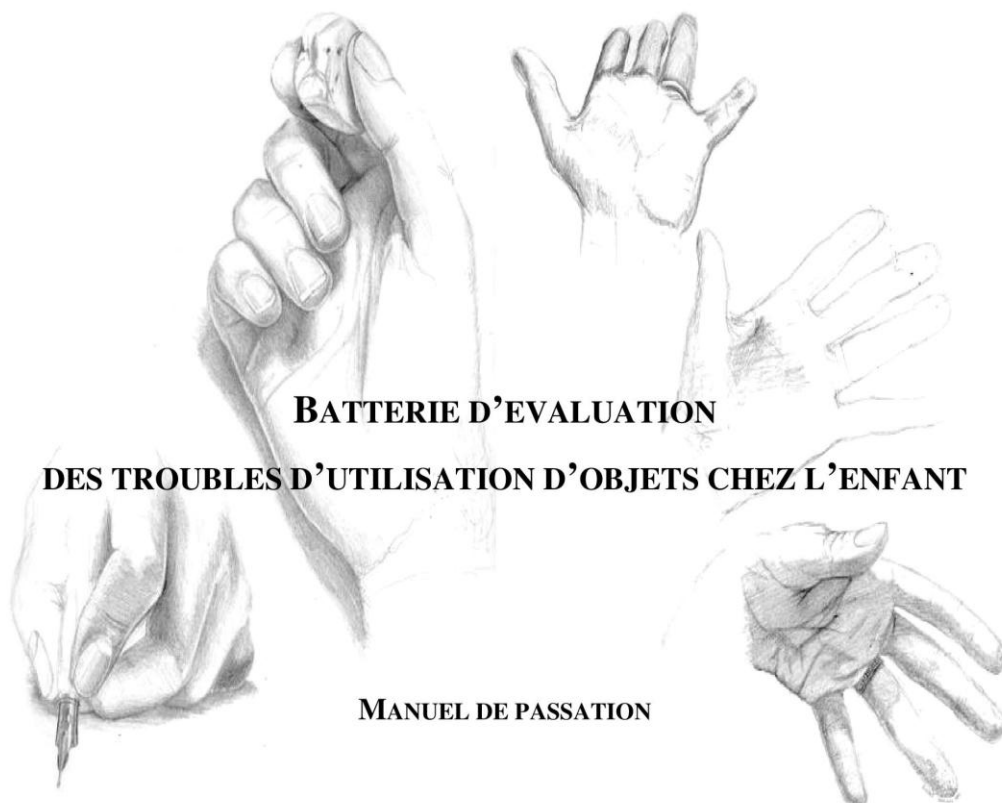
ANNEXE 7. ESTIMATION DU NIVEAU SOCIOCULTUREL DES PARENTS

Diplôme	Nombre d'années d'études
Certificat d'études primaires	5
Brevet des Collèges	9
Certificat d'Aptitude Professionnelle	9
Brevet d'Etudes Professionnelles	11
Baccalauréat	12
Brevet de Technicien Supérieur	14
Diplôme d'Etudes Universitaires Générales	14
Licence	15
Diplôme de Kinésithérapeute, d'Infirmière, d'Educateur spécialisé	15
Maîtrise	16
Diplôme d'Ingénieur	17
Diplôme d'Etudes Supérieures Spécialisées	17
Diplôme d'Etudes Approfondies	17
Diplôme d'Architecte	18
Doctorat	20

Notes. Nombre d'années d'études pris en considération selon le diplôme obtenu. Extrait de Roy (2007)

ANNEXE 8. MANUEL DE PASSATION - PROTOCOLE EXPERIMENTAL

***OUTIL ET VIE QUOTIDIENNE
DU HANDICAP A L'AUTONOMIE***



Elaboré par le Laboratoire de Psychologie des Pays de la Loire (EA 4638)

Coordinateurs scientifiques : **Didier Le Gall et Arnaud Roy**

Co-auteurs : **Chrystelle Remigereau, Josselin Baumard**

LUNAM, Université d'Angers, Mars 2013

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION

I. Recommandations et rappels	5
II. Inventaire	7

EPREUVES

I. Matrices (WISC-IV)	9
II. Vocabulaire (WISC-IV)	10
III. Figure de Rey – Copie	13
IV. Compréhension orale (ELO, Khomsi)	14
V. Jugement d’orientation de lignes (Benton, forme V)	15
VI. Inventaire de latéralité (Edinburgh, FEE).....	16
VII. Figure de Rey – Programme (FEE)	17
VIII. Utilisation d’objets en dispositif – Choix multiple	18
IX. Utilisation d’objets en dispositif – Choix restreint	21
X. Utilisation d’objets réflexifs en dispositif – choix restreint	23
XI. Transport de cylindres	25
XII. Activités de vie quotidienne – Choix multiple	28
XIII. Activités de vie quotidienne – Choix restreint	31
XIV. Résolution de problèmes mécaniques – Choix multiple	32
XV. Résolution de problèmes mécaniques – Choix restreint	36
XVI. Imitation de postures non significantes	38
XVII. Appariements d’images	40
XVIII. Tapping séquentiel (adaptation NEPSY-II)	42
XIX. Séquences Motrices Manuelles (NEPSY-II)	43
XX. Reconnaissance de postures manuelles d’utilisation d’objets.....	44
XXI. Purdue Pegboard	46
XXII. Zoo (BADS-Children, traduction de Roy)	48
XXIII. Stroop (FEE)	50
XXIV. New Card Sorting Test (FEE).....	52
XXV. Fermeture visuelle (DTVP 2).....	54
XXVI. Extinction sensorielle, modalité visuelle	55
XXVII. Extinction sensorielle, modalité tactile.....	56

XXVIII. Gnosies digitales (distinction de doigts, NEPSY 1)..... 57

XXIX. Graphesthésie..... 58

XXX. Stéréognosies..... 60

XXXI. Appariement de différents points de vue (BORB, test 8) 62

INTRODUCTION

I. RECOMMANDATIONS ET RAPPELS

DES EPREUVES CONÇUES POUR INVESTIR LA PERFORMANCE BI-MANUELLE

- ❖ Afin d'être représentatives de l'activité en vie quotidienne, les épreuves ont presque toutes été conçues pour investir la performance bi-manuelle. Néanmoins, à moins que l'enfant ne pose la question, ne fournir aucune consigne en ce sens et le laisser agir comme il le souhaite.
- ❖ Certaines épreuves évaluent spécifiquement des performances uni-manuelles ; dans ce cas, le préciser à l'enfant autant de fois que nécessaire.
- ❖ La disposition du matériel est invariante, quelle que soit la main utilisée.

DES CONSIGNES SIMPLIFIEES

- ❖ Afin d'être adaptées à l'investigation des participants ayant des troubles du langage, les consignes aux différentes épreuves sont généralement très simples. Par ailleurs, la plupart des épreuves comportent des items d'exemple afin de s'assurer que l'enfant ait bien compris les consignes.
- ❖ Pour ne pas désavantager ces participants, ne donner aucune information verbale supplémentaire lors de la passation des épreuves, sauf indication contraire bien sûr. D'ailleurs, qu'il n'est indiqué à aucun moment dans ce manuel que les objets doivent être nommés par l'examineur. Un vocable plus générique comme "outil" ou "objet" doit systématiquement être utilisé. Pour cette même raison, les objets ne doivent pas comporter d'inscriptions comme le nom, le mode d'emploi ou toute autre indication qui aiderait à les identifier.

ORDRE DE PRESENTATION DES EPREUVES

- ❖ L'ordre de présentation des épreuves du manuel est le même que celui du cahier de passation. Les épreuves doivent être proposées aux participants dans cet ordre.

CHOIX DE LA METHODOLOGIE D'EVALUATION

- ❖ L'évaluation des troubles d'utilisation d'objets se heurte à des difficultés dans le recueil des mesures prises. Pour cette raison, il a été décidé dans plusieurs épreuves de fixer des temps limites de production ou d'établir des critères d'efficacité aussi objectifs que possible. Ce protocole est conçu pour évaluer, notamment, la capacité à se référer à l'usage social lors de l'utilisation d'objets manufacturés. En conséquence, avec ces derniers, la réponse attendue est toujours celle qui est la plus usuelle (e.g., enfoncer le clou dans la planche avec le marteau). Néanmoins, au-delà de l'efficacité, certains indices sont conçus pour qualifier la stratégie adoptée (e.g., nombre d'objets pris en main, regroupements d'objets, etc...).

INDICES A RECUEILLIR EN PLUS DU PROTOCOLE

- ❖ Outre la nécessité de recueillir un certain nombre de données démographiques, neuro-développementales, etc. sur le participant (voir le cahier de passation), il est impératif que l'enfant ait au préalable été évalué sur 7 épreuves : Matrices et Vocabulaire (WISC-IV), copie de la Figure de Rey, compréhension orale, jugement d'orientation de lignes de Benton, Inventaire de Latéralité et programme de la Figure de Rey (FEE).
- ❖ Après les épreuves gestuelles, d'autres fonctions cognitives sont également évaluées : fonctions exécutives (Stroop, Zoo, NCST), fermeture visuelle (DTVP 2), intégration sensorielle et appariements points de vue (BORB).

VISIONNAGE VIDEO

- ❖ Il est impératif de filmer l'intégralité des épreuves de production gestuelle, car certains phénomènes ne peuvent être cotés qu'à posteriori.
- ❖ La passation des épreuves VIII, IX et X (i.e., utilisation d'objets) est filmée de profil ou de trois-quarts, de façon à représenter à la fois l'enfant et le grand support sur lequel sont disposés les objets.
- ❖ Lors de la passation des épreuves XI (i.e., transport de cylindres) à XVI (i.e., imitation de postures non significantes), l'enfant est filmé de face (la caméra étant dans le dos de l'examineur, légèrement sur le côté et surélevée).

AVANT DE COMMENCER

- ❖ Avant de commencer la passation du protocole, vérifier que celui-ci est complet (Matériel permanent) et qu'il ne manque pas de "consommables".

DISPOSITION DU MATERIEL

- ❖ Respecter à la lettre la disposition du matériel indiquée dans ce manuel ou sur les photographies fournies.
- ❖ Si des indications vous sont données concernant la position du matériel (e.g., placer le support à 30cm du buste du participant), libre à vous de modifier ces indications pour améliorer le confort de l'enfant.
- ❖ Si les participants présentent des troubles visuo-spatiaux, s'assurer qu'ils accèdent bien à l'ensemble du matériel proposé.

II. INVENTAIRE

Objets utilisés avec le grand support

- Crayon	- Brosse à dent jetable
- Décapsuleur	- Casquette
- Ampoule	- Collier fantaisie
- Pichet en inox	- Casque audio
- Pochette plastique (format A5)	- Echarpe
- Assemblage [Prise mâle sans terre + Fil électrique]	- Lunettes
- Tournevis cruciforme	- Tasse
- Craie blanche	- Téléphone
- Ciseaux	- Parfum ouvert
- Marteau (poignée en plastique)	- Peigne
- Clef métallique	- Cotons-tiges
- Taille crayon	- Un grand support comportant de nombreux clous
- Bouteille de soda et sa capsule	
- Lampe	
- Gobelet en plastique coloré	
- Petit classeur noir (deux anneaux)	
- Prise femelle blanche avec terre	
- Assemblage [Planche + Vis cruciforme engagée]	
- Ardoise d'écologiste	
- Bobine de fil de chanvre tressé	
- Assemblage [Clou engagé dans une planche]	
- Serrure de porte fixée sur un support en bois	

Objets utilisés lors des activités de vie quotidienne

- Bol	
- Petite bouteille de lait	
- Pot transparent de chocolat en poudre	- Palette de peinture
- Petite cuillère	- Pinceau
	- Feuille blanche avec motif entamé
- Baladeur CD	- Verre
- CD dans boîtier transparent	- Petite bouteille d'eau
- 2 piles LR6	
- Ecouteurs	

Objets utilisés lors de la résolution de problèmes mécaniques

- Boîte à piège	- Tige de bois 25 cm, Ø 7 mm
- Boîte à cheminée	- Tige d'aluminium 25 cm, Ø 7 mm
- Boîte à puits	- Tige de bois 7 cm, Ø 7 mm
- Boîte à bascule	- Tige d'aluminium 7 cm, Ø 7 mm
	- Fil d'étain 25 cm, Ø 2 mm
- Présentoir en mousse sur plaque en inox.	- Fil de cuivre 25 cm, Ø 2 mm
	- Fil d'étain 7 cm, Ø 2 mm
- Billes et cubes de bois peints en rouge	- Fil de cuivre 7 cm, Ø 2 mm

Autres

- Chronomètre
 - Un classeur contenant les images suivantes :
 - ELO
 - JOL Benton, DTVP 2, BORB
 - Planche du Stroop, de la figure de Rey et cartes du NCST (FEE)
 - Disposition des objets réflexifs sur le grand support (x 1)
 - Disposition des objets non réflexifs sur le grand support (x 1)
 - Images pour les appariements d'images
 - Photographies pour la tâche de reconnaissance de postures manuelles
-

Récapitulatif des objets consommables à renouveler régulièrement

- | | |
|--------------------------|------------------------|
| - Bâton de craie blanche | - Chocolat en poudre |
| - Capsules | - Bouteille de lait |
| - Vis cruciformes | - Bouteille d'eau |
| - Fil de chanvre tressé | - Piles |
| - Clous | |
| - Brosse à dent jetable | |
| - Parfum | - Fil de cuivre Ø 2 mm |
| - Coton-tiges | - Fil d'étain Ø 2 mm |
-

EPREUVES

III. FIGURE DE REY – COPIE

MATERIEL

- Planche classique de la Figure de Rey
- 5 feutres de couleur (noir, gris, vert, bleu, rouge)
- Chronomètre
- Une feuille de papier blanc A4, présentation en format paysage

PRINCIPE

L'enfant doit recopier spontanément une figure géométrique complexe sur une feuille vierge.

DISPOSITION DU MATERIEL

Placer la planche à recopier sous les yeux de l'enfant, au dessus d'une feuille A4 vierge disposée horizontalement.

CONSIGNES

Copie spontanée :

« Voici un dessin. Tu vas le copier sur cette feuille. Essaie de faire du mieux que tu peux. Il faut que tu fasses attention aux proportions et surtout que tu n'oublies rien. Tu n'es pas obligé de te dépêcher. Quand tu penses avoir tout bien recopié, tu me le dis. Commence avec ce crayon ».

DEROULEMENT DES ITEMS D'EVALUATION

Déclencher le chronomètre dès que le premier crayon est donné à l'enfant. Lui tendre un crayon d'une autre couleur dès qu'une partie significative du dessin est reproduite (afin de faciliter la cotation du type de copie ensuite). L'ordre des couleurs doit être systématiquement celui-ci : noir, gris, vert, bleu, rouge.

Arrêter le chronomètre dès que l'enfant signale qu'il a terminé son dessin. Parfois les enfants s'arrêtent de dessiner pendant un long moment si bien que l'on ne sait pas s'ils ont terminé. Si doute, interroger indirectement l'enfant de manière neutre :

« N'oublie pas de me dire quand tu as terminé ton dessin ».

Si, au décours de la copie, l'enfant se trompe et indique qu'il souhaite recommencer, lui dire de continuer et de rayer (barrer) ce qui ne lui convient pas.

CONTRAINTES DE TEMPS

Il n'y a aucune contrainte de temps dans cette épreuve.

COTATION

Plusieurs indices peuvent être relevés :

- Score de précision de la copie classique (C), échelonné de 0 à 36, sur la base des critères originaux de Rey (1959)
- Score de temps lors de la copie classique (en secondes)
- Type de copie classique (sur la base des critères originaux de Rey, 1959)

Chaque item est coté 0, 1 ou 2 points. Note brute totale maximum : 68 points.

VI. INVENTAIRE DE LATERALITE (EDINBURGH, FEE)

MATERIEL

- Feuille de cotation figurant dans le cahier de passation.

PRINCIPE

Questionnaire visant à établir la dominance latérale manuelle de l'enfant.

CONSIGNES

« Ecoute bien. Tu vas me montrer quelle main tu utilises pour écrire. Tu peux le mimer si tu veux, me montrer comment tu fais [inciter l'enfant à le faire s'il ne parvient pas à se décider] ».

Quelle que soit la réponse de l'enfant, lui demander : *« est-ce que tu utilises toujours cette main ou est-ce qu'il t'arrive d'utiliser l'autre ? Ou bien est-ce que tu utilises n'importe quelle main ? ».*

DEROULEMENT DES ITEMS D'EVALUATION

Procéder de même pour tous les items.

Certaines des activités demandées requièrent les 2 mains. Dans ce cas, l'aspect de la tâche ou de l'objet pour lequel la préférence manuelle est recherchée est indiqué entre parenthèses.

Tous les items doivent être complétés, sauf si l'enfant n'a aucune expérience de la tâche.

CONTRAINTES DE TEMPS

Il n'y a aucune contrainte de temps dans cette épreuve.

COTATION

Entourer 2 croix si une main est exclusivement utilisée, 1 croix si elle est préférentiellement utilisée (il arrive à l'enfant d'utiliser l'autre main) et 1 croix dans chaque colonne si les 2 mains sont utilisées indifféremment.

Coefficient de latéralité manuelle : $CLM = (SD - SG) / (SD + SG) \times 100$.

Score positif = préférence manuelle droite (+ 100 = droitier exclusif)

Score négatif = préférence manuelle gauche (- 100 = gaucher exclusif).

VII. FIGURE DE REY – PROGRAMME (FEE)

MATERIEL

- 5 Planches du programme correspondant aux 5 étapes
- 5 feutres de couleur (noir, gris, vert, bleu, rouge)
- Une feuille de papier blanc A4, présentation en format paysage
- Feuille de cotation figurant dans le cahier de passation.

PRINCIPE

L'enfant doit recopier, en 5 étapes successives (guidant la reproduction de l'enfant), une figure géométrique complexe sur une feuille vierge.

DISPOSITION DU MATERIEL

Placer les planches à recopier sous les yeux de l'enfant, au dessus d'une feuille A4 vierge disposée horizontalement.

CONSIGNES

Copie avec programme :

Placer la planche correspondant à l'étape 1 sous les yeux de l'enfant et dire :

« Voici encore un dessin. Tu vas le copier sur cette feuille. Essaie de faire du mieux que tu peux ; il faut que tu fasses attention aux proportions et surtout que tu n'oublies rien. Tu n'es pas obligé de te dépêcher. Quand tu penses avoir tout bien recopié, tu me le dis. Tiens, prends ce crayon ». Tendre à l'enfant le crayon noir.

Une fois qu'il a terminé, placer la planche correspondant à l'étape 2 sur la planche de l'étape 1 et dire :

« Bien, maintenant, tu prends ce crayon [tendre à l'enfant le crayon gris] et tu ajoutes les traits qui sont en gris sur le dessin ».

Continuer ainsi de suite pour chaque planche, en prenant soin de changer la couleur du crayon et d'ajouter le même commentaire à chaque étape.

On ne prévient pas l'enfant qu'il s'agit du même dessin que précédemment. Très souvent, l'enfant s'en rend compte au décours de l'administration des planches du programme. Ne pas commenter : *« Vas-y continue à dessiner ».*

DEROULEMENT DES ITEMS D'EVALUATION

L'ordre des couleurs doit être systématiquement celui-ci : noir, gris, vert, bleu, rouge.

Parfois les enfants s'arrêtent de dessiner pendant un long moment si bien que l'on ne sait pas s'ils ont terminé. Si doute, interroger indirectement l'enfant de manière neutre : *« N'oublie pas de me dire quand tu as terminé ton dessin ».*

CONTRAINTES DE TEMPS

Il n'y a aucune contrainte de temps dans cette épreuve.

COTATION

- Score de précision de la copie avec programme (P), échelonné de 0 à 36, sur la base des critères originaux de Rey (1959)
- Indice de planification (IP) = P – C. Plus le scores est élevé, plus l'enfant est aidé par le programme, moins les stratégies de planification peuvent être considérées comme efficaces.

VIII. UTILISATION D'OBJETS EN DISPOSITIF – CHOIX MULTIPLE

MATERIEL

Items non réflexifs uniquement (voir aussi figure 1)

- Un grand support comportant de nombreux clous
- Un chronomètre

Agents

- Pichet en inox contenant de l'eau
- Décapsuleur
- Ampoule
- Crayon
- Bâton de craie
- Assemblage [Prise mâle sans terre + Fil électrique]
- Tournevis cruciforme
- Pochette plastique transparente
- Ciseaux
- Marteau (poignée en plastique)
- Clef métallique

Cibles

- Gobelet en plastique coloré
- Bouteille de soda encapsulée
- Lampe
- Taille crayon
- Ardoise
- Prise femelle blanche avec terre
- Assemblage [Planche + Vis cruciforme engagée]
- Classeur noir (format A5)
- Bobine de fil de chanvre tressé
- Assemblage [Clou engagé dans une planche]
- Serrure de porte fixée sur un support en bois

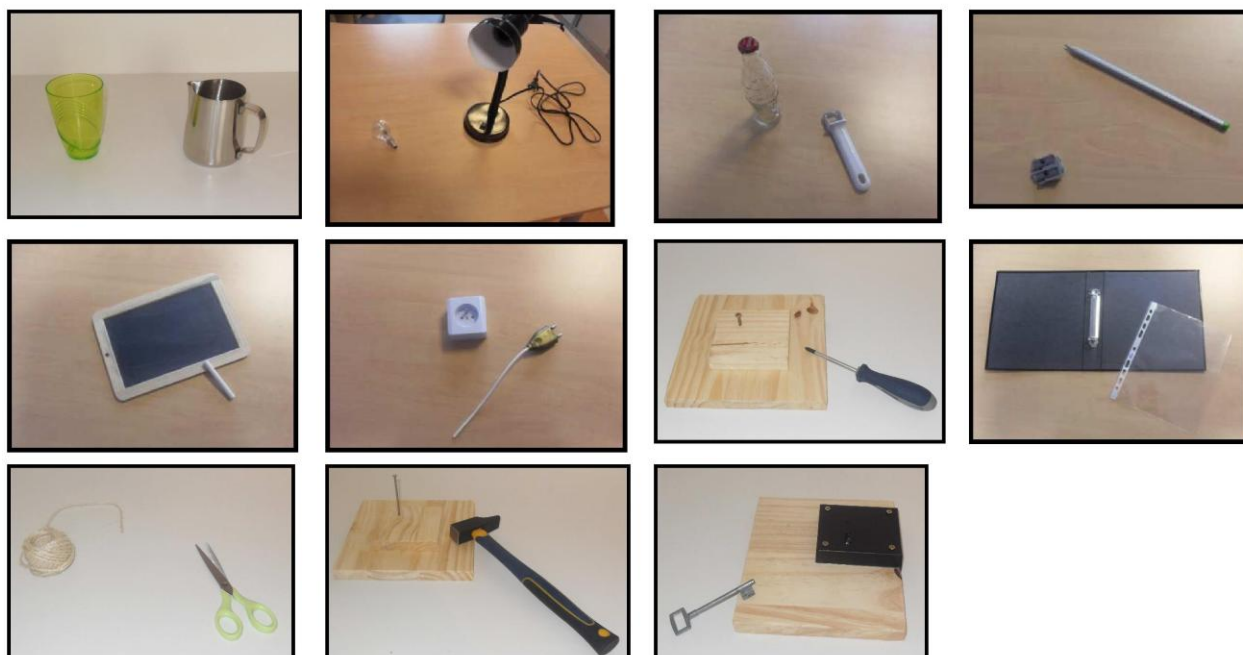


Figure 1. Paires agent/cible constituant les items d'utilisation non réflexifs. Le pichet sert d'item d'exemple.

