

Liens entre les capacités d'imagerie motrice et les coordinations motrices chez les enfants Trouble Développemental de la Coordination

*Etude de validité de critère à travers un nouveau test
d'imagerie motrice : le TIMI-2*

Agathe CANTALOUBE

Juin 2021

Mémoire en vue de l'obtention du diplôme d'Etat de Psychomotricien

Sommaire

Introduction.....	5
I. Trouble développemental de la coordination (TDC)	6
A. Définition.....	6
B. Le TDC, un trouble psychomoteur	8
C. Trouble cognitivo-moteur.....	10
D. Hétérogénéité du trouble	11
E. Comorbidités.....	12
F. Recommandations	13
1. Evaluation	13
II. Imagerie motrice (IM)	15
A. Concept	15
1. Définition.....	15
2. Différents types d'IM	16
B. Fonctionnement de l'IM	17
1. Contexte physiologique et corrélats cérébraux.....	17
2. Neurones miroirs.....	19
3. Contexte développemental	19
4. Notion de modèle interne.....	20
C. Applications pratiques de l'IM.....	21
1. Dans le sport.....	22
2. Dans la musique	22
3. Dans un contexte de rééducation	22
III. TDC et IM.....	23
A. Liens	23
1. Rotation mentale.....	24
2. Déficit de modèle interne	25

3. Liens entre imagerie motrice et habiletés motrices	26
B. Application de l'IM chez le TDC	27
C. Outils d'évaluations	28
1. Questionnaires.....	29
2. Chronométrie mentale	30
3. Rotation mentale.....	32
D. Justification de la pertinence du mémoire	34
I. Présentation de l'étude.....	35
A. Population.....	36
1. Critères d'inclusion.....	36
2. Critères d'exclusion.....	36
B. Protocole	37
1. Test d'imagerie motrice : TIMI-2	38
2. Tests complémentaires	43
Cahier d'observation:	44
II. Résultats	50
A. Statistiques descriptives	51
B. Statistiques inférentielles	52
1. Normalité des variables	53
2. Effet de l'âge, du sexe, et de la latéralité sur les variables d'intérêt.....	53
3. Liens entre les performances au TIMI-2 et résultats au 1 ^{er} subtest « Chevilles » du M-ABC 2	54
III. Discussion et limites	55
1. Discussion	55
2. Limites	61
Conclusion.....	62
Bibliographie.....	64

Introduction

Pour ce mémoire, j'ai choisi de m'intéresser aux liens pouvant exister entre l'imagerie motrice et les capacités de coordinations motrices auprès des enfants présentant un Trouble Développementale de la Coordination (TDC). Ce trouble a attiré mon attention car au sein du CMPP dans lequel j'ai été en stage toute au long de l'année et dans la pratique psychomotrice en règle générale, c'est un trouble qui est très fréquemment rencontré. J'ai donc trouvé intéressant d'axer mon travail sur l'utilisation de l'Imagerie Motrice (IM), technique de rééducation novatrice et efficace dans le cadre de ce trouble.

En effet, l'imagerie motrice est une technique qui s'est d'abord fait connaître dans le domaine du sport. Elle a fini par s'étendre au champ de la rééducation pour la prise en charge de différents types de pathologies dont le TDC pour lequel, son utilisation est même recommandée au niveau international (Blank et al., 2019) afin d'améliorer le mouvement. Cette pratique nous a été enseignée au sein de l'Institut de Formation en Psychomotricité de Toulouse, ce qui n'a fait qu'accroître mon intérêt pour elle. C'est pourquoi, j'ai en premier lieu eu la volonté de faire mon mémoire sur la mise en place d'un protocole de prise en charge en imagerie motrice auprès d'une fillette TDC sur mon lieu de stage afin d'améliorer ses capacités de coordinations motrice par ce biais.

Finalement, la présentation des derniers tests d'imagerie motrice créés par notre enseignant Frédéric Puyjarinet et son équipe, m'a donné envie de participer à son étude. L'enjeu était alors d'étalonner deux nouveaux outils que sont un questionnaire d'imagerie motrice et un test de rotation mentale, le TIMI-2, sur une population d'enfants normo-typiques d'âge scolaire. Du fait la situation sanitaire, cela n'a pu être possible. Nous avons donc envisagé de réaliser une étude de validité de critère dans le but d'essayer d'établir des liens prédictifs entre les capacités d'imagerie motrice et de coordinations motrices des enfants présentant un TDC.