PRINCIPE

Le participant doit choisir parmi 10 objets (dits agents) accrochés au grand support, ceux qui lui permettent d'utiliser 10 autres objets (dits cibles) présentés un à un.

DISPOSITION DU MATERIEL

L'examineur dispose le grand support à clous à environ 40 cm du buste de l'enfant. Il installe ensuite tous les agents non réflexifs sur le support, soit 11 objets avec l'exemple (i.e., le pichet), en respectant la position définie ci-dessous. Une photographie représentant la position de chaque objet figure à l'arrière du support.



Figure 2. Disposition des onze agents non réflexifs, disposés simultanément sur le support.

A chaque item, l'examineur pose une cible entre le support et le buste du participant. Il la retire lorsque l'item est terminé. Noter qu'à l'exception de l'objet d'exemple (i.e., pichet), tous les agents sont remis sur le grand support après chaque item.

CONSIGNES

Une fois l'item d'exemple disposé (i.e., gobelet en plastique), se mettre à côté du participant et dire :

“En te servant des objets présentés sur ce support, montre-moi comment utiliser cet objet”.

Si l'enfant saisit immédiatement le pichet et l'utilise correctement, passer aux items d'évaluation après avoir mis de côté le gobelet et le pichet. Encourager l'enfant à réaliser réellement l'action si besoin (« *pour de vrai* »).

S'il ne saisit pas le pichet et/ou ne démontre pas la bonne utilisation, le laisser faire pendant quelques secondes puis l'arrêter et dire :

“Cet objet [désigner le gobelet] s'utilise plutôt avec celui-ci [désigner le pichet]. Vas-y, montre-moi comment faire”.

Si l'enfant ne saisit toujours pas le pichet ou ne l'utilise pas correctement, l'arrêter, prendre le pichet, l'utiliser avec le gobelet, puis reposer les deux objets à leur place initiale et dire : *“A toi maintenant” / “Vas-y, fais comme moi”.*

Si nécessaire, aider l'enfant en “corrigeant” son mouvement, puis le laisser utiliser l'objet seul.

Renouveler ces consignes si besoin est, pour s'assurer que le participant a compris ce que l'on attend de lui.

Que la réponse vous paraisse correcte ou non, démarrer les items d'évaluation, pour lesquels il ne faut donner aucune correction ; ranger le gobelet et le pichet (i.e., ne pas reposer le pichet sur le support).

DEROULEMENT DES ITEMS D'EVALUATION

Exception faite de l'agent d'exemple (i.e., pichet), les agents utilisés doivent systématiquement être replacés sur le grand support après chaque item. En d'autres termes, les 10 agents servant à l'évaluation restent sur le support lors des dix items d'évaluation ; l'enfant doit à chaque fois réaliser son choix parmi ces 10 agents.

Pour les items d'évaluation, une fois l'objet présenté et la consigne énoncée, laisser l'enfant utiliser les objets qu'il souhaite. Si le critère d'efficacité est atteint avant la fin du temps limite, retirer la cible, remettre l'agent sur le grand support et passer à l'item suivant. Si l'enfant n'atteint pas le critère d'efficacité mais s'arrête manifestement de chercher, dire : *“As-tu terminé ?”.*

Si l'enfant indique qu'il est satisfait de son action, passer à l'item suivant. S'il n'est pas satisfait, le laisser poursuivre sans lui donner d'indications.

Si l'action attendue est réalisée avec la main et non avec un objet, laisser faire sans intervenir.

CONTRAINTES DE TEMPS.

Le temps limite est de **1 minute** à compter du moment où la cible est en place. Il est important de laisser ce temps s'écouler si l'enfant ne saisit pas d'objet, s'il ne produit aucune action ou si, à l'inverse, il ne s'arrête jamais d'agir et/ou n'est jamais satisfait de ses productions.

COTATION

La cotation s'effectue en direct pour une part, sur visionnage vidéo pour une autre part :

- ✱ **Sélection** (sur vidéo) : nombre d'objets non usuels (i.e., habituellement non associés à la cible proposée) pris en main et décrochés du support.
- ✱ **Temps** (en direct si possible) : temps écoulé entre la présentation de la cible et l'atteinte du critère d'efficacité.
- ✱ **Efficacité** (en direct) : pour chaque item, le participant obtient un point s'il atteint le critère d'efficacité dans le temps imparti. Noter que pour cela, **il doit toujours utiliser l'agent attendu**. En cas de doute quant à l'atteinte du but, laisser le participant poursuivre jusqu'à écoulement du temps limite. Les critères d'efficacité sont précisés dans le tableau III.2.

Tableau 1. Critères d'efficacité associés aux items non réflexifs lors de l'utilisation d'objets en dispositif.

Items non réflexifs	Critère de réussite associé
00. Gobelet (exemple)	Le gobelet contient de l'eau , versée volontairement à l'aide du pichet (i.e., ne pas compter une éventuelle maladresse comme une atteinte du critère).
01. Lampe	L'ampoule est vissée et fermement solidaire de la lampe.
02. Bouteille de soda	La capsule n'est plus solidaire de la bouteille grâce à l'action du décapsuleur ; ne pas pénaliser si le participant laisse la capsule au contact du goulot au lieu de l'enlever.
03. Serrure de porte	Le pêne change de position grâce à l'action de la clef dans la serrure.
04. Vis	La vis effectue au moins une rotation dans le bois grâce à l'action du tournevis.
05. Ardoise	La craie est appliquée sur l'ardoise, une inscription apparaît (dessin, écriture...).
06. Prise femelle	La prise mâle est totalemment insérée dans la prise femelle.
07. Classeur	La pochette plastique transparente est insérée dans les anneaux du classeur, ces derniers étant refermés , indépendamment de la position des rabats du classeur (fermés/ouverts) et du positionnement de la feuille de plastique (déborde ou non du classeur).
08. Clou	Le participant frappe au moins 2 coups sur le clou avec le marteau.
09. Taille-crayon	Le crayon est taillé avec le taille-crayon, des copeaux de bois apparaissent.
10. Bobine de fil	Le participant utilise les ciseaux pour couper un morceau de fil , distinct du reste de la bobine.

IX. UTILISATION D'OBJETS EN DISPOSITIF – CHOIX RESTREINT

MATERIEL

Voir en VIII. UTILISATION D'OBJETS EN DISPOSITIF – CHOIX MULTIPLE.

PRINCIPE

Le participant se voit présenter successivement 10 paires d'objets (i.e., un agent et sa cible usuellement associée) et doit les utiliser ensemble ; il n'a plus à choisir l'agent parmi des distracteurs.

DISPOSITION DU MATERIEL

L'examineur dispose le grand support à clous à environ 40 cm du buste du participant. Il installe ensuite les onze objets cibles entre le support et le buste du participant, un à un, en commençant par l'item d'exemple (i.e., pichet). Immédiatement après avoir posé la cible, l'examineur dispose sur le grand support l'agent associé, et uniquement cet agent, en respectant la position définie (voir figure I.1 en UTILISATION D'OBJETS EN DISPOSITIF – CHOIX MULTIPLE). Une photographie représentant la position de chaque objet figure à l'arrière du support. Après chaque item, l'examineur retire la cible et l'agent et ne les propose plus ensuite.

CONSIGNES

Une fois l'item d'exemple disposé (i.e., gobelet sur le bureau, pichet sur le support), dire :

“En te servant de cet objet [désigner l'agent disposé sur le support], montre-moi comment utiliser cet objet”.

Si l'enfant saisit immédiatement le pichet et l'utilise correctement, passer aux items d'évaluation après avoir mis de côté le pichet et le gobelet.

S'il ne saisit pas le pichet et/ou ne démontre pas la bonne utilisation, le laisser faire pendant quelques secondes puis l'arrêter et dire :

“Cet objet [désigner le taille-crayon] s'utilise avec celui-ci [désigner le crayon]. Vas-y, montre-moi comment faire”.

Si l'enfant ne saisit toujours pas le pichet ou ne l'utilise pas correctement, l'arrêter, prendre le pichet, l'utiliser avec le gobelet, puis reposer les deux objets à leur place initiale et dire : *“A toi maintenant” / “Vas-y, fais comme moi”.*

Si nécessaire, aider l'enfant en “corrigeant” son mouvement, puis le laisser utiliser l'objet seul.

Renouveler ces consignes si besoin est pour s'assurer que l'enfant a compris ce que l'on attend de lui.

Que la réponse vous paraisse correcte ou non, démarrer les items d'évaluation, pour lesquels il ne faut donner aucune correction ; ranger le pichet et le gobelet (i.e., ne pas reposer le pichet sur le support).

DEROULEMENT DES ITEMS D'EVALUATION

Pour les items d'évaluation, les agents sont présentés à **tour de rôle avec la cible correspondante**, et non plus tous en même temps. Une fois l'objet présenté et la consigne énoncée, laisser le participant utiliser les objets comme il le souhaite. Si le participant atteint le critère d'efficacité avant la fin du temps limite, retirer la cible et l'agent (i.e., ne plus remettre l'agent sur le support) puis passer à l'item suivant. Si l'enfant n'atteint pas le critère d'efficacité mais s'arrête manifestement de chercher, dire :

“As-tu terminé ?”.

S'il indique qu'il est satisfait de son action, passer à l'item suivant. S'il n'est pas satisfait, le laisser poursuivre sans lui donner d'indications. Si l'enfant réalise l'action attendue avec sa main et non avec un objet, le laisser faire sans intervenir.

CONTRAINTES DE TEMPS.

Le temps limite est de **30 secondes** à compter du moment où la cible est en place. Cette réduction du temps alloué par rapport à la tâche précédente est justifiée par la suppression du choix : la réduction du nombre d'objets présents dans le champ visuel réduit *a priori* le nombre d'opérations nécessaires pour réussir la tâche

Il est important de laisser ce temps s'écouler si l'enfant ne saisit pas d'objet, s'il ne produit aucune action ou si, à l'inverse, il ne s'arrête jamais d'agir et/ou n'est jamais satisfait de ses productions.

COTATION

La cotation s'effectue en direct lorsque c'est possible :

- * **Temps** (en direct si possible) : temps écoulé entre la présentation de la cible et l'atteinte du critère d'efficacité.
- * **Efficacité** (en direct) : pour chaque item, le participant obtient un point s'il atteint le critère d'efficacité dans le temps imparti. En cas de doute quant à l'atteinte du but, laisser le participant poursuivre jusqu'à écoulement du temps limite.

Voir les critères en I. UTILISATION D'OBJETS EN DISPOSITIF – CHOIX MULTIPLE.

X. UTILISATION D'OBJETS REFLEXIFS EN DISPOSITIF – CHOIX RESTREINT

PRINCIPE

Le participant doit saisir l'objet sur le support et démontrer son utilisation en le conservant dans sa main.

DISPOSITION DU MATERIEL

L'examineur dispose le grand support à clous à environ 40 cm du buste du participant. Il installe ensuite l'objet d'exemple (i.e., le parfum pour les items réflexifs) sur le support en respectant la position définie. Une photographie représentant la position de chaque objet figure à l'arrière du support.



Figure 3. Disposition des 11 agents réflexifs (à gauche) et présentation de l'exemple (parfum, à droite).
Noter que ces derniers sont toujours disposés un à un sur le support et jamais simultanément.

CONSIGNES

Une fois l'item d'exemple disposé, et dire :

“Je vais te demander de saisir cet objet et de me montrer comment on l'utilise”.

Si l'enfant ne produit/ne saisit pas l'objet ou le fait mais ne produit aucun geste, dire :

“(Prend-le et) montre-moi comment on s'en sert ” / “(Prend-le et) montre-moi quel geste on fait avec cet objet”.

Si l'enfant ne produit toujours rien ou ne produit pas un geste clairement identifiable, prendre l'objet et mimer l'action qui lui est usuellement associée (i.e., se parfumer), puis remettre l'objet sur le support et dire :

“A toi maintenant” / “Vas-y, fais comme moi”.

Si nécessaire, aider l'enfant en “corrigeant” son mouvement, puis le laisser utiliser l'objet seul.

Renouveler ces consignes si besoin est pour s'assurer que l'enfant a compris ce que l'on attend de lui.

Que la réponse vous paraisse correcte ou non, démarrer les items d'évaluation, pour lesquels il ne faut donner aucune correction.

DEROULEMENT DES ITEMS D'EVALUATION

Pour les items d'évaluation, une fois l'objet présenté et la consigne énoncée, laisser l'enfant produire des gestes avec l'objet en main puis, s'il s'arrête, dire systématiquement : *“As-tu terminé ?”*.

S'il indique qu'il est satisfait de son geste, passer à l'item suivant. S'il n'est pas satisfait, le laisser continuer à gesticuler.

Si l'enfant porte des lunettes, l'examineur ne doit pas lui demander de les enlever (afin de ne pas initier l'action). Laisser l'enfant procéder comme il le souhaite et noter sa production sur le cahier de passation.

Indiquer clairement à l'enfant que tous les objets qui lui seront proposés sont propres et à usage unique pour certains : *“Tous les objets que je vais te demander d'utiliser sont propres. Tu peux donc les utiliser réellement, certains sont changés à chaque fois”*.

CONTRAINTES DE TEMPS.

Le temps limite est de **30 secondes** à compter du moment où l'objet est en place. Il est important de laisser ce temps s'écouler si le participant ne saisit pas l'objet, s'il ne produit aucun geste ou si, à l'inverse, il ne s'arrête jamais de produire des gestes et/ou n'est jamais satisfait de ses productions.

COTATION

La cotation s'effectue par visionnage vidéo. Une cotation interjuges pourra être mise en place sur un échantillon réduit. Si l'enfant produit plusieurs gestes différents pour un même objet, retenir le geste qui paraît le plus adapté et précis. Les critères de réussite pour les gestes impliquant les objets réflexifs sont listés dans le tableau II.2.

Tableau 2. Critères de réussite associés aux items réflexifs lors de l'utilisation d'objets isolés.

Items réflexifs	Critère de réussite associé
00. Parfum (exemple)	xxx (vaporisé sur le cou)
01. Brosse à dent	Le patient utilise la brosse à dent vers/dans la bouche, avec un mouvement de frottement dirigé vers les dents ; la réponse est jugée correcte si ces critères sont remplis, même si la brosse à dent n'entre pas en contact avec les dents.
02. Casquette	La visière est dans le plan horizontal et au-dessus du front. Si elle n'est pas au-dessus du front, dire : <i>“essaye de la mettre de façon plus habituelle”</i> et considérer le résultat pour la cotation.
03. Tasse	La tasse est portée à la bouche ; le fait d'utiliser l'anse n'est pas déterminant. Réponse correcte même si la tasse n'entre pas en contact avec les lèvres.
04. Casque audio	Le casque audio est disposé sur les oreilles , l'anse au sommet du crâne. Si il n'est pas au-dessus du crâne dire : <i>“essaye de le mettre de façon plus habituelle”</i> et considérer le résultat pour la cotation.
05. Peigne	Le participant se peigne (geste ancré sur le crâne ou en contact avec des cheveux longs).
06. Téléphone	Le téléphone est accolé à l'oreille dans une position qui correspond à son utilisation usuelle.
07. Echarpe	L'écharpe fait un tour complet du cou , recouvre tout le cou.
08. Lunettes	Les lunettes sont correctement installées sur le nez et les deux oreilles .
09. Collier	Le collier est installé autour du cou .
10. Coton-tige	Le patient utilise le coton-tige sur ou dans l'oreille, avec un mouvement de rotation ; la réponse est jugée correcte si ces critères sont remplis, même si le coton-tige n'entre pas en contact avec l'oreille.

XI. TRANSPORT DE CYLINDRES

MATERIEL

- Les items figurent dans le cahier de passation
- Un support peint aux 2 extrémités en rouge et bleu
- Un cylindre bicolore (une extrémité rouge, l'autre bleue)



PRINCIPE

Le participant doit saisir et transporter le cylindre de sa position initiale horizontale à une position finale verticale qui correspond à l'insertion du cylindre dans l'un des 4 orifices du support – désormais appelés « cibles ».

DISPOSITION DU MATERIEL

L'examineur place le cylindre sur son support, en prenant soin de diriger l'**extrémité rouge** du cylindre vers la gauche ou vers la droite selon la main évaluée (voir le cahier de passation). Le support doit être situé à environ 30 cm du buste du participant.

CONSIGNES

Une fois le matériel disposé, dire :

“Je vais te demander de saisir ce bâton puis de l'insérer dans les trous qui se situent de chaque côté”.

Tout en donnant la consigne, montrer avec le doigt le bâton et les 4 cibles. Dire :

“Si je te montre un trou rouge, tu dois insérer la partie rouge du bâton à l'intérieur. Si je montre un trou bleu, tu dois insérer la partie bleue à l'intérieur”.

Tout en donnant la consigne, montrer avec l'index la cible rouge qui se situe à votre gauche puis l'extrémité rouge du cylindre. Saisir ensuite le cylindre en le tenant entre le majeur et l'index de chaque main, les paumes l'une en face de l'autre et insérer l'**extrémité rouge** du cylindre dans cette cible (Figure 3A). Réaliser la même procédure pour la **cible bleue** qui se situe à votre droite.

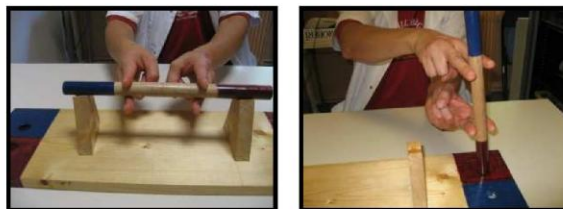


Figure 4. Saisies à réaliser lorsque l'examineur replace le cylindre.
Le cylindre doit être tenu entre l'index et le majeur de chaque main, les paumes l'une en face de l'autre.

Puis, dire : *“Je te demandes maintenant de placer ta main comme ceci”.*

Tout en donnant cette consigne, réaliser la posture initiale que le participant devra systématiquement exécuter avant chaque item, c'est-à-dire une posture avec le pouce/la base du pouce orienté(e) vers 12h (Figure 5). Si l'enfant rencontre des difficultés pour imiter la posture, l'aider à la réaliser. Ne commencer aucun item tant que l'enfant ne tient pas cette posture.

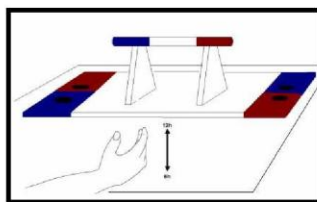


Figure 5. Position initiale de la main du participant. Le pouce doit être orienté à 12h, la main reposant sur la tranche.

Donner les items d'exemple I, II, III et IV. Ces items permettent de s'assurer que l'enfant se conforme à la consigne de placer l'extrémité du cylindre dans la cible correspondante tout en saisissant fermement le cylindre. Si tel n'est pas le cas, recommencer l'item jusqu'à ce que ces deux aspects soient réalisés. Toutefois, ne pas corriger le participant sur la façon dont il saisit le cylindre. Par exemple, si l'enfant ne produit pas une prise UNDERHAND à l'item IV, ne pas le corriger. Donner ensuite les items d'évaluation.

DEROULEMENT DES ITEMS D'ÉVALUATION

Le déplacement du cylindre par l'examineur doit toujours se faire en tenant le cylindre entre l'index et le majeur de chaque main, les paumes l'une en face de l'autre (Figure 4).

Le pointage des cibles doit se faire :

- En suivant l'ordre imposé par le cahier de passation.
- En pointant avec l'index, sans donner aucune information verbale supplémentaire sur la cible pointée.

La position du cylindre sur le support (e.g., extrémité rouge à gauche) change au fur et à mesure des items. Faire attention à ce positionnement, car c'est lui qui conditionne la réponse.

Attendre que l'enfant ait fini son déplacement pour entourer la réponse afin que ce dernier ne pressente pas que seule la saisie initiale est considérée.

Imposer à l'enfant de lâcher le bâton dans la cible après le déplacement et de remettre sa main en « position de départ ». C'est l'examineur qui replacera le bâton en position initiale horizontale.

Pour tous les participants, débiter l'épreuve avec la main dominante de l'enfant (se référer au questionnaire d'Edinburgh pour connaître la latéralité du sujet), puis la main non dominante.

Validité des items :

A la fin de la série des 24 items d'évaluation, redonner les items invalides dans l'ordre avec lequel ils ont été administrés.

L'item est considéré invalide et doit être redonné à la fin de la série si :

- L'enfant ne démarre pas avec la main positionnée de façon à ce que le pouce pointe à 12h.
- Le participant insère le cylindre dans une cible autre que celle pointée par l'examineur.
- Le participant insère et relâche le cylindre dans la bonne cible mais l'extrémité rouge est insérée dans la cible alors que celle-ci est bleue ou vice versa. Comptabiliser l'item comme invalide même si l'enfant, constatant son erreur, décide finalement de saisir de nouveau le cylindre et de le retourner.
- Le participant ne réalise pas une posture qui peut être clairement identifiée comme soit OVERHAND ou UNDERHAND (voir ci-dessous). Ce cas de figure correspond nécessairement à un item lors duquel le participant saisit le cylindre sans l'aide du pouce. Dans ce cas, dire :

“Tu n'as pas le droit de saisir le cylindre comme ceci”.

Montrer alors votre main droite au participant de façon à ce que la base de votre pouce soit orientée vers 12h et vos quatre autres doigts soient joints (voir la posture de la Figure 5). Tout en réalisant plusieurs pincées successives mettant en jeu votre pouce et vos quatre autres doigts, dire :

“Tu dois toujours utiliser ton pouce pour saisir le cylindre”.

Prendre soin, lors de cette consigne, de ne jamais positionner votre main soit avec la paume vers le bas, soit avec la paume vers le haut, au risque d'imputer au participant l'idée qu'une de ces deux postures est attendue. Ne donner cette consigne que si le cas de figure se présente.

L'item est considéré valide et ne doit pas être redonné à la fin de la série, si l'enfant, bien que ne se trompant pas de cible, commence à insérer l'extrémité rouge du cylindre dans la cible alors que celle-ci est bleue – ou vice versa –, retire finalement le cylindre qu'il avait à moitié introduit, le retourne et insère l'extrémité bleue, tout cela sans relâcher à aucun moment le cylindre.

Retenir le nombre d'items invalides et le reporter également sur le cahier de passation.

CONTRAINTES DE TEMPS

Il n'y a aucune contrainte de temps dans cette épreuve.

COTATION

Reporter pour chaque item valide la posture initiale réalisée : OVERHAND (par-dessus) ou UNDERHAND (par-dessous). La Figure 6 illustre les deux types de postures dans le cas où le participant réalise une saisie puissante, c'est à dire, une saisie qui implique tous les doigts. Néanmoins, l'enfant est également autorisé à exécuter une saisie non puissante/fine qui correspond à l'opposition du pouce avec uniquement l'index voire l'index et le majeur, la condition nécessaire pour valider la saisie étant que le pouce soit impliqué.

- Une posture est considérée comme OVERHAND dès lors que le participant saisit le cylindre alors que le pouce est "sous" le cylindre, la paume de la main étant donc orientée vers le bas.
- Une posture est considérée comme UNDERHAND dès lors que le participant saisit le cylindre alors que le pouce est "sur" le cylindre, la paume de la main étant donc orientée vers le haut.



Figure 6. Saisie par le haut ou OVERHAND (gauche) et saisie par le bas ou UNDERHAND (droite). Noter que la figure illustre uniquement les cas où la prise est puissante.

Coter 1 point pour chaque saisie correcte

0 point pour toute saisie incorrecte.

Score total sur 24 points pour chaque main.

Noter le nombre de réajustement (avant déplacement du cylindre) pour chaque main aboutissant à une saisie adéquate.

On relève également 2 sous scores :

- le score de saisies initiales confortables, permettant une position confortable finale (OVER, sur 12)
- le score de saisies initiales inconfortables, permettant une position confortable finale (UNDER, sur 12).

XII. ACTIVITES DE VIE QUOTIDIENNE – CHOIX MULTIPLE

MATERIEL

Objets utilisés lors des activités de vie quotidienne

- Bol	- Chronomètre
- Petite bouteille de lait	- Palette de peinture
- Pot transparent de chocolat en poudre	- Pinceau
- Petite cuillère	- Feuille de papier avec une demi-étoile peinte
- Baladeur CD	- Verre
- CD dans boîtier transparent	- Petite bouteille en plastique contenant de l'eau
- 2 piles LR6	
- Ecouteurs	

PRINCIPE

L'enfant doit réaliser trois activités de vie quotidienne, pour lesquelles tout le matériel lui est présenté simultanément.

DISPOSITION DU MATERIEL

Disposer le matériel comme indiqué sur la figure 7.

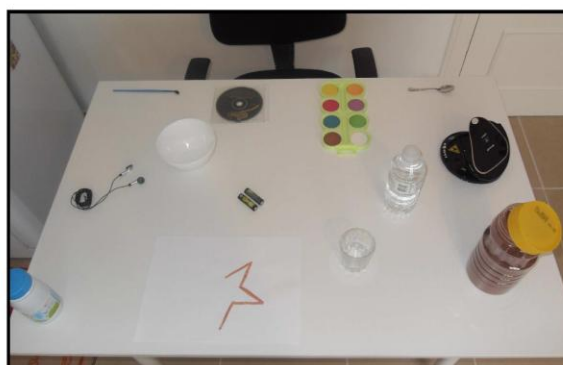


Figure 7. Disposition du matériel lors de la réalisation d'activités de vie quotidienne en choix multiple. Le pot de chocolat en poudre est présenté entre-ouvert, de même que le baladeur CD.

CONSIGNES

Une fois le matériel disposé, dire :

“En utilisant les objets qui sont devant toi, je vais te demander de réaliser plusieurs activités”.

Il est important de ne pas indiquer le nombre d'activités à réaliser ; c'est à l'enfant de le découvrir.

DEROULEMENT DE L'EPREUVE

Avant de démarrer, il est important que l'examineur connaisse les critères de cotation (voir ci-dessous), car ce sont eux qui déterminent la plupart des critères d'arrêt.

× Critères d'arrêt :

- Le participant accomplit 100 % des actions prévues par la cotation et ce dans chacune des 3 activités, avant la fin du temps imparti (i.e., **4'30''**). Si l'enfant paraît avoir terminé (i.e., s'interrompt ou indique qu'il a fini), dire :

“As-tu terminé ? Regardes bien [faire un geste désignant l'ensemble du dispositif]”.

Si le participant confirme qu'il a terminé, arrêter l'épreuve. Dans le cas contraire, le laisser continuer jusqu'à la fin du temps. Si l'enfant ne saisit pas d'objet dans un délai de **20 secondes, arrêter la tâche.**

- Pour considérer qu'une action est réalisée, c'est le résultat final qui doit être pris en compte. Autrement dit, si le participant annule une action prévue par la cotation et qu'il a pourtant correctement réalisé, considérer que cette action n'a pas été accomplie (e.g., le participant branche les écouteurs au baladeur CD mais finit par les retirer et les mettre de côté de sorte que le résultat final ne comporte pas les écouteurs).
- L'enfant n'a pas accompli 100 % des actions prévues par la cotation et il paraît avoir terminé (i.e., s'interrompt ou indique qu'il a fini) alors qu'il reste du temps. Dans ce cas, dire :

“As-tu terminé ? Regardes bien [faire un geste désignant l'ensemble du dispositif]”.

Laisser alors **20 secondes s'écouler**. Si aucun objet n'est saisi durant ce laps de temps, arrêter la tâche. Si l'enfant saisit un objet, le laisser poursuivre. Si par la suite, aucun objet n'est saisi dans un délai de 20 secondes, arrêter la tâche.

- Certaines actions ne peuvent pas être annulées ou recommencées. En conséquence, le participant peut parfois se trouver « bloqué », c'est-à-dire empêché de réaliser d'autres actions (e.g., la feuille de papier est insérée dans le bol de lait ; le lait est déversé dans le pot de chocolat en poudre, etc.). Si l'enfant a réalisé une action qu'il ne peut annuler ou recommencer, alors considérer que la tâche est terminée à partir du moment où il accomplit 100 % des actions prévues par la cotation qui restent possibles.
- L'enfant n'a pas accompli 100 % des actions prévues par la cotation mais **le temps est écoulé**. Dans ce cas, l'interrompre et ranger les objets.

× Interventions possibles :

- Si le participant engage une action qui pourrait endommager le matériel, l'interrompre et dire :

“Essaye de faire autrement” / “Essaye de ne pas abimer les objets”.

- Si le participant engage une action « salissante » (e.g., verse de l'eau dans le pot de chocolat en poudre, verse du lait sur la palette de peinture, etc.), ne pas intervenir car cela risquerait de corriger sa performance.

CONTRAINTES DE TEMPS

Les participants disposent de **4'30"** pour réaliser les 3 activités. Passé ce délai, ranger les objets et passer à l'épreuve suivante.

COTATION

La cotation s'effectue en direct lorsque c'est possible :

- × Temps (en direct si possible) : temps écoulé entre le moment où l'examineur a terminé d'énoncer la consigne et l'atteinte des critères d'efficacité à 100 %.
- × Regroupements (sur vidéo) : mesure la tendance des participants à effectuer à la suite les actions d'une même activité.
- × Efficacité (en direct) : au fur et à mesure que le participant réalise des actions, c'est-à-dire fait interagir les objets dont il dispose, cocher la ligne correspondante en prenant en compte uniquement le résultat final. Le résultat final correspond à l'état du dispositif au moment de l'arrêt de la tâche. En d'autres termes, ne pas prendre en compte les annulations ou autocorrections durant la réalisation ; celles-ci pourront être intégrées à une cotation future. Les critères de cotation sont décrits dans le tableau VI.1.

Tableau 3. Critères de cotation associés à la réalisation des activités de vie quotidienne.

PREPARER UN CHOCOLAT AU LAIT	Cocher quand l'action est réalisée	PEINDRE	Cocher quand l'action est réalisée
Chocolat en poudre versé dans le bol		Eau dans verre	
Chocolat versé avec la cuillère		Pinceau trempé dans eau	
Lait versé dans le bol		Pinceau mouillé puis trempé dans peinture	
Lait mélangé avec le chocolat		Etallement de la peinture sur feuille avec pinceau	
Nb. Actions réalisées	/ 4	Nb. Actions réalisées	/ 4
Pourcentage d'actions attendues réalisées	%	Pourcentage d'actions attendues réalisées	%
ECOUTER DE LA MUSIQUE	Cocher quand l'action est réalisée		
Mise en place des piles		SCORE TOTAL :	/ 12
Ecouteurs branchés		POURCENTAGE MOYEN :	%
Baladeur fermé une fois le CD en place			
Bouton enclenché après mise en place des piles + CD			
Nb. Actions réalisées	/ 4		
Pourcentage d'actions attendues réalisées	%		

XIII. ACTIVITES DE VIE QUOTIDIENNE – CHOIX RESTREINT

MATERIEL

Voir en XII. ACTIVITES DE VIE QUOTIDIENNE – CHOIX MULTIPLE.

PRINCIPE

L'enfant doit réaliser trois activités de vie quotidienne, une par une. Seul le strict nécessaire lui est présenté à chaque fois.

DISPOSITION DU MATERIEL

Disposer le matériel comme indiqué sur la figure 8. Cette disposition en choix restreint est spatialement identique à la disposition en choix multiple (i.e., les objets sont à la même place sur le bureau en choix multiple et en choix restreint) ; les objets non utiles pour la tâche en cours ont simplement été retirés.

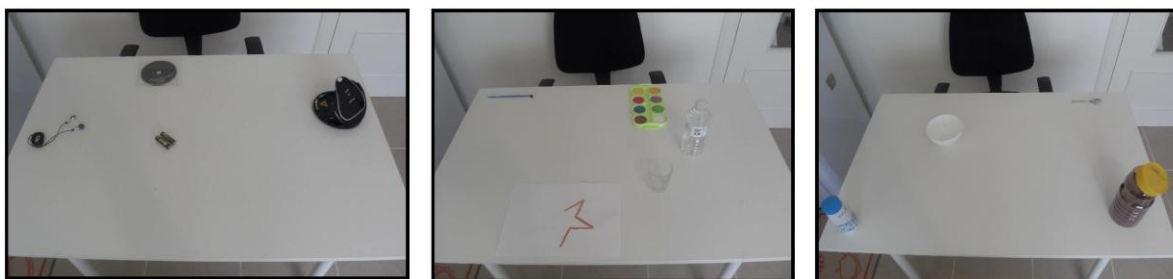


Figure 8. Disposition du matériel lors de la réalisation des activités de vie quotidienne en choix restreint.

CONSIGNES

Une fois le matériel disposé pour l'activité [Ecouter de la musique], dire :

“En utilisant les objets qui sont devant toi, je te demande de faire ce qu’il y a à faire”.

Il est important de ne pas indiquer le nombre d'activités à réaliser ; c'est à l'enfant de le découvrir.

DEROULEMENT DES ITEMS D’EVALUATION

Voir en XII. ACTIVITES DE VIE QUOTIDIENNE – CHOIX MULTIPLE. L'ordre des activités est le suivant : (1) Ecouter de la musique ; (2) Peindre ; (3) Préparer un chocolat au lait.

CONTRAINTES DE TEMPS

Les participants disposent de **1'30"** pour réaliser chacune des 3 activités. Passé ce délai, ranger les objets et passer à l'activité ou à l'épreuve suivante.

COTATION

Voir en XII. ACTIVITES DE VIE QUOTIDIENNE – CHOIX MULTIPLE.

XIV. RESOLUTION DE PROBLEMES MECANIQUES – CHOIX MULTIPLE

MATERIEL

Objets utilisés lors de la résolution de problèmes mécaniques

- Boîte à piège (exemple)	- Tige de bois 25 cm, Ø 7 mm
- Boîte à cheminée	- Tige d'aluminium 25 cm, Ø 7 mm
- Boîte à puits	- Tige de bois 7 cm, Ø 7 mm
- Boîte à bascule	- Tige d'aluminium 7 cm, Ø 7 mm
- Chronomètre	- Fil d'étain 25 cm, Ø 2 mm
	- Fil de cuivre 25 cm, Ø 2 mm
- Présentoir en mousse sur plaque en inox.	- Fil d'étain 7 cm, Ø 2 mm
- Billes et cubes de bois peints en rouge	- Fil de cuivre 7 cm, Ø 2 mm

PRINCIPE

Le participant doit récupérer une pièce de bois (i.e., bille ou cube) coincée à l'intérieur d'une boîte en plexiglas, en choisissant des outils utiles parmi les 8 proposés.

DISPOSITION DU MATERIEL

Disposer le matériel comme indiqué sur la figure 9, pour les droitiers comme pour les gauchers.

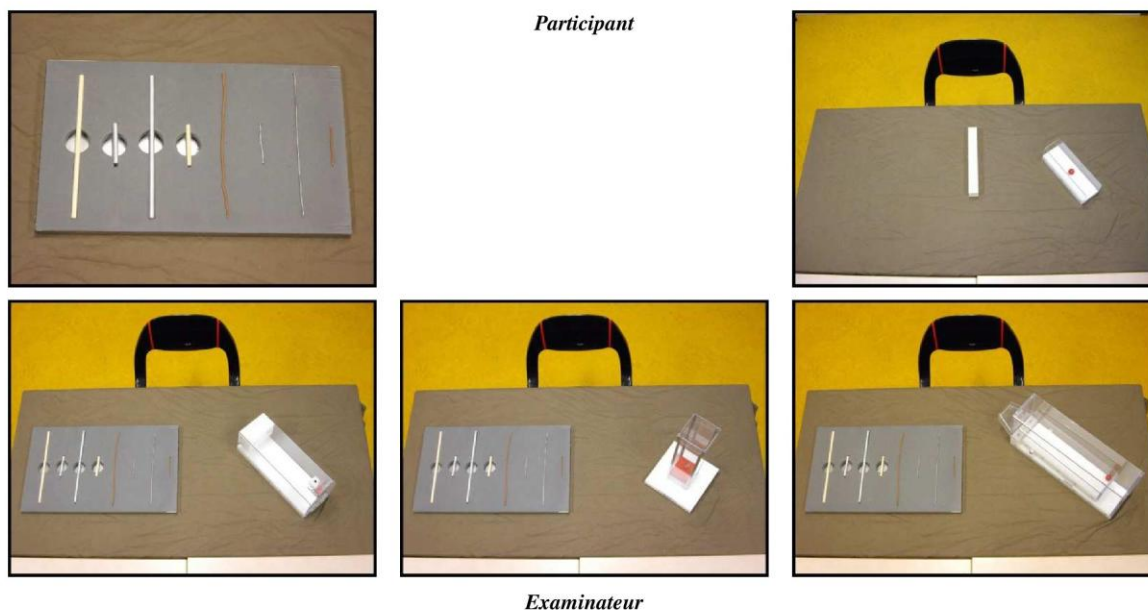


Figure 9. Disposition du matériel lors de l'épreuve de résolution de problèmes mécaniques en choix multiple. La figure présente la disposition des agents sur la mousse (en haut à gauche : bois, aluminium, aluminium, bois, cuivre, étain, étain, puis cuivre), la disposition du matériel pour l'item d'exemple (en haut à droite) et pour les items d'évaluation (en bas).

CONSIGNES

Pour démarrer, installer le matériel correspondant à l'item d'exemple (i.e., boîte à piège et pavé en bois) comme indiqué sur la figure 9 en prenant soin d'installer la bille rouge dans le piège hors de la vue de l'enfant. Une fois le matériel disposé, dire :

“En utilisant cet objet [désigner le pavé en bois], montre-moi comment récupérer la bille qui est coincée dans cette boîte. Tu peux tourner la boîte [tourner la boîte sur un axe vertical puis la remettre à sa position initiale, sans jamais désolidariser la base et le bureau] mais pas la soulever [soulever la boîte de façon à désolidariser sa base du bureau, en indiquant, gestuellement si nécessaire, que ce n’est pas autorisé]. Vas-y, c’est à toi”.

Si l’enfant essaie de faire sortir la bille sans utiliser le pavé en bois, dire en le désignant : *“Essaye avec ça”*.

Si l’enfant essaie de soulever la boîte pour la pencher, remettre la bille en place si nécessaire (hors de la vue du participant) et dire :

“C’est une bonne idée mais tu dois y arriver sans soulever la boîte. Essaye avec ça [désigner le pavé en bois]”.

Au besoin, appuyer sur le dessus de la boîte pour faire comprendre à l’enfant qu’il ne peut pas la soulever.

Si l’enfant imprime un geste brusque à la boîte pour faire rouler la bille, remettre celle-ci en place si nécessaire (hors de la vue du participant) et dire :

“C’est une bonne idée mais tu dois y arriver autrement. Essaye avec ça [désigner le pavé en bois]”.

Si l’enfant ne parvient pas à faire sortir la bille en respectant ces consignes, faire une démonstration : faire sortir la bille avec le pavé en bois puis réinstaller le dispositif dans sa position de départ et dire : *“Vas-y c’est à toi. Fais comme moi”*.

Il est possible de répéter ces consignes autant de fois que nécessaire pour s’assurer que l’enfant comprend bien ce qu’on attend de lui. Quel que soit le résultat, passer ensuite aux items d’évaluation.

DEROULEMENT DES ITEMS D’EVALUATION

* Considérations générales

- L’ordre des problèmes est fixé pour tous les participants : (1) Boîte à cheminée ; (2) Boîte à puits ; (3) Boîte à bascule.
- Il est impératif de proposer chacune des boîtes et les agents en respectant la disposition présentée sur la figure 9 pour que tous les participants aient, au départ, le même point de vue sur le matériel.
- Les agents sont toujours disposés ainsi indépendamment de la latéralité des participants.
- Il est impératif de réinstaller tous les agents à leur point de départ entre chaque item.
- Ne jamais installer les cubes ou billes à la vue des participants car cela pourrait leur fournir des indications.
- Il n’est pas nécessaire de montrer dans le détail les différentes ouvertures des boîtes.
- Les consignes peuvent être répétées autant de fois que nécessaire sur demande de l’enfant ; aucune autre aide ne doit être apportée. Cette tâche est parfois éprouvante pour les participants ; l’examineur est autorisé à les encourager mais sans jamais fournir d’autres indications que celles qui se trouvent dans les présentes consignes et interventions.

* Consignes initiales

- Une fois le matériel disposé, dire :

“En utilisant ces objets [désigner les agents], montre-moi comment récupérer le cube/la bille qui est coincé(e) dans cette boîte. Tu peux tourner la boîte [tourner la boîte sur un axe vertical puis la remettre à sa position initiale, sans jamais désolidariser la base et le bureau] mais pas la soulever [soulever la boîte de façon à désolidariser sa base du bureau, en indiquant, gestuellement si nécessaire, que ce n’est pas autorisé]. Je chronomètre mais ce n’est pas une course, le plus important est de faire sortir le cube/la bille de la boîte. Vas-y, c’est à toi”.

Démarrer le chronomètre.

× **Interventions possibles**

- Si l'enfant essaie de résoudre le problème avec les mains, **ne pas le laisser faire**. L'inciter à utiliser les agents pour faire sortir la pièce.
- Si l'enfant essaie de soulever la boîte pour la pencher, remettre la pièce de bois en place si nécessaire (hors de la vue du participant) et dire :

“C'est une bonne idée mais tu dois y arriver sans soulever la boîte. Essaie avec ça [désigner les agents]”.

Au besoin, appuyer sur le dessus de la boîte pour faire comprendre au participant qu'il ne peut pas la soulever.

- Si le participant imprime un geste brusque à la boîte pour faire glisser ou rouler la pièce de bois, remettre celle-ci en place si nécessaire (hors de la vue du participant) et dire :

“C'est une bonne idée mais tu dois y arriver autrement. Essaie avec ça [désigner les agents]”.

- Si l'enfant engage une action qui pourrait endommager le matériel (autre que tordre les tiges d'étain ou de cuivre proposées ; frapper fort avec un agent sur le fond de la bascule par exemple), l'interrompre et dire :

“Essaye de faire autrement” / “Essaye de ne pas abimer les objets”.