Pour ce faire, nous sommes quatre étudiantes en 3^{ème} année de psychomotricité (deux de l'ISRP de Marseille et deux de l'IFP de Toulouse) à avoir effectué ce travail sous la supervision de Frédéric Puyjarinet. Nous avons respectivement fait passer ces deux outils à 32 enfants présentant un TDC âgés de 7 à 13 ans. Les résultats obtenus par ces enfants ont été comparés entre eux.

La mise en place de ce travail a fait émerger un certains nombre de questions auxquelles je vais essayer de répondre au travers de ce mémoire.

Existe-t-il un lien entre les capacités d'imagerie motrice et les capacités de coordinations motrices chez l'enfant TDC ? Si oui, les capacités d'imagerie motrices et les capacités de coordinations motrices chez le TDC sont-elles reliées négativement ? C'est-à-dire, si un sujet TDC ayant de mauvaises capacités de coordinations motrices, aura-t-il nécessairement des capacités d'imagerie motrice déficitaires ? De plus, la motricité manuelle serait-elle plus impactée du fait de son utilisation prépondérante au sein du TIMI-2 ? Enfin, la présence de comorbidités aurait-elle une incidence sur les performances des sujets ?

Pour tenter de répondre à ces questions, je vous présenterai tout d'abord le Trouble Développementale de la Coordination, l'imagerie motrice et les liens existant entre les deux. Ensuite, je vous présenterai l'étude que nous avons réalisé auprès des 32 enfants TDC ainsi que les résultats que nous avons obtenus. Enfin, je discuterai des résultats et des perspectives que cela apporte.

Partie théorique

I. Trouble développemental de la coordination (TDC)

A. Définition

Dans la classification proposée par le *Diagnostic and Statistical Manual of Mental disorder* (DSM-5), le Trouble Développemental de la Coordination (TDC) est

un trouble s'inscrivant dans les troubles neurodéveloppementaux au sein de la sous catégorie des troubles moteurs. C'est un trouble de la motricité intentionnelle (Expertise collective INSERM sur le TDC, 2019). Ce trouble se caractérise donc avant tout par une altération au niveau des coordinations motrices, pouvant toucher tout autant la motricité fine que la motricité globale. Cela se traduit généralement par un retard d'acquisitions motrices et une grande maladresse. La prévalence de ce trouble est d'environ 6% chez les enfants de 5-6 ans (Mandich & Polatajko, 2003). On constate que les garçons sont plus touchés avec un sex ratio de 1,8/1 (Expertise collective INSERM sur le TDC, 2019). L'étiologie précise de ce trouble reste encore largement inconnue (Adams & al, 2014).

Depuis 2015, dans le DSM-5, nous parlons de TDC, bien qu'en France le terme de « dyspraxie de développement » reste utilisé dans le langage courant, notamment auprès des familles (Expertise collective INSERM sur le TDC, 2019).

L'utilisation du terme TDC est cependant à prioriser, ce qui est explicitement noté dans les recommandations internationales par Blank et al. (2019).

Les critères diagnostics (DSM-5) sont les suivants:

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

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

B. Le TDC, un trouble psychomoteur

« Les troubles psychomoteurs sont des troubles neuro-développementaux qui affectent l'adaptation du sujet dans sa dimension perceptivomotrice. Leurs étiologies sont plurifactorielles et transactionnelles associant des facteurs génétiques, neurobiologiques et psychosociaux qui agissent à différents niveaux de complémentarité et d'expression. Ils sont souvent situationnels et discrets, entravant en priorité les mécanismes d'adaptation, constituant une source de désagrément et de souffrance pour le porteur et le milieu social » (Albaret, 2001, p3).

Le trouble psychomoteur a donc une origine plurifactorielle dont les facteurs agissent à différents niveaux et de manières différentes. Il s'exprime en fonction de la situation, c'est-à-dire qu'en fonction du contexte, il peut être présent ou non ce qui rend l'adaptation du sujet difficile. La notion de souffrance de l'individu est importante à prendre en compte, si elle n'apparaît pas, nous ne sommes pas dans un trouble. Il repose sur un trépied symptomatologique, se manifestant par des troubles perceptivo-moteurs, des signes neurologiques doux et des troubles affectifs (Cf. figure 1).