- La performance ne doit jamais être corrigée.
- Exception : si le participant fait tomber un agent dans une boîte et qu'il devient ainsi inaccessible, arrêter le chronomètre puis, hors de la vue de l'enfant, récupérer l'agent et réinstaller le dispositif comme il était au moment de l'interruption. Si le participant a posé l'agent avec lequel il agissait, lui remettre dans la main et dire : *“Tu peux reprendre”.*

× **Critères d'arrêt**

- L'enfant récupère la pièce de bois en moins de 3 minutes et en respectant les règles. Il n'est pas nécessaire qu'il tienne la pièce de bois ou qu'il la donne à l'examineur ; il suffit que la pièce de bois soit totalement sortie de la boîte. Passer alors à l'item suivant.
- L'enfant s'interrompt alors qu'il n'a pas récupéré la pièce de bois. Dire : *“Vas-y continue, il y a toujours une solution”.*
- Les 3 minutes sont écoulées et l'enfant n'a pas terminé. L'interrompre et passer à l'item suivant.

CONTRAINTES DE TEMPS

Les participants disposent de **3 minutes** pour résoudre chacun des problèmes.

COTATION

La cotation s'effectue en direct lorsque c'est possible :

- × **Temps** (en direct) : temps écoulé entre le moment où l'examineur a terminé d'énoncer la consigne et celui où le cube sort totalement de la boîte.
- × **Analyse qualitative** (sur vidéo) : analyse des choix et des actions du participant.
- × **Efficiency** (en direct) sur une échelle en quatre points, détaillée dans le tableau 4 :
 - 3 points : la pièce de bois sort de la boîte dans le temps imparti et sans rupture de règle.
 - 2 points : la pièce de bois a changé de position à l'intérieur de la boîte, sans rupture de règle, mais n'est pas sortie totalement de la boîte.
 - 1 point : la pièce de bois a été touchée au moins une fois directement.
 - 0 point : le participant touche la boîte mais jamais la cible.
 - Noter que le fait de faire glisser ou rouler la pièce de bois dans la boîte en la soulevant ou en la déplaçant brusquement est considéré comme une rupture de règles.

Tableau 4. Critère de notation pour les items de l'épreuve de résolution de problèmes mécaniques.

	3 points	2 points	1 point	0 point
Boîte à cheminée	La pièce de bois est sortie de la boîte dans le temps imparti et sans rupture de règles.	Le cube est tombé mais pas sorti de la boîte dans le temps imparti.	Le participant touche le cube avec un agent mais sans le faire tomber avant la fin du temps imparti.	Le participant touche la boîte mais jamais le cube.
Boîte à puits		Le pavé de bois est totalement décollé du socle, sans rupture de règles, mais pas sorti de la boîte dans le temps imparti.	Le participant touche le pavé de bois, le crochet ou la vis avec un agent, mais le pavé n'est jamais totalement désolidarisé du socle.	
Boîte à bascule		La bille se cale près de l'embouchure grâce à l'action d'un agent, sans rupture de règles, mais ne sort pas dans le temps imparti.	Le participant touche la partie extérieure du fond de la bascule avec un agent qu'il introduit dans l'ouverture ronde, mais il n'actionne pas la bascule.*	

* Il s'agit ici d'un cas particulier : le fait de toucher le fond de la bascule donne un point (quel que soit l'agent employé) car aucun agent ne permet d'atteindre la bille directement lorsqu'elle se trouve à sa position de départ.

XV. RESOLUTION DE PROBLEMES MECANIQUES – CHOIX RESTREINT

MATERIEL

Voir en XIV. RESOLUTION DE PROBLEMES MECANIQUES – CHOIX MULTIPLE.

PRINCIPE

Le participant doit récupérer une pièce de bois (i.e., bille ou cube) coincée à l'intérieur d'une boîte en plexiglas. Pour cela, il dispose d'un outil pertinent.

DISPOSITION DU MATERIEL

Disposer le matériel comme indiqué sur la figure 10 pour les droitiers comme pour les gauchers.

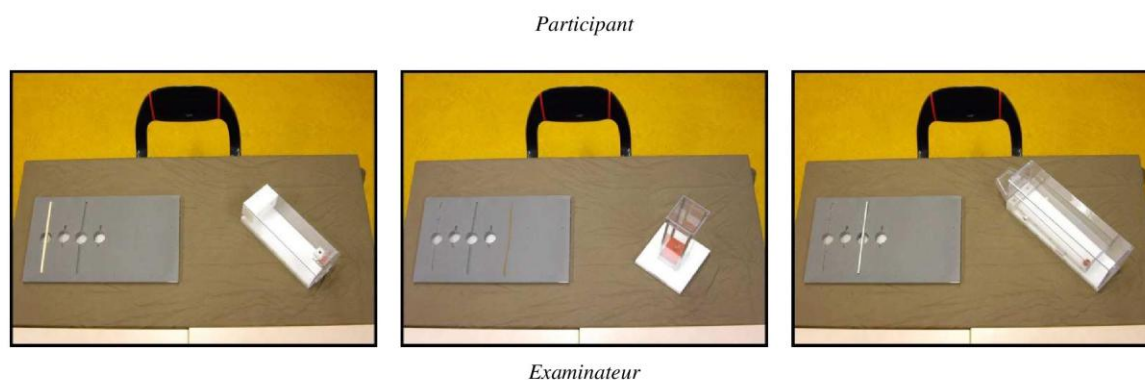


Figure 10. Disposition du matériel lors de l'épreuve de résolution de problèmes mécaniques en choix restreint. La figure présente la disposition du matériel pour les items d'évaluation. Noter que l'agent proposé change à chaque item.

CONSIGNES

Pour démarrer, installer le matériel correspondant à la figure 10, puis renouveler la procédure présentée en VII. RESOLUTION DE PROBLEMES MECANIQUES – CHOIX MULTIPLE.

DEROULEMENT DES ITEMS D'EVALUATION

* Considérations générales

- L'ordre des problèmes est fixé pour tous les participants :
 - (1) Boîte à cheminée avec l'agent [Tige de bois 25 cm, Ø 7 mm].
 - (2) Boîte à puits avec l'agent [Tige de cuivre 25 cm, Ø 2 mm].
 - (3) Boîte à bascule avec l'agent [Tige d'aluminium 25 cm, Ø 7 mm].
- Il est impératif de proposer chacune des boîtes et les agents en respectant la disposition présentée sur la figure 10 pour que tous les participants aient, au départ, le même point de vue sur le matériel.
- Du reste, voir en XIV. RESOLUTION DE PROBLEMES MECANIQUES – CHOIX MULTIPLE.

* Consignes initiales

- Une fois le matériel disposé, dire :

“En utilisant cet objet [désigner l’agent fourni], montre-moi comment récupérer la bille/le cube qui est coincé(e) dans cette boîte. Tu peux tourner la boîte [tourner la boîte sur un axe vertical puis la remettre à sa position initiale, sans jamais désolidariser la base et le bureau] mais pas la soulever [soulever la boîte de façon à désolidariser sa base du bureau, en indiquant, gestuellement si nécessaire, que ce n’est pas autorisé]. Vas-y, c’est à toi”.

Démarrer le chronomètre.

× **Interventions possibles**

- Voir en XIV. RESOLUTION DE PROBLEMES MECANIQUES – CHOIX MULTIPLE.

× **Critères d’arrêt**

- Voir en XIV. RESOLUTION DE PROBLEMES MECANIQUES – CHOIX MULTIPLE.

CONTRAINTES DE TEMPS

Les participants disposent de **3 minutes** pour résoudre chacun des problèmes.

COTATION

Voir en XIV. RESOLUTION DE PROBLEMES MECANIQUES – CHOIX MULTIPLE.

XVI. IMITATION DE POSTURES NON SIGNIFIANTES

MATERIEL

- Les items figurent dans le cahier de passation.
- Chronomètre.

PRINCIPE

L'examineur réalise une posture non symbolique manuelle ou digitale que le participant doit imiter en miroir, avec la main correspondant.

DISPOSITION DU MATERIEL

Cette épreuve ne requiert aucune préparation spécifique si ce n'est de s'assurer que le participant puisse percevoir dans de bonnes conditions les postures de l'examineur.

CONSIGNES

S'installer bien en face de l'enfant et dire :

« Tu vas devoir faire le même geste que moi. Si je fais un geste avec cette main (montrez votre main droite), tu le fais avec celle là (montrez la main gauche de l'enfant, en face de votre main droite), et ce que je fais avec cette main (montrez votre main gauche), tu le fais avec celle là (montrez la main droite de l'enfant). Fais bien attention parce que parfois je change de main sans te prévenir ».

Tout en donnant la consigne, exécuter la première posture qui figure sur le cahier de passation et la tenir durant **10 secondes**. Démarrer le chronomètre dès le moment où le modèle est parfaitement en place.

Après avoir administré les items uni-manuels et avant de démarrer les items bi-manuels, dire :

“Maintenant, je vais te montrer des gestes qui sont plus difficiles à faire. Essaie de faire du mieux que tu peux, par exemple...(montrez le geste d'exemple)”.

Tout en énonçant cette consigne, produire la posture correspondant à l'exemple. L'examineur peut aider le participant en lui saisissant les mains et/ou en lui indiquant si sa posture est correcte ou non. En revanche, il ne doit fournir aucune indication verbale. Passer ensuite aux items d'évaluation bi-manuels.

DEROULEMENT DES ITEMS D'EVALUATION

Suivre l'ordre des items indiqué dans le cahier de passation et tenir chaque posture jusqu'à 10 secondes pour les items uni-manuels et 30 secondes pour les items bi-manuels. Passé ce délai, reposer la main à plat et arrêter la production du participant, si nécessaire en lui prenant la main. Entre chaque item, amener l'enfant à poser la main à plat sur le bureau avant de proposer le modèle suivant. Ne pas fournir d'aide gestuelle (e.g., ne pas aider le participant à plier les doigts) ou verbale (e.g., ne pas indiquer au participant le nom du doigt à sélectionner).

CONTRAINTES DE TEMPS

Chaque posture uni-manuelle doit être tenue jusqu'à **10 secondes** par l'examineur, **30 secondes** pour les postures bi-manuelles.

COTATION

La cotation est basée sur une échelle en trois points pour les postures uni-manuelles. La cotation des postures bi-manuelles sera à définir ultérieurement en fonction des performances des sujets contrôlés.

× **Echelle** :

- 2 points : la posture est parfaitement réalisée correctement dans les **5 premières secondes**, à compter du moment où le modèle est en place.
- 1 point : la posture est réalisée en moins de 10 secondes correctement dans un **délaï de 5 à 10 secondes**, à compter du moment où le modèle est en place.
- 0 point : la posture n'est **pas réalisée correctement dans un délaï de 10 secondes**, à compter du moment où le modèle est en place.

× **Aide à la cotation** :

- La posture du participant est considérée comme correcte si elle correspond à celle exécutée par l'examineur et que le patient n'en change pas pendant 2/3 secondes.
- Les postures digitales doivent être jugées en prenant en considération le choix et la position des doigts les uns par rapport aux autres, indépendamment de la position et de l'orientation de la main par rapport au corps. Il est important d'être relativement exigeant (e.g., si le modèle intègre un angle droit, exiger qu'il soit reproduit, Dg.01 ou Db.04 par exemple).
- Les postures manuelles doivent être jugées en prenant en considération l'orientation de la main et le point d'ancrage sur le corps, indépendamment de la position des doigts. Il est important d'être relativement exigeant (e.g., si le point d'ancrage est sur le lobe de l'oreille, ne pas accepter un autre point d'ancrage, même sur l'oreille).
- Certaines personnes ne peuvent pas désolidariser totalement certains doigts (e.g., l'annulaire et l'auriculaire) ; ne pas pénaliser la performance s'il est clair que le patient est gêné par ce type de phénomène très périphérique.
- Pour les postures symétriques : ne pas pénaliser la mise en place d'un bras au-dessus de l'autre alors que l'inverse était attendu (ex. Mb.10).

× **Précision pour la réalisation des postures manuelles** :

- Md.01 : le pouce est positionné sous le nez.
- Mg.03 : le bout des doigts touchent le dessous du menton.
- Mg.05 : le pouce est positionné au niveau de l'orifice de l'oreille.
- Mg.06 : le bout des doigts est situé au niveau de l'orifice de l'oreille.
- Mg.08 : le dos de la main touche le dessous du menton.
- Mb.02 : main droite sur oreille gauche, paume vers l'extérieur, et main gauche derrière oreille droite, paume vers l'extérieur.
- Mb.04 : pouce droit posé au coin extérieur de l'œil gauche, et main gauche placée sous oreille droite, paume vers l'extérieur (le bout des doigts touche le lobe de l'oreille).
- Mb.05 : index droit sur orifice de l'oreille gauche, paume vers le corps, et index gauche pointe sur le cou (au-dessus de l'épaule droite).
- Mb.06 : les 2 mains sur oreille controlatérale, paumes vers l'extérieur.
- MbNC.05 : pouces sur pommettes ipsilatérales.

XVII. APPARIEMENTS D'IMAGES

MATERIEL

- Un cahier d'images en noir et blanc.
- Un chronomètre.

PRINCIPE

Le participant doit choisir parmi 4 images celle qui s'apparie le mieux avec celle du haut (voir la figure 11 pour un exemple). Sur critère catégoriel, les trois distracteurs sont sémantique, morphologique et neutre.

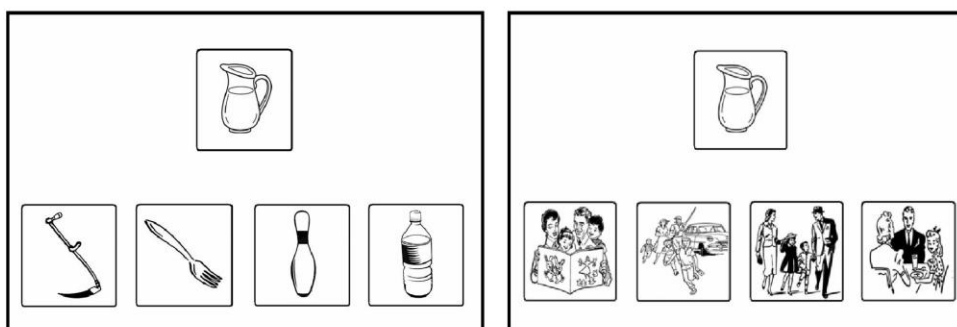


Figure 11. Exemple d'item pour les appariements catégoriels (à gauche) et contextuels (à droite).

DISPOSITION DU MATERIEL

L'examineur dispose le cahier d'images devant l'enfant. Le cahier reste fermé dans un premier temps.

CONSIGNES

Une fois le matériel disposé, ouvrir le cahier à la première page et dire :

“Parmi les 4 images du bas, laquelle va le mieux avec celle du haut ?”

Si l'enfant hésite entre deux réponses, dire :

“Il n'y a qu'une seule réponse possible. Quelle est ta réponse ?”

Si le participant donne la bonne réponse, tourner la page et démarrer les items d'évaluation. Si l'enfant ne donne pas la bonne réponse, dire : *“En fait, la réponse que j'attendais était celle-ci”*.

Tout en donnant cette consigne, indiquer avec le doigt l'image attendue sans nommer les objets représentés et sans expliquer pourquoi la réponse attendue était celle-ci. Une fois cet item d'exemple réalisé, commencer les items d'évaluation. Reproduire ces consignes pour l'item d'exemple des appariements sur critère contextuel.

DEROULEMENT DES ITEMS D'EVALUATION

Les appariements catégoriels sont systématiquement proposés en premiers puis les appariements contextuels, items non réflexifs puis réflexifs.

Ne donner aucun retour sur l'exactitude de la réponse de l'enfant. Ne jamais dénommer les objets représentés. Ne jamais expliquer la logique permettant de répondre. La consigne initiale peut être renouvelée si nécessaire.

CONTRAINTES DE TEMPS

Les items d'exemple et les items d'évaluation sont réalisés avec contrainte de temps. Le participant a **20 secondes** pour produire une réponse. Dès que cette durée est atteinte, dire :

“Quelle est ta réponse ?”

Solliciter vivement le participant pour qu'il donne une réponse dans les plus brefs délais. Si l'enfant ne sait pas, dire :

“Si tu ne sais pas, tu peux me montrer une des images au hasard, peut-être est-ce la bonne”.

Ne passer à l'item suivant que lorsqu'une réponse est produite.

COTATION

Plusieurs indices peuvent être relevés lors de la passation.

- * Nombre de bonnes réponses fournies dans un délai de 20 secondes. Score sur 10 dans chaque condition (1 point par bonne réponse dans le temps imparti).
- * Temps mis pour produire une réponse franche.
- * Nombre de réponses par catégorie d'erreur.

XX. RECONNAISSANCE DE POSTURES MANUELLES D'UTILISATION D'OBJETS

MATERIEL

- Un cahier de photographies.
- Un chronomètre.

PRINCIPE

Le participant doit choisir parmi 4 photographies celle qui correspond à la bonne façon d'utiliser l'objet (voir la figure 12 pour un exemple).

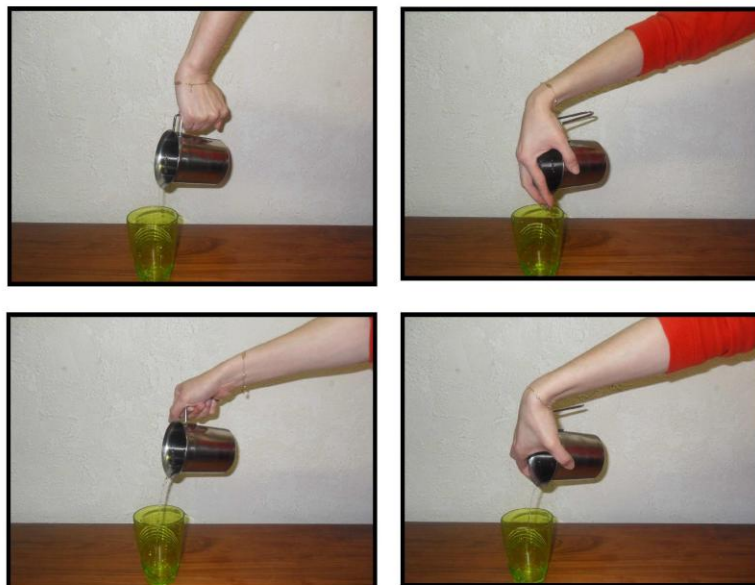


Figure 12. Exemple d'item de l'épreuve de reconnaissance de postures manuelles d'utilisation. Les distracteurs sont une posture inconfortable de type « envers » (en haut à gauche), une saisie par la partie active de l'agent (en bas à droite) et une utilisation impossible voire dangereuse (en haut à droite).

DISPOSITION DU MATERIEL

L'examineur dispose le cahier d'images devant le participant. Le cahier reste fermé dans un premier temps.

CONSIGNES

Une fois le matériel disposé, ouvrir le cahier à la première page ("Item d'exemple") et dire :

"Quelle est la bonne façon d'utiliser cet objet ?"

Si l'enfant hésite, dire :

"Il n'y a qu'une seule réponse possible. Quelle est ta réponse ?"

Si le participant donne la bonne réponse, tourner la page et débiter les items d'évaluation. Si l'enfant ne donne pas la bonne réponse, dire : *"En fait, la réponse que j'attendais était celle-ci"*.

Tout en donnant cette consigne, pointer du doigt la photographie attendue sans nommer les objets représentés et sans expliquer pourquoi la réponse attendue était celle-ci. Une fois cet item d'exemple réalisé, commencer les items d'évaluation. Ne donner aucune correction pour les items d'évaluation.

DEROULEMENT DES ITEMS D'ÉVALUATION

Tous les examinateurs proposent d'abord les items non réflexifs puis réflexifs.

Ne donner aucun retour sur l'exactitude de la réponse de l'enfant. Ne jamais dénommer les objets représentés. Ne jamais expliquer la logique permettant de répondre. La consigne initiale peut être renouvelée si nécessaire.

CONTRAINTES DE TEMPS

Les items d'exemple et les items d'évaluation sont réalisés avec contrainte de temps. L'enfant a **20 secondes** pour produire une réponse. Dès que cette durée est atteinte, dire :

“Quelle est ta réponse ?”

Solliciter vivement le participant pour qu'il donne une réponse dans les plus brefs délais. Si l'enfant ne sait pas, dire :

“Si tu ne sais pas, tu peux me montrer une des images au hasard, peut-être est-ce la bonne”.

Ne passer à l'item suivant que lorsqu'une réponse est produite.

COTATION

Plusieurs indices peuvent être relevés lors de la passation.

- * Nombre de bonnes réponses fournies dans un délai de 20 secondes. Score sur 10 (1 point par bonne réponse dans le temps imparti).
- * Temps mis pour produire une réponse franche.
- * Nombre de réponses par catégorie d'erreur.

XXI. PURDUE PEGBOARD

MATERIEL

- Une planche comportant 2 rangées parallèles de 25 trous chacune. Des tiges, des tubes et des rondelles sont localisés dans 4 creusets à l'extrémité distale de la planche. 20 tubes et 40 rondelles occupent les 2 creusets du milieu, tandis que 25 tiges sont disposées dans chacun des creusets latéraux (extrémités droite et gauche de la planche).
- Un chronomètre.

PRINCIPE

Le participant doit prendre et insérer rapidement des tiges métalliques de petite dimension dans les trous d'une planche, à l'aide de sa main dominante, non dominante, de ses 2 mains, puis réaliser des assemblages de plusieurs pièces métalliques (tiges, tubes et rondelles).



DISPOSITION DU MATERIEL

L'examineur dispose la planche à trou devant l'enfant, de manière à ce que les creusets se situent à l'extrémité la plus éloignée de lui. Pour les droitiers, les rondelles sont à gauche des tubes dans les creusets centraux, et inversement pour les gauchers.

CONSIGNES

Une fois le matériel disposé, dire :

“Je vais te demander de prendre une tige à la fois avec ta main droite (selon la latéralité de l'enfant) dans le creuset de droite et de placer chaque tige dans cette rangée de droite, en commençant par le trou du haut, puis en descendant”.