Le trouble psychomoteur demande donc plusieurs niveaux d'analyse, dans le contexte biologique (au niveau génétique), écologique (il faut regarder l'influence que le milieu, l'environnement a sur le trouble de l'individu) et téléologique (c'est à dire le sens, l'intentionnalité que donne le sujet à son trouble), (Albaret, 2001 ; Corraze 1981, 1999, 2010 ; in Albaret, 2013).

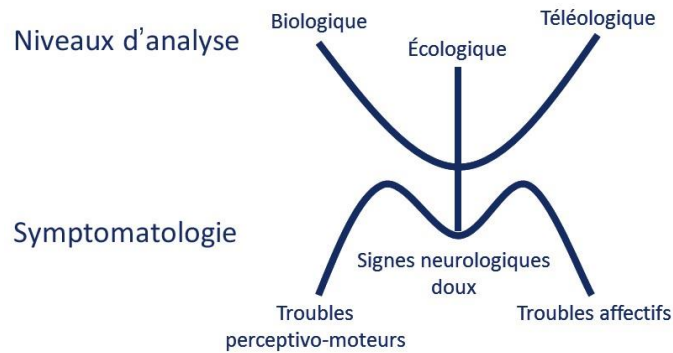


Figure 1: le trouble psychomoteur

Comme le démontre Albaret (2013), depuis des années, de nombreuses études ont mis en avant les caractéristiques du TDC comme trouble psychomoteur:

Les troubles perceptivo-moteurs se traduisent au niveau des fonctions d'explorations, par une faible discrimination proprioceptive et kinesthésique (Laszlo et al., 1988), une mauvaise perception de la durée relative des sons (Williams, Woollacott, & Yvri, 1992), une altération de la prise en compte des informations visuo-spatiales et haptiques (Wilson & McKenzie, 1998 ; Schoemaker et al., 2001), ainsi que des perturbations dans le transfert intermodal (Newnham & McKenzie, 1993). En ce qui concerne les fonctions d'action, on constate un allongement et une variabilité du temps de réaction et de mouvement (Henderson et al., 1992 ; Van Dellen & Geuze, 1998), une irrégularité dans les épreuves de pointillage et des coordinations générales ce qui se traduit par un manque d'amplitude, une limitation articulaires ainsi qu'un enchaînement séquentiel corporel inapproprié (Geuze & Kalverboer, 1993 ; Larkin & Hoare, 1992 ; Williams et al, 1985) et une lenteur notamment dans les épreuves visuo-motrices (Schoemaker et al., 2001).

Les signes neurologiques doux dans cette pathologie sont retrouvés principalement au travers de l'instabilité posturale notamment en équilibre statique (Williams et al., 1985 ; Geuze, 2003), par la présence de syncinésie (Licari, Larkin, & Miyahara, 2006), de mouvements choréiformes et de l'hypotonie (Hadders-Algra, 2002), une faible régulation de la force musculaire (Lundy-Ekman et al., 1991) et une lenteur (Losse et al., 1991).

Les troubles affectifs chez le TDC se traduisent souvent par de l'anxiété qui se développe de manière réactionnelle à cause d'une faible estime de soi grandissante notamment autour du manque de réussite dans les domaines scolaires et sportifs ainsi que de la faiblesse du support social (Miyahara & Piek, 2006 ; Skinner & Piek, 2001 ; Watson & Knott, 2006).

Comme nous venons de le voir, le TDC est bien un trouble psychomoteur. Cependant, les sujets porteurs de TDC, au-delà de leurs troubles moteurs, des troubles cognitifs notamment au niveau de la mémoire de travail visuo-spatiale, de la mémoire procédurale ou encore la planification sont présents. En ce sens, il convient aussi de parler du TDC comme d'un trouble cognitivo-moteur.

C. Trouble cognitivo-moteur

Comme décrit par l'Expertise collective INSERM sur le TDC en 2019, il serait un trouble cognitivo-moteur plus qu'un trouble moteur à proprement parlé. En effet, des années 1990 à nos jours, l'approche cognitive du contrôle moteur et de l'apprentissage moteur à la recherche des processus cognitifs déficitaires dans le TDC est prédominante. Cette approche considère que pour qu'un sujet puisse donner une réponse rapide, précise et stable dans le temps, la mise en jeu de différentes fonctions cognitives telles que la perception, l'attention, la mémoire ou encore les fonctions exécutives, est essentielle (Expertise collective INSERM sur le TDC, 2019).