Tout en donnant la consigne, insérer une tige dans le 1^{er} trou pour la démonstration, puis dire :

“Vas-y, mets quelques tiges pour t'entraîner”.

Lorsque l'enfant a placé 4 tiges et paraît avoir compris la tâche, enlever les tiges qui ont été mises en place et les remettre dans le creuset correspondant. Une fois cet entraînement réalisé, dire :

“Quand je te dirai de commencer tu placeras autant de tiges que tu pourras dans la rangée de droite, en commençant par le trou du haut. Vas aussi vite que possible, jusqu'à ce que je te dise stop, c'est une course !”.

Pour éviter les interruptions et les perturbations pendant l'épreuve, il a été introduit une consigne supplémentaire (cf. Albaret, 1998) : *“Si tu fais tomber des tiges, tu ne t'en occupes pas pendant l'épreuve, nous les ramasserons à la fin”.*

Laisser les tiges dans les trous et reproduire ces consignes pour **la main non dominante**. Lorsque ces 2 parties sont terminées, remettre toutes les tiges dans leurs creusets respectifs.

Pour la **3^{ème} partie de l'épreuve (2 mains simultanées)**, dire :

“Maintenant tu vas faire pareil avec les 2 mains en même temps, toujours en commençant par les trous du haut”.

Tout en donnant la consigne, insérer 2 tiges dans les 1^{er} trous pour la démonstration, puis dire : *“Vas-y, mets quelques tiges avec tes 2 mains pour t’entraîner”.*

Lorsque le participant a placé 8 tiges et paraît avoir compris la tâche, enlever les tiges qui ont été mises en place et les remettre dans les creusets correspondants. Une fois cet entraînement réalisé, dire :

“Maintenant tu dois le faire le plus vite possible, jusqu’à ce que je te dise stop, c’est une course !”.

Pour la dernière partie de l’épreuve (assemblage), dire :

“Maintenant tu vas faire un exercice de construction. Avec ta main droite (selon la latéralité de l’enfant), tu prends une tige dans le creuset de droite et, pendant que tu la places dans le 1^{er} trou de la rangée de droite, tu prends une rondelle avec ta main gauche. Tu enfiles la rondelle sur la tige, pendant que ta main droite prend un petit tube. Tu enfiles le tube sur la tige, pendant que ta main gauche prend une autre rondelle, que tu enfiles par-dessus le tube. Dès que la rondelle est placée, tu commences tout de suite un 2^{ème} assemblage en prenant une autre tige. Tu vois tu fais travailler les 2 mains en même temps, mais elles ont chacune une mission différente. N’oublie pas de changer de main à chaque fois que tu prends un élément”.

Tout en donnant la consigne, faire une démonstration, puis dire : *“Vas-y, fais quelques assemblages pour t’entraîner”.* S’assurer que l’enfant a bien saisi l’alternance des opérations, il doit avoir les 2 mains occupées à tout moment. L’aider si nécessaire en lui montrant ou touchant la main qu’il va devoir utiliser pour la prise du prochain élément.

Lorsque le participant a réalisé 4 assemblages et paraît avoir compris la tâche, remettre les éléments dans les contenants correspondants. Une fois cet entraînement réalisé, dire :

“Maintenant tu dois le faire le plus vite possible, jusqu’à ce que je te dise stop, c’est une course !”.

DEROULEMENT DES ITEMS D’EVALUATION

Pour tous les participants, débiter l’épreuve avec la main dominante du sujet (se référer au questionnaire d’Edinburgh pour connaître la latéralité du participant), puis la main non dominante, les 2 mains simultanément et enfin la partie Assemblage.

CONTRAINTES DE TEMPS

Le participant a **30 secondes** pour insérer le plus de tiges possibles en condition uni-manuelle et bi-manuelle. Ce temps est allongé à **1 minute** pour la partie Assemblage.

Dès que cette durée est atteinte, dire : *“Stop”* et passer à l’item suivant.

COTATION

Plusieurs indices peuvent être relevés lors de la passation.

× **Condition uni-manuelle :**

- **nombre de tiges placées avec la main dominante** dans un délai de 30 secondes
- **nombre de tiges placées avec la main non dominante** dans un délai de 30 secondes

× **Condition bi-manuelle :**

- **nombre de paires de tiges placées** dans un délai de 30 secondes
- **nombre de pièces assemblées** dans un délai de 1 minute (1 assemblage = 4 pièces ; comptabiliser également les dernières pièces même si l’assemblage final n’est pas terminé).

XXII. ZOO (BADs-CHILDREN, TRADUCTION DE ROY)

MATERIEL

- 2 plans du Zoo (version 1 et version 2)
- 2 fiches de consignes (version 1 et version 2)
- Chronomètre
- Feutres de couleur

PRINCIPE

L'enfant doit planifier une balade au zoo (séquence de 8 endroits), dans le cadre de contraintes spécifiques et résister à la tentation de visiter les endroits non prévus.

DISPOSITION DU MATERIEL

Placer les plans du zoo et fiches de consignes successivement (version 1 puis version 2) sous les yeux de l'enfant, sur une surface plane.

CONSIGNES

Version 1 :

« Voici le plan d'un zoo. Il y a beaucoup d'animaux dans ce zoo : [l'examineur désigne les endroits sur le plan] des serpents, des tigres, des lions, des ours, des crocodiles, des singes, des cochons d'inde, des oiseaux, des chameaux, des éléphants et des pandas. Il y a aussi un café et une aire de pique-nique. Malheureusement, tu n'as pas le temps de rendre visite à tous les animaux et d'aller voir tous les endroits, seulement ceux qui sont dessinés ici [l'examineur déplace la fiche de consignes sur la carte du zoo afin d'attirer l'attention de l'enfant sur la colonne de dessins sur la fiche de consignes]. Ton travail consiste à tracer une ligne pour me montrer par où tu voudrais passer pour aller voir les animaux et les endroits indiqués ici [montrer à nouveau la colonne de dessins sur la gauche de la fiche de consignes] ».

L'enfant est ensuite autorisé à lire les consignes. S'il a des difficultés à lire correctement, l'examineur le fait à sa place ou avec lui. Une fois les consignes lues, la fiche d'instructions est déplacée sur un côté et les consignes clarifiées en les lisant à nouveau et en pointant les endroits de visite imposée, comme suit : *« Bien, tu dois commencer par l'entrée [montrer la flèche] et finir par l'aire de pique-nique [pointer l'aire de pique-nique]. Tu peux utiliser les chemins en pointillés comme ceux-là [montrer les chemins en pointillés à l'entrée, aux ours, aux singes et aux oiseaux] autant de fois que tu le veux, mais les chemins blancs [montrer les chemins menant aux éléphants, près des reptiles et de l'aire de pique-nique] une seule fois. Donc si tu vas le long de cette route jusqu'au café [l'endroit est désigné], tu ne peux pas revenir en arrière par le même chemin, tu dois sortir par l'autre côté [l'endroit est désigné]. Tu ne peux faire qu'une seule fois la promenade sur les chameaux [l'examineur positionne un doigt sur chaque extrémité du chemin], qui montent et qui descendent ce chemin. Cela veut dire que si tu utilises n'importe quelle partie de cette promenade à dos de chameau [désigner le chemin en entier, sur toute sa longueur], tu ne peux pas revenir en arrière plus tard et utiliser une autre partie du chemin. Je te donnerai un crayon de couleur différente après chaque endroit visité. Cela ne fait pas partie du test, mais ça m'aidera plus tard à me rappeler ton parcours ».*

Après avoir clarifié toute interrogation à propos de la tâche, l'examineur dit : *« Même si je vais utiliser ce chronomètre pour voir combien de temps il te faut pour faire la tâche, le temps n'est pas vraiment important – ce qui est le plus important, c'est de visiter tous les endroits dessinés dans les consignes, en respectant les règles. Je démarre le chronomètre maintenant, mais tu commences quand tu es prêt ».*

Version 2 :

L'examinateur enlève le plan et les consignes du Zoo 1 et les remplace par l'autre copie du plan du zoo et la fiche de consignes du Test du Zoo Version 2 et dit : « *Le lendemain, tu retournes au zoo pour une autre visite mais cette fois les consignes ont changé. Peux-tu lire à voix haute cette seconde série de consignes s'il te plaît et te souvenir des règles encore une fois ?* »

Lorsque l'enfant a lu les consignes (avec ou sans l'aide de l'examinateur) : « *Bien quand tu es prêt, commence avec ce crayon [montrer la première couleur] ».*

DEROULEMENT DES ITEMS D'EVALUATION

L'enfant est autorisé à mettre des repères sur la liste des consignes une fois qu'ils ont visité un endroit désigné, ou alors marquer sur le plan les endroits où ils ont l'intention d'aller mais **ceci ne doit pas être suggéré à l'enfant**.

L'examinateur donne à l'enfant le 1^{er} feutre de couleur, et commence à chronométrer immédiatement. On change la couleur du crayon utilisé par l'enfant dès qu'un endroit a été visité (il peut être utile d'enregistrer l'ordre des couleurs sur la feuille de cotation à chaque fois que le crayon est redonné). Il est également essentiel d'écrire l'ordre de tous les endroits visités au fur et à mesure du test (y compris ceux qui ne sont pas dessinés dans la liste des consignes). Cela facilite la cotation. La promenade en chameau n'est pas notée comme un endroit (c'est seulement un nom de chemin).

Des notes sont prises sur la feuille de cotation si l'enfant fait des pauses supérieures à quelques secondes ainsi que l'endroit où il/elle s'est arrêté(e) et tout commentaire. Les enfants qui ne planifient pas avant de commencer s'arrêtent souvent et commencent à planifier quand ils ont visité les premiers endroits.

Si les enfants réalisent qu'une erreur a été faite et qu'ils ne peuvent pas visiter tous les endroits sans repasser sur un chemin blanc ou sur le chemin de la promenade en chameau, l'examinateur les encourage à continuer en disant : « *Si tu dois utiliser encore une fois les chemins blancs ou la promenade en chameau pour pouvoir visiter tous les endroits qui restent, tu n'as qu'à le faire parce que le plus important c'est de visiter tous les endroits qui sont dessinés dans les consignes* ».

CONTRAINTES DE TEMPS

Il n'y a aucune contrainte de temps dans cette épreuve.

COTATION

Plusieurs indices peuvent être relevés :

- Temps de planification (temps avant que l'enfant commence à tracer la première ligne) version 1
- Temps total (temps de planification + temps pour dessiner l'itinéraire) version 1
- Temps de planification (temps avant que l'enfant commence à tracer la première ligne) version 2
- Temps total (temps de planification + temps pour dessiner l'itinéraire) version 2
- Score de séquence partie 1 = 1 point accordé pour chaque partie de la séquence de l'enfant qui correspond à l'ordre de n'importe laquelle des 4 séquences possibles indiquées sur le protocole de recueil des données. Les erreurs sont ensuite calculées (nombre de chemins blancs utilisés plus d'une fois, déviations du chemin, échec à réaliser une ligne continue et nombre de lieux inappropriés visités). Le nombre total d'erreurs est déduit du score de séquence.
- Score de séquence partie 2 = idem partie 1, mais pondération par 1 point de pénalité si le temps de planification (temps de latence) est supérieur à 25 secondes et 1 autre point de pénalité si le temps total dépasse 130 secondes.

XXIII. STROOP (FEE)

MATERIEL

- 3 Planches de passation : Dénomination, Lecture et Interférence
- Chronomètre
- Feuille de cotation figurant dans le cahier de passation.

PRINCIPE

L'enfant doit successivement dénommer des couleurs de rectangle (rouge, vert ou bleu), lire des mots (noms de trois couleurs différentes écrits en noir), puis dénommer des couleurs d'encre (noms de couleur écrits dans une autre couleur : rouge, vert ou bleu), le plus vite possible.

DISPOSITION DU MATERIEL

Placer les planches successivement sous les yeux de l'enfant, sur une surface plane.

CONSIGNES

1) Dénomination :

« Tu vas devoir me dire le plus vite possible la couleur de chaque rectangle, en travaillant par ligne. Commençons par cette première ligne d'essai ».

Au cours de l'essai, l'examineur corrige l'enfant en cas d'erreur.

« Maintenant, tu vas faire la même chose pour toute la feuille. Tu dois dire les noms de couleur le plus vite possible, en travaillant ligne par ligne, de gauche à droite, sans t'arrêter. Pour que tu saches bien où tu en es dans les lignes, je te demande de suivre avec ton doigt ». L'examineur illustre par des gestes. *« Prêt ? Partez ».*

2) Lecture :

« Tu vas devoir lire les noms de couleur le plus vite possible, en travaillant ligne par ligne. Commençons par cette première ligne d'essai ».

Au cours de l'essai, l'examineur corrige l'enfant en cas d'erreur.

« Maintenant, tu vas faire la même chose pour toute la feuille. Tu dois lire les noms de couleur le plus vite possible, en travaillant ligne par ligne, de gauche à droite, sans t'arrêter. Pour que tu saches bien où tu en es dans les lignes, je te demande de suivre avec ton doigt ». L'examineur montre par des gestes. *« Prêt ? Partez ».*

2) Interférence :

« Maintenant, tu ne dois pas lire les mots, mais tu dois me dire dans quelle couleur ils sont écrits, le plus vite possible, en travaillant ligne par ligne. Commençons par cette première ligne d'essai ».

Au cours de l'essai, l'examineur corrige l'enfant en cas d'erreur.

« Maintenant, tu vas faire la même chose pour toute la feuille. Tu dois dire les couleurs que tu vois le plus vite possible, sans lire ce qui est écrit, en travaillant ligne par ligne, de gauche à droite, sans t'arrêter. Pour que tu saches bien où tu en es dans les lignes, je te demande de suivre avec ton doigt ». L'examineur indique par des gestes. *« Prêt ? Partez ».*

DEROULEMENT DES ITEMS D'EVALUATION

Déclencher le chronomètre et l'arrêter lorsque l'ensemble des items a été dénommé ou lu.

Dans chacune de ces conditions, l'enfant est arrêté après 10 erreurs non corrigées consécutives (équivalent d'une ligne entière) et les consignes sont alors reformulées.

CONTRAINTES DE TEMPS

Il n'y a aucune contrainte de temps dans cette épreuve.

COTATION

Conseil : indiquer les erreurs avec la lettre correspondant à la couleur dénommée ou lue.

Plusieurs indices peuvent être relevés :

- Temps en secondes pour chacune des 3 parties
- Erreurs corrigées pour chacune des 3 parties : mot incorrect produit mais corrigé correctement par l'enfant → notation **R V** ; en cas de 2 erreurs consécutives corrigées (pour un même item), indiquer les 2 corrections
- Erreurs non corrigées pour chacune des 3 parties : mot incorrect produit et non corrigé → notation : **R**
- Hésitations pour chacune des 3 parties : mot incorrect incomplètement produit et corrigé avant prononciation complète (ex. : « rou... bleu ! ») → notation : **H B** (H = Hésitation, B = Bleu = mot finalement correct)
- Score d'interférence : Temps : partie C – A ; Erreurs corrigées et non corrigées : partie C – A.

XXIV. NEW CARD SORTING TEST (FEE)

MATERIEL

- 48 cartes + 4 cartes cibles
- Chronomètre
- Feuille de cotation figurant dans le cahier de passation.

PRINCIPE

L'enfant doit ranger des cartes selon 3 critères différents (couleur, forme, nombre), qu'ils doit maintenir puis modifier en fonction du feed-back de l'examinateur.

DISPOSITION DU MATERIEL

Les 4 cartes cibles sont placées en ligne, de gauche à droite, face à l'enfant (de sa gauche à sa droite : 1 triangle rouge, 2 étoiles vertes, 3 croix jaunes, 4 ronds bleus).

CONSIGNES

« Tu as ici 4 cartes différentes : 1 triangle rouge, 2 étoiles vertes, 3 croix jaunes et 4 ronds bleus. Je vais faire défiler devant toi, une à une, chacune des cartes de ce paquet ». L'examinateur montre le jeu de cartes et en fait défiler quelques-unes.

« Tu dois essayer de ranger chaque carte que je te montre avec 1 des 4 cartes qui sont devant toi [l'examinateur les montre à nouveau] en fonction d'une règle que tu vas choisir toi-même. Il y a 3 façons de ranger les cartes : peux-tu me dire lesquelles ? ».

Si l'enfant ne trouve pas tous les critères, ils lui sont donnés : *« suivant la couleur, la forme, ou le nombre. A chaque fois que je te présente une carte, tu dois me montrer avec ton doigt avec laquelle des 4 cartes tu veux la ranger ».*

« Je ne peux pas te dire quelle est la règle à choisir pour ranger les cartes. Je te demande de la trouver toi-même en essayant les différentes règles possibles. Par contre, à chaque fois que tu vas me montrer une des 4 cartes, je te dirai oui ou non. Si je te dis oui, c'est que tu as rangé la carte de la bonne manière, tu dois donc garder la même règle pour ranger la carte d'après ; si je te dis non, c'est que tu n'as pas rangé la carte de la bonne manière, tu dois donc changer de règle pour ranger les cartes. Tu as compris ? Maintenant, vas-y, commence à ranger les cartes avec la règle que tu veux ».

DEROULEMENT DES ITEMS D'EVALUATION

Une fois ces consignes données, déclencher le chronomètre et l'arrêter lorsque l'ensemble des cartes est épuisé.

Quelles que soit la 1^{ère} catégorie (couleur, forme, nombre) choisie par l'enfant, elle est considérée comme correcte et, si les réponses suivantes obéissent à ce même critère, elles sont correctes. Après 6 réponses correctes consécutives, l'examinateur dit *« Non [donc à la 7^{ème} carte] »*. Dès que l'enfant choisit un deuxième critère (règle) différent du premier (couleur, forme, nombre), celui-ci est considéré comme correct (sauf abandon prématuré de règle), et si les réponses suivantes obéissent à ce même critère, elles sont correctes. En cas d'échec, l'enfant ne peut fournir une seconde réponse (ou tout au moins seule la première réponse est prise en compte).

Dès que l'enfant a donné sa réponse, la carte est retournée. Cependant, si l'enfant en fait la demande, la carte qui lui avait été présentée pour l'essai précédent peut lui être remontrée. La procédure est semblable pour le 3^{ème} critère. L'enfant doit nécessairement trouver les 3 critères, dans n'importe quel ordre (par ex. Forme – Couleur – Nombre, ou Nombre – Couleur – Forme) avant de répéter une catégorie déjà utilisée.

Ensuite, l'examineur impose à l'enfant de répéter les 3 critères possibles dans le même ordre, mais sans le dire au sujet (par exemple, s'il a fait Forme puis Couleur puis Nombre, il doit reprendre Forme puis Couleur puis Nombre). Le test est terminé quand les 48 cartes sont épuisées.

L'examineur ne peut fournir à l'enfant aucune aide non prévue par les consignes, notamment au passage du 3^{ème} au 4^{ème} choix (certains enfant peuvent chercher vainement une 4^{ème} règle).

Après 6 erreurs consécutives commises par l'enfant, l'examineur lui rappelle la consigne. *« Tu dois donc ranger chaque carte que je te montre avec l'une des 4 cartes qui sont devant toi. Il y a 3 façons de ranger les cartes : suivant la couleur, la forme, ou le nombre. Si je te dis oui, c'est que tu as rangé la carte de la bonne manière, tu dois donc garder la même règle pour ranger la carte d'après ; si je te dis non, c'est que tu n'as pas rangé la carte de la bonne manière, tu dois donc changer de règle pour ranger les cartes ».*

L'examineur évite impérativement de donner à l'enfant toute autre forme d'aide.

Précision complémentaire :

Le « non » de l'examineur n'intervient **qu'après 6 réponses « oui »**, donc après 6 cartes consécutivement classées à partir d'un même critère (ou avant bien entendu si l'enfant abandonne le critère de classement en cours). Le « non » doit donc être produit lors de la 7^{ème} carte présentée à l'enfant, et non après la 6^{ème}.

Il arrive que l'enfant change spontanément de catégorie après 6 cartes correctement classées (soit au moment où un 7^{ème} classement identique était attendu et aurait induit un « non » de l'examineur). Il est difficile de savoir s'il s'agit du repérage de la régularité du changement par certains enfants (sauf en début de tâche bien sûr) ou d'un abandon prématuré de la règle en soi. Dans ce cas, l'examineur répondra « oui » si le changement de catégorie « tombe juste » (respect de l'ordre des catégories dans la logique de la tâche) ou « non » si ce changement donne lieu à une mauvaise réponse.

Quoi qu'il en soit, **la réponse attendue était la poursuite du critère précédent** car il est bien précisé à l'enfant qu'il ne doit changer de façon de classer uniquement si l'examineur lui répond « non ». La seule réponse attendue après 6 cartes correctement classées est un 7^{ème} classement consécutif avec ce même critère, auquel l'examineur oppose un « non » **mais qui est considéré comme correct** puisque l'enfant ne pouvait anticiper le changement. Si l'enfant ne maintient pas la catégorie en cours à la 7^{ème} carte, la réponse sera donc cotée comme un abandon prématuré de la règle (y compris si le nouveau choix amène une réponse correcte). On considère cependant dans ce cas que le critère précédent, qui a été maintenu 6 fois, est accompli (donc si l'enfant y revient après l'abandon prématuré précédent, lui répondre « non »).

CONTRAINTES DE TEMPS

Il n'y a aucune contrainte de temps dans cette épreuve.

COTATION

Plusieurs indices peuvent être relevés :

- Temps en secondes
- Nombre de persévérations (répétition d'une même erreur après un « non » de l'examineur)
- Nombre de catégories réussies
- Nombre d'abandons prématurés de règle (abandon après la répétition d'une même règle, soit au moins 2 « oui » de l'examineur)
- Nombre d'erreurs autres (non persévératives).

XXVIII. GNOSIES DIGITALES (DISTINCTION DE DOIGTS, NEPSY 1)

MATERIEL

- Les items figurent dans le cahier de passation.
- Cache en plastique format A4

PRINCIPE

L'examineur touche un ou deux doigts de l'enfant, à l'abri de son regard, entre la première et la seconde articulation (phalange centrale). L'enfant doit alors indiquer quel(s) doigt(s) a été touché(s).

DISPOSITION DU MATERIEL

L'enfant doit passer sa main dominante par le trou du cache, la paume vers le bas contre le bureau, les doigts écartés.

CONSIGNES

« Je vais toucher un ou deux de tes doigts. Puis, je vais soulever le cache et tu vas me montrer le doigt que j'ai touché. On essaie ». Toucher l'index (exemple), enlever le cache et dire : *« Montre-moi, avec ton autre main (pointer) le doigt que j'ai touché ».*

L'examineur doit toucher d'une pression et non pas « balayer » le doigt de l'enfant.

Ne pas laisser l'enfant répondre en bougeant (ou en soulevant) les doigts de la main évaluée. Si l'enfant montre le bon doigt dire : *« Oui, c'est correct ».* Si l'enfant ne répond pas correctement, dire : *« J'ai touché celui-ci [en touchant le bon doigt] ».*

Demander à nouveau à l'enfant de passer sa main par le trou du cache, puis dire :

« Je peux aussi toucher 2 doigts en même temps comme ceci [toucher l'index et le pouce, exemple 2] ».

Enlever le cache et dire : *« quels doigts j'ai touchés ? ».* Corriger si nécessaire et poursuivre avec les items d'évaluation. Si l'enfant ne répond pas correctement lors de l'entraînement, répéter une fois l'exercice, puis passer au 1^{er} item.

DEROULEMENT DES ITEMS D'ÉVALUATION

Ne pas indiquer à l'enfant par avance quand 2 doigts seront touchés. Si l'enfant montre un seul doigt quand deux ont été touchés, entourer la réponse sur le cahier de passation.

Ne donner aucun retour sur l'exactitude de la réponse de l'enfant.

CONTRAINTES DE TEMPS

Il n'y a aucune contrainte de temps dans cette épreuve.

COTATION

Pour les items où deux doigts ont été touchés, coter 2 points si l'enfant répond correctement pour les 2 doigts, coter 1 point si l'enfant répond correctement pour un seul doigt. Pour tous les autres items, coter un point par réponse correcte. Additionner les points obtenus pour la main dominante et l'autre main séparément.

Note totale maximale : 18 points (par main).

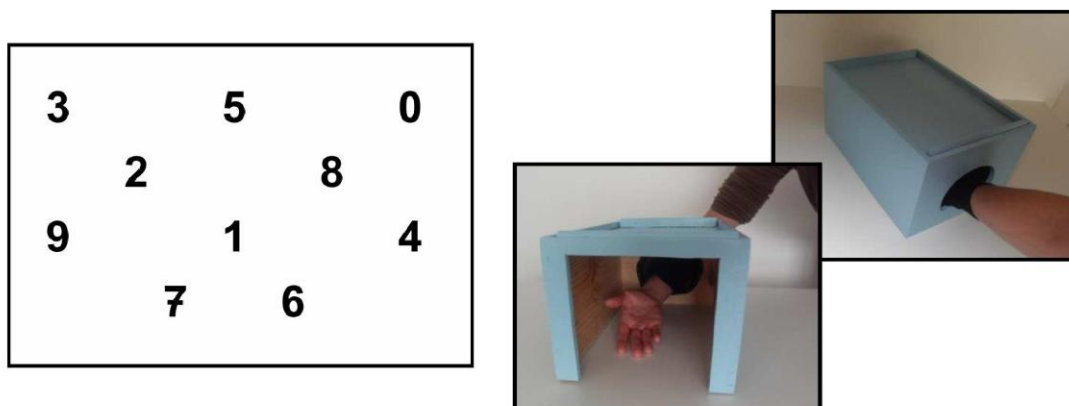
XXIX. GRAPHESTHESIE

MATERIEL

- Une planche A4 sur laquelle figure des chiffres de 0 à 9
- Un crayon à papier sans mine
- Une boîte en bois occultante.

PRINCIPE

Il est demandé au sujet d'identifier sur une image, le chiffre qui est tracé sur la paume de sa main, à l'abri de son regard.



DISPOSITION DU MATERIEL

L'examineur dispose la boîte occultante devant l'enfant sur le bureau, de manière à ce qu'il puisse insérer la main évaluée à l'intérieur. Une planche A4 sur laquelle figure des chiffres de 0 à 9, est disposé à côté de la boîte, du côté de la main non évaluée, et reste sous les yeux du sujet pendant l'épreuve.

CONSIGNES

Une fois le matériel disposé, montrer la planche avec les chiffres et dire :

« Ces chiffres sur la feuille sont tous différents, ils vont de 0 à 9. Je vais tracer sur la paume de ta main, avec ce crayon sans mine, l'un de ces chiffres, en considérant que ton poignet représente le bas d'une feuille. Je dessine donc le chiffre pour qu'il soit à l'endroit pour toi, dans le même sens que sur cette feuille. Je te demande de regarder en même temps les chiffres sur cette feuille et de me montrer, avec ton autre main, dès que tu l'auras trouvé le chiffre qui correspond à celui que j'aurai tracé sur ta main ».

Puis l'examineur trace, au milieu de la paume de la main de l'enfant, le premier chiffre (exemple).

Si l'enfant donne la bonne réponse, démarrer les items d'évaluation. Si l'enfant ne donne pas la bonne réponse, procéder à un second essai, en disant : *« On essaie à nouveau, regarde bien les chiffres sur la feuille ».*

Si l'enfant ne donne toujours pas la bonne réponse, dire : *« En fait, la réponse que j'attendais était celle-ci ».* Tout en donnant cette consigne, indiquer avec le doigt le chiffre attendu sans le nommer. Une fois cet item d'exemple réalisé, commencer les items d'évaluation. Reproduire ces consignes pour la main gauche.

DEROULEMENT DES ITEMS D'EVALUATION

On commence toujours par évaluer la main droite puis la main gauche de l'enfant. Un second essai est systématiquement administré si une erreur est commise au 1^{er} essai.

CONTRAINTES DE TEMPS

Il n'y a aucune contrainte de temps dans cette épreuve.

COTATION

2 points par item correctement identifié au premier essai, 1 point par item identifié au second essai, 0 point par item non reconnu.

Note totale maximale : 10 points (par main).

XXX. STEREOGNOSIES

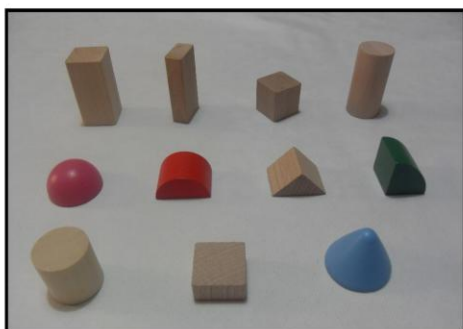
MATERIEL

- 11 formes géométriques en bois
- Une photographie A4 couleur des 11 formes de bois et un cahier de photographie (avec distracteurs) pour les objets réels.
- Un chronomètre
- Une boîte en bois occultante.



PRINCIPE

Il est demandé à l'enfant d'identifier sur une photographie, 10 formes de bois puis 10 objets du quotidien par palpation à l'abri de son regard.



DISPOSITION DU MATERIEL

L'examineur dispose la boîte occultante devant l'enfant sur le bureau, de manière à ce qu'il puisse insérer la main évaluée à l'intérieur. Une photographie A4 des formes de bois, ou le cahier de photographie des objets usuels, est disposé à côté de la boîte, du côté de la main non évaluée, et reste sous les yeux du sujet pendant l'épreuve.

CONSIGNES

Une fois le matériel disposé, montrer la photographie des formes en bois (ou le cahier de photos d'objets réels) et dire :

Formes en bois :

« Ces formes en bois sur la photo sont toutes différentes. Je vais mettre dans ta main un objet en bois qui aura exactement la même forme et la même grandeur que l'un de ceux qui sont sur cette photographie. Pendant que tu vas palper cet objet avec ta main à l'intérieur de cette boîte, je te demande de regarder en même temps les formes de cette photo. Quand tu auras trouvé à quel objet correspond celui que tu tiens dans ta main, tu me le montreras sur cette photo avec ton autre main. »

Puis l'examineur dépose, au milieu de la paume de la main, une première forme en bois (exemple).

Objets usuels :

« Maintenant, on fait le même exercice avec de vrais objets. Je te montre 4 objets différents sur une photo. Je vais mettre dans ta main l'un de ces objets, qui aura donc exactement la même forme et la même grandeur. Pendant que tu vas palper cet objet avec ta main à l'intérieur de cette boîte, je te demande de regarder en même temps les objets de cette photo. Tu vas donc me montrer avec ta main libre, parmi les 4 objets photographiés, celui qui correspond à celui que tu tiens dans l'autre main, dès que tu l'auras trouvé. »

DEROULEMENT DES ITEMS D'ÉVALUATION

Les formes en bois sont systématiquement proposées en premières puis les objets réels. On commence toujours par évaluer la main droite puis la main gauche de l'enfant.

Ne donner aucun retour sur l'exactitude de la réponse de l'enfant. Ne jamais dénommer les objets représentés. La consigne initiale peut être renouvelée si nécessaire.

Si l'enfant hésite entre deux réponses, dire :

“Il n’y a qu’une seule réponse possible. Quelle est ta réponse ?”

CONTRAINTES DE TEMPS.

Les items d'exemple et les items d'évaluation sont réalisés avec contrainte de temps. Le participant a **20 secondes** pour produire une réponse. Dès que cette durée est atteinte, dire :

“Quelle est ta réponse ?”

Solliciter vivement le participant pour qu'il donne une réponse dans les plus brefs délais. Si l'enfant ne sait pas, dire :

“Si tu ne sais pas, tu peux me montrer une des images au hasard, peut-être est-ce la bonne”.

Ne passer à l'item suivant que lorsqu'une réponse est produite.

COTATION

Plusieurs indices peuvent être relevés lors de la passation.

- * ***Nombre de bonnes réponses*** fournies dans un délai de 20 secondes. Score sur 5 dans chaque condition et pour chaque main évaluée (1 point par bonne réponse dans le temps imparti).
- * ***Temps*** mis pour produire une réponse franche.

ANNEXE 9. CAHIER DE PASSATION

***OUTIL ET VIE QUOTIDIENNE
DU HANDICAP A L'AUTONOMIE***



**BATTERIE D'ÉVALUATION
DES TROUBLES D'UTILISATION D'OBJETS CHEZ L'ENFANT**

**CAHIER DE PASSATION
TEMOIN**

Elaboré par le Laboratoire de Psychologie des Pays de la Loire (EA 4638)

Coordinateurs scientifiques : **Didier Le Gall et Arnaud Roy**

Co-auteurs : **Chrystelle Remigereau, Josselin Baumard**

LUNAM, Université d'Angers, Mars 2013

FICHE D'INCLUSION

Identification	
Nom de l'enfant	_____
Prénom	_____
Date d'inclusion*	___ / ___ / ___
Centre de recueil <i>(nom de l'institution et ville)</i>	_____
Examinateur (nom, prénom)	_____ _____
Identifiant enfant <i>(3 premières lettres du nom et du prénom)</i>	Nom : _ _ _ Prénom : _ _ _
Date de naissance	___ / ___ / ___ (jour/mois/année)
Âge au moment de l'évaluation <i>(1^{ère} séance)</i>	___ / ___ (ans/mois)
Sexe	Masculin <input type="checkbox"/> Féminin <input type="checkbox"/>

* = date au moment de l'évaluation

Critère d'inclusion	
Âge compris entre 6 et 14 ans	OUI <input type="checkbox"/> NON <input type="checkbox"/>

Critères d'exclusion		
Autres antécédents de pathologie neurologique diagnostiquée	OUI <input type="checkbox"/>	NON <input type="checkbox"/>
Antécédents de pathologie psychiatrique diagnostiquée	OUI <input type="checkbox"/>	NON <input type="checkbox"/>
Antécédents de trouble d'apprentissage (dysphasie, dyslexie, dyspraxie/TAC, TDA/H ...) diagnostiqué	OUI <input type="checkbox"/>	NON <input type="checkbox"/>
Déficiência intellectuelle diagnostiquée	OUI <input type="checkbox"/>	NON <input type="checkbox"/>
Trouble sensoriel (auditif, visuel) incompatible avec la réalisation des tests	OUI <input type="checkbox"/>	NON <input type="checkbox"/>
Maîtrise insuffisante de la langue française	OUI <input type="checkbox"/>	NON <input type="checkbox"/>
Absence de consentement des parents (ou du tuteur légal)	OUI <input type="checkbox"/>	NON <input type="checkbox"/>

Administer ensuite les épreuves en suivant l'ordre imposé par le cahier de passation.

SEANCE 1

- ~ **Efficience intellectuelle** ~
 - ~ **Compréhension orale** ~
 - ~ **Traitement visuo-spatial** ~
 - ~ **Praxies visuo-constructives** ~
 - ~ **Latéralité** ~
 - ~ **Utilisation d'objet avec le support** ~
 - ~ **Anticipation motrice** ~
-

Inventaire de Latéralité d'Edinburgh (FEE)

Pour...	Main utilisée	
	Gauche	Droite
1) Ecrire	+ / ++	+ / ++
2) Dessiner	+ / ++	+ / ++
3) Lancer un objet (une balle)	+ / ++	+ / ++
4) Utiliser une paire de ciseaux	+ / ++	+ / ++
5) Te servir d'une brosse à dents	+ / ++	+ / ++
6) Couper avec un couteau (sans fourchette : pas pour manger, mais par ex. pour couper une ficelle)	+ / ++	+ / ++
7) Manger avec une cuillère (ex. : soupe)	+ / ++	+ / ++
8) Tenir le haut d'un balai (main du haut)	+ / ++	+ / ++
9) Tenir une allumette pour l'allumer (craquer, frotter)	+ / ++	+ / ++
10) Ouvrir une boîte (main qui enlève, dévisse le couvercle)	+ / ++	+ / ++
<u>Commentaires</u>		

Entourer 2 croix si une main est exclusivement utilisée, 1 croix si elle est préférentiellement utilisée et 1 croix dans chaque colonne si les deux mains sont utilisées indifféremment.

SD		
SG		
CLM* =	$\frac{ [SD] - [SG]}{ [SD] + [SG]}$	X 100 ,

CLM : Coefficient de Latéralité Manuelle
SD=Somme des croix pour la main Droite
SG=Somme des croix pour la main Gauche

Programme de la Figure de Rey (FEE)

Copie spontanée [C]			
Items	Score examinateur (0 – 0,5 – 1 ou 2)	Score inter-juge (ne pas remplir)	
		1	2
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
Total			

Copie avec Programme [P]			
Items	Score examinateur (0 – 0,5 – 1 ou 2)	Score inter-juge (ne pas remplir)	
		1	2
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
Total			

Type :	<input type="checkbox"/>
Temps (secondes) :	<input type="text"/>

Indice de planification (IP)
IP = <input type="text"/> [P] - <input type="text"/> [C] = <input type="text"/>

I. UTILISATION D'OBJETS EN DISPOSITIF : CHOIX MULTIPLE

1 minute maximum.

Cible	Agent attendu	Score efficience (1 ou 0)	Si efficience : temps (60 secondes max)	Nombre d'objets non attendus saisis
Exemple : Gobelet	Pichet + eau			
01. Lampe	Ampoule			
02. Bouteille de soda	Décapsuleur			
03. Serrure	Clef			
04. Vis	Tournevis			
05. Ardoise	Bâton de craie			
06. Prise femelle terre	Prise mâle			
07. Classeur A5	Pochette plastique			
08. Clou	Marteau			
09. Taille-crayon	Crayon			
10. Bobine de fil	Ciseaux			
TOTAL				

II. UTILISATION D'OBJETS EN DISPOSITIF : CHOIX RESTREINT

30 secondes maximum.

Cible	Agent proposé	Score efficience (1 ou 0)	Si efficience : temps (30 secondes max)
Exemple : Gobelet	Pichet + eau		
01. Bouteille de soda	Décapsuleur		
02. Ardoise	Bâton de craie		
03. Classeur A5	Pochette plastique		
04. Clou	Marteau		
05. Taille-crayon	Crayon		
06. Serrure	Clef		
07. Bobine de fil	Ciseaux		
08. Vis	Tournevis		
09. Lampe	Ampoule		
10. Prise femelle terre	Prise mâle		
TOTAL			

III. UTILISATION D'OBJETS REFLEXIFS EN DISPOSITIF : CHOIX RESTREINT

30 secondes maximum.

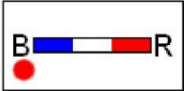
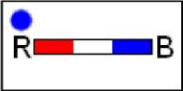
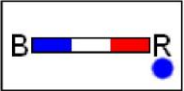
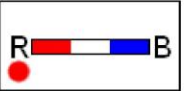
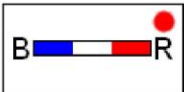
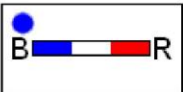
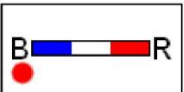
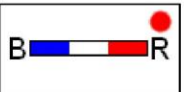

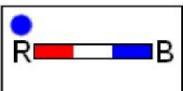
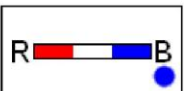
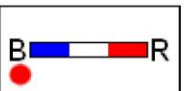

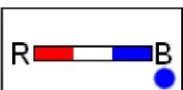
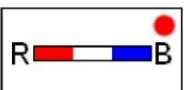

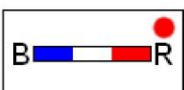
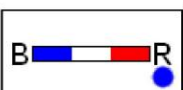
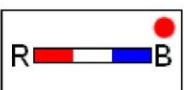
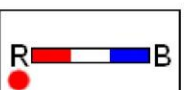
Cible	Agent proposé	Score efficience (1 ou 0)	Si efficience : temps (30 secondes max)
Exemple : Cou	Parfum		
01. Dent	Brosse à dent		
02. Crâne, visière devant	Casquette		
03. Bouche (lèvres)	Tasse		
04. Oreilles + crâne	Casque audio		
05. Crâne + cheveux	Peigne		
06. Oreille + bouche	Téléphone		
07. Cou	Echarpe		
08. Nez + oreilles	Lunettes		
09. Cou	Collier		
10. Oreille	Coton-tige		
TOTAL			

IV. TRANSPORT DE CYLINDRES

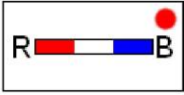
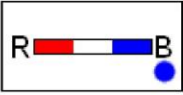
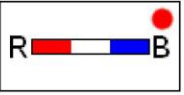
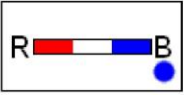
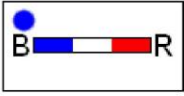
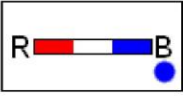
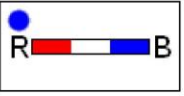
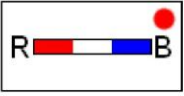
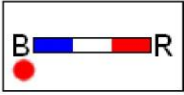
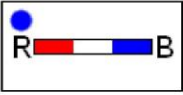
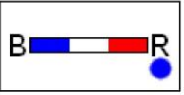
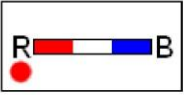
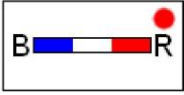
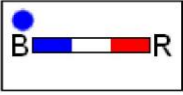
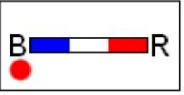
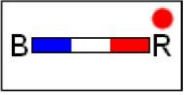
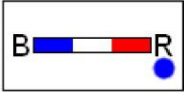
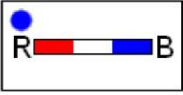
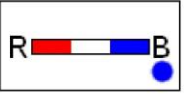
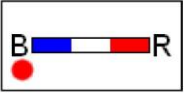
Commencer avec la main dominante du participant. Si un item est non valide, le proposer à nouveau à la fin de la tâche.

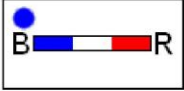
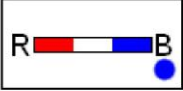
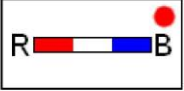
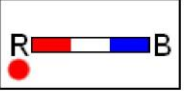
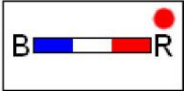
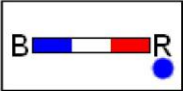
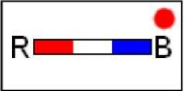
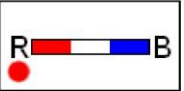
Main dominante :

Ex. I UNDER Valide OVER Invalide	Ex. II UNDER Valide OVER Invalide	Ex. III UNDER Valide OVER Invalide	Ex. IV UNDER Valide OVER Invalide
1. UNDER Valide OVER Invalide	2. UNDER Valide OVER Invalide	3. UNDER Valide OVER Invalide	4. UNDER Valide OVER Invalide

<p>5.</p>  <p>UNDER Valide OVER Invalide</p>	<p>6.</p>  <p>UNDER Valide OVER Invalide</p>	<p>7.</p>  <p>UNDER Valide OVER Invalide</p>	<p>8.</p>  <p>UNDER Valide OVER Invalide</p>
<p>9.</p>  <p>UNDER Valide OVER Invalide</p>	<p>10.</p>  <p>UNDER Valide OVER Invalide</p>	<p>11.</p>  <p>UNDER Valide OVER Invalide</p>	<p>12.</p>  <p>UNDER Valide OVER Invalide</p>
<p>13.</p>  <p>UNDER Valide OVER Invalide</p>	<p>14.</p>  <p>UNDER Valide OVER Invalide</p>	<p>15.</p>  <p>UNDER Valide OVER Invalide</p>	<p>16.</p>  <p>UNDER Valide OVER Invalide</p>
<p>17.</p>  <p>UNDER Valide OVER Invalide</p>	<p>18.</p>  <p>UNDER Valide OVER Invalide</p>	<p>19.</p>  <p>UNDER Valide OVER Invalide</p>	<p>20.</p>  <p>UNDER Valide OVER Invalide</p>
<p>21.</p>  <p>UNDER Valide OVER Invalide</p>	<p>22.</p>  <p>UNDER Valide OVER Invalide</p>	<p>23.</p>  <p>UNDER Valide OVER Invalide</p>	<p>24.</p>  <p>UNDER Valide OVER Invalide</p>

Main non dominante :

<p>Ex. I</p>  <p>UNDER Valide OVER Invalide</p>	<p>Ex. II</p>  <p>UNDER Valide OVER Invalide</p>	<p>Ex. III</p>  <p>UNDER Valide OVER Invalide</p>	<p>Ex. IV</p>  <p>UNDER Valide OVER Invalide</p>
<p>1.</p>  <p>UNDER Valide OVER Invalide</p>	<p>2.</p>  <p>UNDER Valide OVER Invalide</p>	<p>3.</p>  <p>UNDER Valide OVER Invalide</p>	<p>4.</p>  <p>UNDER Valide OVER Invalide</p>
<p>5.</p>  <p>UNDER Valide OVER Invalide</p>	<p>6.</p>  <p>UNDER Valide OVER Invalide</p>	<p>7.</p>  <p>UNDER Valide OVER Invalide</p>	<p>8.</p>  <p>UNDER Valide OVER Invalide</p>
<p>9.</p>  <p>UNDER Valide OVER Invalide</p>	<p>10.</p>  <p>UNDER Valide OVER Invalide</p>	<p>11.</p>  <p>UNDER Valide OVER Invalide</p>	<p>12.</p>  <p>UNDER Valide OVER Invalide</p>
<p>13.</p>  <p>UNDER Valide OVER Invalide</p>	<p>14.</p>  <p>UNDER Valide OVER Invalide</p>	<p>15.</p>  <p>UNDER Valide OVER Invalide</p>	<p>16.</p>  <p>UNDER Valide OVER Invalide</p>

<p>17.</p>  <p>UNDER Valide OVER Invalide</p>	<p>18.</p>  <p>UNDER Valide OVER Invalide</p>	<p>19.</p>  <p>UNDER Valide OVER Invalide</p>	<p>20.</p>  <p>UNDER Valide OVER Invalide</p>
<p>21.</p>  <p>UNDER Valide OVER Invalide</p>	<p>22.</p>  <p>UNDER Valide OVER Invalide</p>	<p>23.</p>  <p>UNDER Valide OVER Invalide</p>	<p>24.</p>  <p>UNDER Valide OVER Invalide</p>

PAUSE 10 MINUTES OU SEANCE 2

- ~ **Activités de vie quotidienne** ~
 - ~ **Raisonnement technique** ~
 - ~ **Imitation de postures** ~
 - ~ **Appariements d'images** ~
 - ~ **Organisation dynamique gestuelle** ~
 - ~ **Reconnaissance de postures** ~
 - ~ **Dextérité digitale** ~
-

V. ACTIVITES DE VIE QUOTIDIENNE : CHOIX MULTIPLE

Découpage de la performance

	Utiliser																	
	Saisir	Déplacer	Modifier	Baladeur CD	Bocal (chocolat)	Boîtier CD	Bol	Bouteille d'eau	Bouteille de lait	Bouton (baladeur CD)	Cuillère	Ecouteurs	Feuille	Palette peinture	Piles	Pinceau	Verre	
Baladeur CD				X														
Bocal (chocolat)					X													
Boîtier CD						X												
Bol							X											
Bouteille d'eau								X										
Bouteille de lait									X									
Bouton (baladeur CD)										X								
Cuillère											X							
Ecouteurs												X						
Feuille													X					
Palette peinture														X				
Piles															X			
Pinceau																X		
Verre																	X	

Regroupements

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Ecouter de la musique																				
Peindre																				
Faire un chocolat																				
	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
Ecouter de la musique																				
Peindre																				
Faire un chocolat																				
	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
Ecouter de la musique																				
Peindre																				
Faire un chocolat																				
	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
Ecouter de la musique																				
Peindre																				
Faire un chocolat																				
	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
Ecouter de la musique																				
Peindre																				
Faire un chocolat																				
	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120
Ecouter de la musique																				
Peindre																				
Faire un chocolat																				
	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140
Ecouter de la musique																				
Peindre																				
Faire un chocolat																				
	141	142	143	144	145	146	147	148	149	150	151	152	153	154	155	156	157	158	159	160
Ecouter de la musique																				
Peindre																				
Faire un chocolat																				

	Nombre de regroupements
Ecouter de la musique	
Peindre	
Préparer un chocolat au lait	
Total	

Temps de latence =**Durée totale de l'épreuve (maximum 4'30'') =****Durée totale de manipulation =**

Score

Mettre un numéro (de 1 à 12) en face de chacun des critères atteints par le participant puis, au sein de chaque activité, calculer le pourcentage du score maximum que cela représente.

4 minutes 30 sec. maximum.

PREPARER UN CHOCOLAT AU LAIT	Cocher quand l'action est réalisée	PEINDRE	Cocher quand l'action est réalisée
Chocolat en poudre versé dans le bol		Eau dans verre	
Chocolat versé avec la cuillère		Pinceau trempé dans eau	
Lait versé dans le bol		Pinceau mouillé puis trempé dans peinture	
Lait mélangé avec le chocolat		Etalement de la peinture sur feuille avec pinceau	
Nb. Actions réalisées	/ 4	Nb. Actions réalisées	/ 4
Pourcentage d'actions attendues réalisées	%	Pourcentage d'actions attendues réalisées	%
ECOUTER DE LA MUSIQUE	Cocher quand l'action est réalisée	<p>SCORE TOTAL : / 12</p> <p>POURCENTAGE DU SCORE TOTAL :</p>	
Mise en place des piles			
Ecouteurs branchés			
Baladeur fermé une fois le CD en place			
Bouton enclenché après mise en place des piles + CD			
Nb. Actions réalisées	/ 4		
Pourcentage d'actions attendues réalisées	%		

VI. ACTIVITES DE VIE QUOTIDIENNE : CHOIX RESTREINT

Découpage de la performance

ECOUTER DE LA MUSIQUE

	Saisir	Déplacer	Modifier	Utiliser						
				Baladeur CD	Boîtier CD	CD	Bouton	Ecouteurs	Piles	Compartiment piles
Baladeur CD				X						
Boîtier CD					X					
CD						X				
Bouton							X			
Ecouteurs								X		
Piles									X	
Compartiment piles										X

PEINDRE

	Saisir	Déplacer	Modifier	Utiliser				
				Bouteille d'eau	Feuille	Palette	Pinceau	Verre
Bouteille d'eau				X				
Feuille					X			
Palette						X		
Pinceau							X	
Verre								X

PREPARER UN CHOCOLAT AU LAIT

	Saisir	Déplacer	Modifier	Utiliser			
				Bol	Bouteille de lait	Cuillère	Pot chocolat
Bol				X			
Bouteille de lait					X		
Cuillère						X	
Pot chocolat							X

Score

Mettre un numéro (de 1 à 4) en face de chacun des critères atteints par le participant puis, calculer au sein de chaque activité le pourcentage du score maximum que cela représente.

1 minute 30 sec. maximum.

1) ECOUTER DE LA MUSIQUE		Cocher quand l'action est réalisée	2) PEINDRE		Cocher quand l'action est réalisée
Mise en place des piles			Eau dans verre		
Ecouteurs branchés			Pinceau trempé dans l'eau		
Baladeur fermé une fois le CD en place			Pinceau mouillé puis trempé dans peinture		
Bouton enclenché après mise en place des piles + CD			Etalement de la peinture sur feuille avec pinceau		
Nb. Actions réalisées		/ 4	Nb. Actions réalisées		/ 4
Pourcentage d'actions attendues réalisées		%	Pourcentage d'actions attendues réalisées		%
3) PREPARER UN CHOCOLAT AU LAIT		Cocher quand l'action est réalisée	SCORE TOTAL : / 12 POURCENTAGE MOYEN :		
Chocolat en poudre versé dans le bol					
Chocolat versé avec la cuillère					
Lait versé dans le bol					
Lait mélangé avec le chocolat					
Nb. Actions réalisées		/ 4			
Pourcentage d'actions attendues réalisées		%			

Temps (maximum 90 secondes par activité)

	1) Écouter de la musique	2) Peindre	3) Préparer un chocolat au lait
Latence			
Durée totale de l'épreuve			
Durée totale de manipulation			

VII. RESOLUTION DE PROBLEMES MECANIQUES : CHOIX MULTIPLE

Score *Score total* = /9 soit % Dans la première colonne, entourer le chiffre correspondant au score.

3 minutes maximum.

	3 points	2 points	1 point	0 point
Boîte à cheminée 3 2 1 0	La pièce de bois est sortie de la boîte dans le temps imparti et sans rupture de règles.	Le cube est tombé mais pas sorti de la boîte dans le temps imparti.	Le participant touche le cube avec un agent mais sans le faire tomber avant la fin du temps imparti.	Le participant touche la boîte mais jamais le cube.
Boîte à puits 3 2 1 0		Le pavé de bois est totalement décollé du socle, sans rupture de règles, mais pas sorti de la boîte dans le temps imparti.	Le participant touche le pavé de bois, le crochet ou la vis avec un agent, mais le pavé n'est jamais totalement désolidarisé du socle.	
Boîte à bascule 3 2 1 0		La bille se cale près de l'embouchure grâce à l'action d'un agent, sans rupture de règles, mais ne sort pas dans le temps imparti.	Le participant touche la partie extérieure du fond de la bascule avec un agent qu'il introduit dans l'ouverture ronde, mais il n'actionne pas la bascule.*	

* Il s'agit ici d'un cas particulier : le fait de toucher le fond de la bascule donne un point car aucun agent ne permet d'atteindre la bille directement lorsqu'elle se trouve à sa position de départ.

Temps (maximum 3 minutes par problème) :

	Problème 1	Problème 2	Problème 3
Latence			
Durée totale de l'épreuve			
Durée totale de manipulation			

VIII. RESOLUTION DE PROBLEMES MECANQUES : CHOIX RESTREINT

Score *Score total* = /9 soit % Dans la première colonne, entourer le chiffre correspondant au score.

3 minutes maximum.

	3 points	2 points	1 point	0 point
Boîte à cheminée Bois 25cm x Ø 7mm 3 2 1 0	La pièce de bois est sortie de la boîte dans le temps imparti et sans rupture de règles.	Le cube est tombé mais pas sorti de la boîte dans le temps imparti.	Le participant touche le cube avec un agent mais sans le faire tomber avant la fin du temps imparti.	Le participant touche la boîte mais jamais le cube.
Boîte à puits Cuivre 25cm x Ø 2mm 3 2 1 0		Le pavé de bois est totalement décollé du socle, sans rupture de règles, mais pas sorti de la boîte dans le temps imparti.	Le participant touche le pavé de bois, le crochet ou la vis avec un agent, mais le pavé n'est jamais totalement désolidarisé du socle.	
Boîte à bascule Alu. 25 cm x Ø 7mm 3 2 1 0		La bille se cale près de l'embouchure grâce à l'action d'un agent, sans rupture de règles, mais ne sort pas dans le temps imparti.	Le participant touche la partie extérieure du fond de la bascule avec un agent qu'il introduit dans l'ouverture ronde, mais il n'actionne pas la bascule.*	

* Il s'agit ici d'un cas particulier : le fait de toucher le fond de la bascule donne un point car aucun agent ne permet d'atteindre la bille directement lorsqu'elle se trouve à sa position de départ.





















Temps (maximum 3 minutes par problème) :

	Problème 1	Problème 2	Problème 3
Latence			
Durée totale de l'épreuve			
Durée totale de manipulation			

IX. IMITATION DE POSTURES NON SIGNIFIANTES

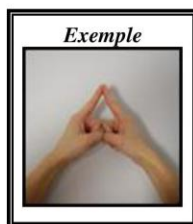
Postures digitales

maintenir la posture 10 secondes






Dd.01  2-1-0	Dd.02  2-1-0	Dg.03  2-1-0	Dd.04  2-1-0	Dg.05  2-1-0
Dg.06  2-1-0	Dd.07  2-1-0	Dg.08  2-1-0	Dd.09  2-1-0	Dg.10  2-1-0
Dg.09  2-1-0	Dg.02  2-1-0	Dd.06  2-1-0	Dg.07  2-1-0	Dd.05  2-1-0
Dd.10  2-1-0	Dg.04  2-1-0	Dd.08  2-1-0	Dg.01  2-1-0	Dd.03  2-1-0

Nb. Note 2 =
Nb. Note 1 =
Nb. Note 0 =






Score D = /20
Score G = /20



maintenir la posture 30 secondes





















Db.01  2-1-0	Db.02  2-1-0	Db.03  2-1-0	Db.04  2-1-0	Db.05  2-1-0
--	--	--	--	---

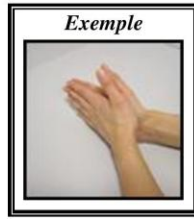
Nb. Note 2 =
Nb. Note 1 =
Nb. Note 0 =

Db.06  2-1-0	Db.07  2-1-0	Db.08  2-1-0	Db.09  2-1-0	Db.10  2-1-0	Score Db = /20
--	--	--	--	---	----------------

Postures manuelles

maintenir la posture 10 secondes

Md.01  2-1-0	Md.02  2-1-0	Mg.03  2-1-0	Md.04  2-1-0	Mg.05  2-1-0	Nb. Note 2 = Nb. Note 1 = Nb. Note 0 = Score MD = /20 Score MG = /20
Mg.06  2-1-0	Md.07  2-1-0	Mg.08  2-1-0	Md.09  2-1-0	Mg.10  2-1-0	
Mg.09  2-1-0	Mg.02  2-1-0	Md.06  2-1-0	Mg.07  2-1-0	Md.05  2-1-0	
Md.10  2-1-0	Mg.04  2-1-0	Md.08  2-1-0	Mg.01  2-1-0	Md.03  2-1-0	



maintenir la posture 30 secondes

Mb.01 2-1-0	Mb.02 2-1-0	Mb.03 2-1-0	Mb.04 2-1-0	Mb.05 2-1-0
Mb.06 2-1-0	Mb.07 2-1-0	Mb.08 2-1-0	Mb.09 2-1-0	Mb.10 2-1-0

Nb. Note 2 =
Nb. Note 1 =
Nb. Note 0 =

Score Mb = /20

Complément : bi-manuelles non croisées.

MbNC.01 2-1-0	MbNC.02 2-1-0	MbNC.03 2-1-0	MbNC.04 2-1-0	MbNC.05 2-1-0
-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------

Nb. Note 2 =
Nb. Note 1 =
Nb. Note 0 =

Score MbNC =

X. APPARIEMENTS D'IMAGES

A. Appariement catégoriel

20 secondes maximum puis choix forcé

Items non réflexifs	Réponse	Temps	Items réflexifs	Réponse	Temps
<i>Ex. Pichet</i>	<i>C P S N</i>		<i>Ex. Parfum</i>	<i>P C N S</i>	
1 Crayon	N S P C		1 Coton tige	N S P C	
2 Prise	S N C P		2 Collier	S N P C	
3 Craie	P S C N		3 Casque audio	C P N S	
4 Ampoule	N P S C		4 Casquette	N S P C	
5 Décapsuleur	N C P S		5 Téléphone	S C N P	
6 Tournevis	S C N P		6 Lunettes	C P S N	
7 Marteau	C N S P		7 Peigne	P N C S	
8 Ciseaux	P N C S		8 Tasse	S P C N	
9 Pochette plastique	N S P C		9 Brosse à dent	N C P S	
10 Clef	P C S N		10 Echarpe	C S N P	
TOTAL	/ 10		TOTAL	/ 10	

C = Cible ; N = distracteur Neutre ; S = distracteur Sémantique ; P = distracteur Perceptif.

B. Appariement contextuel

20 secondes maximum puis choix forcé

Items non réflexifs	Réponse	Temps	Items réflexifs	Réponse	Temps
<i>Ex. Pichet</i>	<i>C D D D</i>		<i>Ex. Parfum</i>	<i>D C D D</i>	
1 Clef	C D D D		1 Casque audio	D C D D	
2 Ciseaux	D D D C		2 Coton-tige	D D C D	
3 Crayon	D D D C		3 Téléphone	C D D D	
4 Tournevis	D C D D		4 Brosse à dent	C D D D	
5 Prise	D D C D		5 Casquette	D D D C	
6 Ampoule	D C D D		6 Lunettes	D D C D	
7 Décapsuleur	D D C D		7 Collier	D D C D	
8 Pochette plastique	D D D C		8 Echarpe	D C D D	
9 Craie	C D D D		9 Tasse	C D D D	
10 Marteau	D D D C		10 Peigne	D D D C	
TOTAL	/ 10		TOTAL	/ 10	

XIII. RECONNAISSANCE DE POSTURES MANUELLES D'UTILISATION

Entourer la réponse du participant.

20 secondes maximum puis choix forcé

Items non réflexifs	Réponse	Temps	Items réflexifs	Réponse	Temps
<i>Ex. Pichet</i>	PA C I Ev		<i>Ex. Parfum</i>	PA I Ev C	
1 Pochette	I Ev C PA		1 Echarpe	I Ev C PA	
2 Clef	I Ev PA C		2 Téléphone	C Ev PA I	
3 Décapsuleur	C PA I Ev		3 Peigne	C I Ev PA	
4 Prise	PA C Ev I		4 Collier	Ev C I PA	
5 Marteau	C Ev I PA		5 Tasse	I Ev C PA	
6 Craie	C PA Ev I		6 Brosse à dent	Ev C PA I	
7 Crayon	I PA C Ev		7 Coton-tige	PA Ev I C	
8 Ampoule	C PA Ev I		8 Casquette	PA C Ev I	
9 Ciseaux	I PA C Ev		9 Lunettes	C Ev I PA	
10 Tournevis	I PA Ev C		10 Casque audio	Ev I C PA	
TOTAL	/ 10		TOTAL	/ 10	

C = correct ; Ev = envers ; PA = partie active ; I = impossible, voire dangereux.

XIV. PURDUE PEGBOARD

Condition uni-manuelle

30 secondes maximum.

- Nombre de tiges placées avec la Main Dominante (droite / gauche) =
- Nombre de tiges placées avec la Main Non Dominante (droite / gauche) =

Condition bi-manuelle

30 secondes maximum / 1 minute maximum pour Assemblage

- Nombre de paires de tiges placées simultanément avec les 2 mains =
- Nombre de pièces correctement assemblées =
 - Erreurs d'assemblage ? Si oui, nombre =

SEANCE 3

- ~ Fonctions exécutives ~**
 - ~ Fermeture visuelle ~**
 - ~ Extinction sensorielle ~**
 - ~ Gnosies digitales ~**
 - ~ Graphesthésie ~**
 - ~ Stéréognosies ~**
 - ~ Appariements points de vue ~**
-

XVI. STROOP (FEE)**Dénomination [A]**

<i>vert</i>	<i>rouge</i>	<i>bleu</i>	<i>vert</i>	<i>rouge</i>	<i>bleu</i>	<i>rouge</i>	<i>vert</i>	<i>bleu</i>	<i>rouge</i>
rouge	bleu	vert	rouge	bleu	rouge	vert	rouge	vert	bleu
.....
rouge	bleu	vert	bleu	rouge	vert	rouge	bleu	vert	rouge
.....
rouge	vert	bleu	rouge	vert	rouge	bleu	vert	rouge	vert
.....
vert	rouge	bleu	vert	bleu	vert	rouge	bleu	bleu	rouge
.....
rouge	vert	bleu	vert	rouge	vert	bleu	rouge	bleu	vert
.....
bleu	vert	bleu	rouge	bleu	rouge	vert	bleu	rouge	vert
.....
vert	rouge	bleu	rouge	vert	bleu	rouge	rouge	vert	bleu
.....
bleu	rouge	bleu	vert	rouge	bleu	vert	rouge	bleu	rouge
.....
vert	bleu	vert	bleu	rouge	vert	rouge	bleu	vert	rouge
.....
bleu	rouge	bleu	vert	rouge	bleu	vert	rouge	bleu	rouge
.....

Partie	Temps (secondes)	Erreurs non corrigées	Erreurs corrigées	Hésitations
A	□ □ □ □	□ □ □	□ □ □	□ □ □
<u>Commentaires</u>				

Lecture [B]

<i>vert</i>	<i>bleu</i>	<i>rouge</i>	<i>rouge</i>	<i>vert</i>	<i>bleu</i>	<i>vert</i>	<i>rouge</i>	<i>vert</i>	<i>bleu</i>
rouge	bleu	rouge	vert	bleu	rouge	vert	bleu	rouge	bleu
.....
rouge	vert	bleu	rouge	vert	rouge	bleu	vert	bleu	vert
.....
rouge	bleu	rouge	vert	bleu	rouge	vert	bleu	rouge	bleu
.....
bleu	vert	rouge	rouge	bleu	vert	rouge	bleu	rouge	vert
.....
vert	rouge	bleu	vert	rouge	bleu	rouge	bleu	vert	bleu
.....
vert	bleu	rouge	bleu	vert	rouge	vert	bleu	vert	rouge
.....
rouge	bleu	bleu	rouge	vert	bleu	vert	bleu	rouge	vert
.....
vert	rouge	vert	bleu	rouge	vert	rouge	bleu	vert	rouge
.....
rouge	vert	bleu	rouge	vert	rouge	bleu	vert	bleu	rouge
.....
bleu	vert	rouge	vert	rouge	bleu	rouge	vert	bleu	rouge
.....

Partie	Temps (secondes)	Erreurs non corrigées	Erreurs corrigées	Hésitations
B	□□□□	□□	□□	□□
<u>Commentaires</u>				

Interférence [C]

<i>vert</i>	<i>bleu</i>	<i>rouge</i>	<i>bleu</i>	<i>vert</i>	<i>rouge</i>	<i>vert</i>	<i>bleu</i>	<i>bleu</i>	<i>Rouge</i>
bleu (r)	vert (b)	bleu (v)	bleu (r)	rouge (b)	vert (r)	rouge (v)	bleu (v)	vert (b)	rouge (b)
.....
vert (r)	rouge (b)	bleu (v)	vert (b)	bleu (r)	rouge (v)	vert (r)	rouge (b)	bleu (v)	vert (r)
.....
bleu (r)	rouge (v)	vert (b)	bleu (r)	rouge (v)	vert (r)	rouge (b)	bleu (v)	vert (r)	rouge (v)
.....
bleu (v)	vert (r)	rouge (b)	bleu (v)	rouge (b)	bleu (v)	vert (r)	rouge (b)	vert (b)	bleu (r)
.....
bleu (r)	rouge (v)	vert (b)	bleu (v)	vert (r)	rouge (v)	vert (b)	bleu (r)	vert (b)	bleu (v)
.....
rouge (b)	bleu (v)	vert (b)	bleu (r)	rouge (b)	vert (r)	rouge (v)	vert (b)	bleu (r)	rouge (v)
.....
rouge (v)	bleu (r)	rouge (b)	vert (r)	rouge (v)	vert (b)	bleu (r)	vert (r)	rouge (v)	vert (b)
.....
rouge (b)	bleu (r)	rouge (b)	bleu (v)	vert (r)	rouge (b)	bleu (v)	vert (r)	rouge (b)	bleu (r)
.....
bleu (v)	vert (b)	bleu (v)	rouge (b)	bleu (r)	rouge (v)	bleu (r)	vert (b)	rouge (v)	vert (r)
.....
rouge (b)	bleu (r)	vert (b)	rouge (v)	bleu (r)	vert (b)	bleu (v)	vert (r)	rouge (b)	vert (r)
.....

Partie	Temps (secondes)	Erreurs non corrigées	Erreurs corrigées	Hésitations
C	□□□□	□□	□□	□□
Commentaires				

Score d'interférence	
Temps [C-A]	□□
Erreurs corrigées [C-A]	□□
Erreurs non corrigées [C-A]	□□

XVII. NEW CARD SORTING TEST (FEE)

Item	Carte	C	F	N	Autre
1	2 RR				
2	4 EJ				
3	3 TV				
4	1 CB				
5	3 ER				
6	2 TB				
7	1 RJ				
8	4 CV				
9	2 TJ				
10	1 EB				
11	3 RV				
12	4 CR				
13	3 TB				
14	2 RR				
15	4 ER				
16	1 CV				
17	3 EB				
18	1 RV				
19	2 CR				
20	4 TJ				
21	3 RR				
22	2 CB				
23	4 TV				
24	1 EJ				
25	2 RR				
26	4 EJ				
27	3 TV				
28	1 CB				
29	3 ER				
30	2 TB				
31	1 RJ				
32	4 CV				
33	2 TJ				
34	1 EB				
35	3 RV				
36	4 CR				
37	3 TB				
38	2 RR				
39	4 ER				
40	1 CV				
41	3 EB				
42	1 RV				
43	2 CR				
44	4 TJ				
45	3 RR				
46	2 CB				
47	4 TV				
48	1 EJ				

Temps (secondes)	Catégories (nombre)	Persévérations	Abandons prématurés règle	Erreurs autres
Commentaires				

XX. GNOSIES DIGITALES (NEPSY 1)

Doigts à toucher	Main dominante		
	Item	Note	
Exemple Index Index et pouce			
pouce	1.	0	1
majeur	2.	0	1
auriculaire	3.	0	1
pouce et majeur	4.	0	1 2
index	5.	0	1
annulaire	6.	0	1
auriculaire et index	7.	0	1 2
pouce	8.	0	1
majeur	9.	0	1
annulaire et pouce	10.	0	1 2
auriculaire	11.	0	1
index	12.	0	1
annulaire	13.	0	1
annulaire et index	14.	0	1 2

Main dominante
Note totale
(Maximum = 18)

Main non dominante		
Item	Note	
15.	0	1
16.	0	1
17.	0	1
18.	0	1 2
19.	0	1
20.	0	1
21.	0	1 2
22.	0	1
23.	0	1
24.	0	1 2
25.	0	1
26.	0	1
27.	0	1
28.	0	1 2

Main non dominante
Note totale
(Maximum = 18)

XXI. GRAPHESTHESIE

Cotation : 2 points par item correctement apparié au 1^{er} essai, 1 point au 2nd ou 0 point si absence de reconnaissance ou erreur aux 2 essais.

ITEM MAIN DROITE	ESSAI 1	ESSAI 2
Ex. 0		
a. 8	/ 2	/ 1
b. 6	/ 2	/ 1
c. 1	/ 2	/ 1
d. 7	/ 2	/ 1
e. 2	/ 2	/ 1
Total	/ 10	




ITEM MAIN GAUCHE	ESSAI 1	ESSAI 2
Ex. 0		
a. 3	/ 2	/ 1
b. 9	/ 2	/ 1
c. 2	/ 2	/ 1
d. 4	/ 2	/ 1
e. 5	/ 2	/ 1
Total	/ 10	

XXII. STEREOGNOSIES




Cotation : 1 point par item correctement apparié.

20 secondes maximum.

Main Droite – Figures géométriques 3D

Objets cibles	Réponse	Temps
Ex. Cube 		
1. Cube allongé		
2. Cône 		
3. 1/2 sphère 		
4. 1/2 camembert		
5. Petit cylindre		
TOTAL	/ 5	

Main Gauche – Figures géométriques 3D

Objets cibles	Réponse	Temps
Ex. Cube 		
6. Cube aplati		
7. Grand cylindre		
8. 1/4 camembert		
9. Pyramide 		
10. Kapla 		
TOTAL	/ 5	

Main Droite – Objets usuels

Item	Réponse				Temps
<i>Exemple</i>	<i>tasse</i>	<i>verre</i>	<i>gobelet plastique grand</i>	<i>gobelet plastique standard</i>	
1.	<u>cuillère métal</u>	cuillère en plastique	règle en métal	cuillère métal manche plus épais	
2.	pince à linge bois	ciseaux	pince à linge plastique large	<u>pince à linge plastique fine</u>	
3.	pièce 20 cts	rondelle métallique	<u>pièce 50 cts</u>	pièce 2€	
4.	<u>pile LR6</u>	grosse pile ronde	pile LR3	taille-crayon	
5.	bague pierre précieuse	anneau de porte clef	<u>bague anneau simple</u>	bague double anneau	
TOTAL				/ 5	

Main gauche – Objets usuels

Item	Réponse				Temps
<i>Exemple</i>	<i>tasse</i>	<i>verre</i>	<i>gobelet plastique grand</i>	<i>gobelet plastique standard</i>	
1.	brosse ovale à picots	brosse rectangulaire à poils	fourchette	<u>brosse rectangulaire à picots</u>	
2.	grande gomme biseauté	petit surligneur	gomme usée	<u>petite gomme rectangulaire</u>	
3.	bouton tissu noir	<u>bouton plat bois</u>	capsule	bouton plat rebord	
4.	pince à papier	épingle à nourrice	<u>trombone simple</u>	trombone en croix	
5.	<u>grand dé 6 faces</u>	taille crayon	dé 12 faces	petit dé 6 faces	
TOTAL				/ 5	

ANNEXE 10. NOTICE D'INFORMATION – PATIENTS



ETUDE DES PRAXIES CHEZ L'ENFANT

NOTICE D'INFORMATION A L'INTENTION DES PARENTS



Madame, Monsieur,

Nous vous proposons de faire participer votre enfant à une étude qui a pour but de mieux comprendre les difficultés gestuelles et d'apprentissage qui peuvent survenir dans différents contextes médicaux tels que la dyspraxie développementale, la prématurité, la neurofibromatose de type 1 et les lésions cérébrales acquises.

Cette étude est initiée par le Laboratoire de Psychologie des Pays de la Loire de l'Université d'Angers, en collaboration avec le Centre Référent des Troubles d'Apprentissage (CRTA) du Centre Hospitalier Universitaire de Nantes et Les Capucins, Réadaptation Spécialisée et Soins de Longue Durée à Angers.

Les praxies correspondent à la coordination volontaire de mouvements orientés vers un but précis. La qualité de leur développement influence un grand nombre d'habiletés quotidiennes et d'apprentissages scolaires. Néanmoins, les connaissances dans ce domaine chez l'enfant sont encore limitées et nous manquons notamment d'outils d'évaluation. Dans la perspective d'améliorer le repérage et donc la prise en charge de ces difficultés, l'objectif de cette recherche est de contribuer à l'élaboration d'un outil d'évaluation des troubles praxiques. Pour apprécier la pertinence et la sensibilité de ces épreuves, nous avons besoin de les administrer **auprès d'un grand nombre de patients âgés de 6 à 14 ans**, qui entrent dans le cadre des contextes médicaux cités plus haut.

Afin de mieux comprendre les difficultés de certains enfants dans l'acquisition, l'élaboration et l'automatisation de gestes complexes volontaires, cette recherche comporte deux volets distincts :

- en milieu hospitalier, auprès d'enfants présentant une *plainte gestuelle* (dyspraxie développementale), une prématurité, une neurofibromatose de type 1 ou une lésion cérébrale acquise,
- en milieu scolaire, auprès d'enfants ne présentant pas de difficultés d'apprentissage, afin d'appréhender le *développement normal* du geste.

Les tests qui sont proposés aux enfants sont simples et ludiques, et explorent plus particulièrement les **compétences gestuelles et sensori-motrices**. Il est demandé par exemple de manipuler des cubes, de reproduire des dessins selon un modèle, d'utiliser des objets quotidiens (brosse, crayon, etc.) ou encore d'imiter les gestes de l'examineur. Des questionnaires sont aussi proposés aux parents et aux enseignants afin de recueillir des informations complémentaires.

Si vous acceptez la participation de votre enfant à cette recherche, la réalisation des tests fera partie intégrante des bilans neuropsychologique et psychomoteur réalisés dans le cadre de la prise en charge de votre enfant. Ces tests ne présentent aucun risque particulier et ont l'avantage de fournir au professionnel des informations cliniques supplémentaires pour une meilleure compréhension des difficultés d'apprentissage éventuelles de votre enfant. Dans la mesure où ces tests sont expérimentaux, leurs résultats ne vous seront pas communiqués en tant que tels mais seront intégrés dans la restitution plus globale qui vous est proposée. A terme, un récapitulatif des résultats généraux de l'étude pourra être transmis sur demande. Par ailleurs, les données médicales, paramédicales et psychologiques concernant votre enfant seront considérées dans les conditions garantissant leur confidentialité.

Dans la mesure où cette étude porte sur les gestes complexes, il est par ailleurs indispensable d'effectuer une analyse fine des données recueillies, impliquant nécessairement **l'enregistrement vidéo** des productions gestuelles de l'enfant au cours des passations. Il est à préciser que votre enfant sera dûment informé de cette démarche.

Nous vous proposons, si vous acceptez que votre enfant collabore à cette étude, de remplir **le formulaire de consentement** ci-joint en 2 exemplaires, dont l'un vous est destiné, ainsi que les questionnaires de développement moteur et d'attention/concentration permettant de recueillir des informations complémentaires.

Nous vous remercions de l'intérêt que vous porterez à cette démarche, et vous invitons à nous contacter pour tout complément d'information.

Chrystelle REMIGEREAU

Coordonnateur du projet et contact :

Chrystelle Remigereau, psychologue-neuropsychologue, CRL/UPTA, CHU de Nantes
(chrystelle.remigereau@chu-nantes.fr ou tél : 02.40.08.43.09)

Doctorante en Neuropsychologie, Université d'Angers.

Collaboration :

Emmanuelle Renaud-Thomas, psychomotricienne, CRL/UPTA, CHU de Nantes

Ghislaine Aubin, cadre rééducateur, Les Capucins, Angers.

Tatiana Côme-Durant, psychologue-neuropsychologue, PSSS HDJ pédiatrie, Le Bailleul.

Direction scientifique :

Didier Le Gall – Professeur de Neuropsychologie, Université d'Angers

Arnaud Roy – Maître de Conférences en Neuropsychologie de l'Enfant, Université d'Angers, Coordinateur du CRTA (CHU de Nantes).

ANNEXE 11. NOTICE D'INFORMATION - ENFANTS TOUT-VENANT


ETUDE DES PRAXIES CHEZ L'ENFANT
NOTICE D'INFORMATION A L'INTENTION DES PARENTS


Madame, Monsieur,

Nous vous proposons de faire participer votre enfant à une étude qui a pour but de mieux comprendre les difficultés gestuelles et d'apprentissage qui peuvent survenir dans différents contextes médicaux tels que la dyspraxie développementale, la prématurité, la neurofibromatose de type 1 et les lésions cérébrales acquises.

Cette étude est initiée par le Laboratoire de Psychologie des Pays de la Loire de l'Université d'Angers, en collaboration avec le Centre Référent des Troubles d'Apprentissage (CRTA) du Centre Hospitalier Universitaire de Nantes et Les Capucins (Centre de Réadaptation Spécialisée adulte et pédiatrique et Soins de Longue Durée) à Angers.

Les praxies correspondent à la coordination volontaire de mouvements orientés vers un but précis. La qualité de leur développement influence un grand nombre d'habiletés quotidiennes et d'apprentissages scolaires. Néanmoins, les connaissances dans ce domaine chez l'enfant sont encore limitées et nous manquons notamment d'outils d'évaluation. Dans la perspective d'améliorer le repérage et donc la prise en charge de ces difficultés, l'objectif de cette recherche est de contribuer à l'élaboration d'un outil d'évaluation des troubles praxiques. Pour apprécier la pertinence et la sensibilité de ces épreuves, nous avons besoin de les administrer **auprès d'un grand nombre d'enfants âgés de 6 à 14 ans**, qui ne présentent pas les pathologies précédentes, afin de fournir une base de comparaison pour les patients.

C'est pourquoi nous sollicitons votre accord et la participation de votre enfant. La Direction académique des services de l'éducation nationale de Maine-et-Loire (Inspection Académique) a émis un avis favorable au déroulement de cette démarche de recueil de données.

Les tests qui sont proposés aux enfants sont simples et ludiques, et explorent plus particulièrement les **compétences gestuelles et sensori-motrices**. Il est demandé par exemple de manipuler des cubes, de reproduire des dessins selon un modèle, d'utiliser des objets quotidiens (brosse, crayon, etc.) ou encore d'imiter les gestes de l'examineur. Des questionnaires sont aussi proposés aux parents et aux enseignants afin de recueillir des informations complémentaires.

Dans la mesure où il s'agit d'une étude expérimentale, les résultats individuels des enfants ne seront pas communiqués à titre personnel. A terme, un récapitulatif des résultats généraux de l'étude pourra être transmis sur demande. Par ailleurs, lors du traitement, toutes les données sont rendues **anonymes**.

La participation requiert **3 séances individuelles de 1h30/2h chacune** (5 heures maximum par enfant au

total), espacées au maximum de 1 mois, qui pourront être proposées :

- *au sein de l'établissement scolaire*, en accord avec le corps enseignant afin de ne pas gêner l'organisation de la classe,
- *ou à domicile* si vous l'acceptez, dans le cas où l'enfant n'aura pu être reçu pendant le temps scolaire ou si vous en formulez la préférence.

Dans la mesure où cette étude porte sur les gestes complexes, il est par ailleurs indispensable d'effectuer une analyse fine des données recueillies, impliquant nécessairement **l'enregistrement vidéo** des productions gestuelles de l'enfant au cours des passations. Il est à préciser que votre enfant sera dûment informé de cette démarche.

Votre participation est volontaire, aussi nous vous demanderons, si vous y consentez, de signer un formulaire de consentement éclairé qui vous sera alors transmis.

Quelle que soit votre décision nous vous remercions d'avoir pris le temps de lire cette lettre d'information.

Chrystelle REMIGEREAU

Psychologue – Neuropsychologue au CHU de Nantes

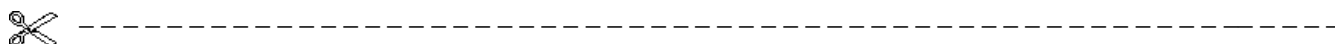
Doctorante en Neuropsychologie à l'Université d'Angers

chrystelle.remigereau@univ-angers.fr

Direction scientifique :

Didier Le Gall – Professeur de Neuropsychologie, Université d'Angers

Arnaud Roy – Maître de Conférences en Neuropsychologie de l'Enfant, Université d'Angers, Coordinateur du CRTA (CHU de Nantes).



Après avoir lu la lettre d'information :

J'accepte que mon enfant (nom et prénom).....participe à l'étude en réalisant des exercices sous forme de jeux afin d'aider des enfants malades rencontrant des difficultés d'apprentissage. Dans ce cas, précisez votre numéro de téléphone (Tel : __ -__ -__ -__ -__) afin que nous puissions fixer un rendez-vous.

Je ne souhaite pas que mon enfant (nom et prénom).....participe à cette étude.

Avant de prendre une décision, je souhaite obtenir davantage d'informations. Dans ce cas, veuillez noter vos nom et prénom : ainsi que votre numéro de téléphone (Tel : __ -__ -__ -__ -__) afin qu'un responsable de l'étude puisse vous contacter et répondre à vos questions.

Date :

Signature des parents :

ANNEXE 12. FORMULAIRE DE CONSENTEMENT



ETUDE DES PRAXIES CHEZ L'ENFANT

FORMULAIRE DE CONSENTEMENT



Je soussigné M./Mme (Nom, Prénom) _____

Père Mère ou Tuteur

Et M./Mme (Nom, Prénom) _____

Père Mère ou Tuteur

De l'enfant (Nom, Prénom) _____

Né (e) le __ / __ / ____

Adresse :

Tél :

Autorise (autorisons) mon enfant à participer à cette étude

au sein de l'établissement scolaire *et/ou* à domicile (sur prise de rendez-vous)

Et déclare (déclarons) :

- avoir reçu et lu la notice d'information concernant le protocole d'évaluation qui est proposé à mon enfant.
- avoir compris la nature et les objectifs de cette étude et avoir obtenu auprès du coordonnateur de la recherche toutes les informations complémentaires nécessaires et souhaitées en réponse à mes questions.
- avoir compris que la participation de mon enfant à l'étude proposée est libre.
- avoir compris que certaines épreuves seront filmées.
- avoir compris que je suis libre de retirer mon enfant de l'étude à tout moment sans donner de raison et sans craindre de préjudice particulier.
- avoir compris que les résultats obtenus ne seront pas communiqués individuellement, mais qu'un récapitulatif des résultats généraux de l'étude pourra être transmis à terme, sur demande.
- avoir compris que les données recueillies feront l'objet d'un traitement anonyme et que les personnes impliquées dans cette recherche sont soumises au secret professionnel.

Fait à, le

Signature(s) du responsable légal de l'enfant précédée(s) de « Bon pour accord » :

Signature de l'enfant :

Signature de l'investigateur :

Présidence de l'université
40 rue de rennes – BP 73532
49035 Angers cedex
Tél. 02 41 96 23 23 | Fax 02 41 96 23 00



Thèse de Doctorat

Chrystelle REMIGEREAU

L'utilisation d'outil chez l'enfant : Approche neuropsychologique du développement typique et du Trouble de l'Acquisition de la Coordination

Tool use in children: Neuropsychological approach of typical development and Developmental Coordination Disorder

Résumé

Les perturbations des activités de vie quotidienne constituent l'un des critères diagnostiques du Trouble de l'Acquisition de la Coordination (TAC). Malgré leur impact sur l'autonomie de l'enfant, les troubles d'utilisation impliqués dans ces activités quotidiennes demeurent peu explorés (e.g., mécanismes sous-jacents, profils inter-individuels, recul évolutif). A notre connaissance, la notion d'utilisation d'outil n'a pas fait l'objet d'une modélisation développementale spécifique. Elle se situe aujourd'hui au carrefour des modèles sur le développement perceptivo-moteur et des théories sur l'émergence des capacités cognitives de résolution de problème chez l'enfant. Des modèles récents développés chez l'adulte apraxique suggèrent que l'utilisation d'outil est le fruit d'un processus dialectique entre un raisonnement technique (i.e., analyse abstraite des moyens techniques pertinents pour un but donné) et des habiletés sensori-motrices (i.e., guidées par les représentations sur les transformations mécaniques à opérer). A l'appui de ces modèles, la présente thèse propose d'une part d'analyser le développement typique de l'utilisation d'outil et des processus sous-jacents. Nous explorons d'autre part l'hypothèse d'un développement atypique de l'utilisation d'outil chez des enfants diagnostiqués TAC. Nos résultats apportent des arguments en faveur de la contribution du raisonnement technique au développement typique de l'utilisation d'outil. Sur le plan clinique, l'analyse de l'étendue et des causes sous-jacentes des difficultés d'utilisation d'outil confirme l'importance d'un tel examen pour la validation des critères diagnostiques du TAC.

Mots clés

Utilisation d'outil, Raisonnement technique, Anticipation motrice, Connaissances fonctionnelles, Trouble de l'Acquisition de la Coordination.

Abstract

Deficits in daily living activities are one of the diagnostic criteria of the Developmental Coordination Disorder (DCD). Despite their impact on child's autonomy, tool use disorders involved in these daily activities remain under-assessed (e.g., underlying processes, interpersonal profiles, persistence disease). To our knowledge, there is no theoretical framework of tool use formulated in a specifically developmental perspective. This concept actually remains at the crossroads between models of the perceptual-motor development and theories about cognitive processes of problem resolution in children. Recent models developed in adults with apraxia suggest that tool use is a dialectical process between a technical reasoning (i.e., abstract analysis of technical means and ends) and sensory-motor skills (i.e., managed by the representations on the mechanical transformations to be operated). According to these models, we first aim to analyze the typical development of tool use and the underlying processes. We then explore the assumption of an atypical development of tool use in children with DCD. Our findings provide evidence for the involvement of technical reasoning in typical development of tool use. From a clinical perspective, the analysis of tool use impairment and underlying deficits confirm the relevance of such an assessment for the validation of the diagnostic criteria of the DCD.

Key Words

Tool use, Technical reasoning, Anticipatory motor planning, Functional knowledge, Developmental Coordination Disorder