Un déficit de perception, notamment visuelle (pas de déficit visuel général mais une altération de la perception) serait rapporté mais les résultats ne sont pas unanimes. La méta-analyse de Wilson et Mc Kenzie (1998 ; in Expertise collective INSERM sur le TDC, 2019) met en avant ce déficit dans les tâches visuo-spatiales. Différentes études ont pu montrer des déficits dans la perception kinesthésique, haptique, auditive, inter-modale ou encore dans l'intégration multisensorielle, mais ces études sont peu nombreuses et les résultats sont à manier avec précautions car ils n'ont pas réellement de validité (Expertise collective INSERM sur le TDC, 2019).

Certaines fonctions exécutives seraient elles aussi impactées. La mémoire de travail visuo-spatiale permet de retenir une information non verbale en mémoire durant l'exécution d'une autre tâche ainsi que de pouvoir manipuler cette même information dans un laps de temps court. Il semblerait que cette fonction soit déficitaire chez les sujets TDC et que ce déficit soit plus prononcé chez les enfants

TDC que pour les enfants présentant d'autres troubles neuro-développementaux (Alloway, 2007 et 2011 ; Alloway et Temple, 2007 ; Alloway et Archibald, 2008 ; in Expertise collective INSERM sur le TDC, 2019). De la même façon, les capacités d'inhibition de réponses automatiques sont également touchées. En effet, arrêter une réponse automatique ou modifier une action en cours ou planifiée, apparaît difficile chez les sujets TDC (Expertise collective INSERM sur le TDC, 2019). Les capacités de planification, notamment motrice sont déficitaires dans cette population mais les résultats restent controversés.

L'attention est également une notion qui fait souvent défaut dans la vie quotidienne des sujets TDC. Cependant, l'étendue de ces déficits reste à éclaircir bien que plusieurs éléments aillent dans ce sens là (Expertise collective INSERM, 2019).

Concernant la fonction cognitive mnésique, la mémoire procédurale reste celle qui a été la plus étudiée. Elle pourrait être perturbée dans certaines conditions. Dans cette mémoire, il existerait deux types d'apprentissages : par adaptation visuomotrice et par mémorisation de séquences. Le premier serait déficitaire chez les enfants TDC, tandis que les études portant sur le second rapportent des résultats plus disparates. Le déficit de mémoire à long terme ne semble pas encore clairement établi (Expertise collective INSERM sur le TDC, 2019).

Plusieurs études ont été menées à ce sujet et mettent en avant l'hétérogénéité du fonctionnement des processus cognitifs dans cette population-là. Tous les enfants présentant un TDC, ne sont pas touchés de la même manière par les déficits au niveau cognitif.

D. Hétérogénéité du trouble

Le TDC est un trouble très hétérogène (Henderson, 1987) pour plusieurs raisons :

- En fonction du niveau de gravité : cela peut aller d'une simple difficulté à réaliser une habileté motrice, à l'incapacité de la réaliser.
- En fonction de l'étendue des difficultés motrices : on peut avoir une incapacité à réaliser une action motrice ou avoir des difficultés ciblées à certains domaines (certains peuvent présenter des difficultés en dextérité manuelle et être performants dans les autres domaines de la motricité). Il n'y a pas de facteur général de motricité.
- En fonction du début d'apparition du trouble : pour certains les difficultés sont mises en avant dès la petite enfance (tenue assise, tenue de la tête tardive, marche tardive), alors que pour d'autres, les difficultés sont mises en évidence lors de l'entrée en maternelle ou même lors d'apprentissage fondamentaux au CP (lecture, écriture)
- En fonction de l'association symptomatique : un TDC isolé n'engendre pas les mêmes difficultés qu'un TDC associé à d'autres troubles.

E. Comorbidités

« La comorbidité est définie comme une association non aléatoire entre plusieurs entités morbides présentes chez un individu » J.M Albaret, R. Soppelsa & Corraze, 2009. Autrement dit, le terme de comorbidité désigne l'association de troubles entre eux chez un même individu.

Le TDC « pur » existe mais il est rarement retrouvé de manière isolé (Geuze, 2004 ; in Maillot, 2011). Cependant, la fréquence des associations des troubles reste difficile à déterminer avec précision compte tenu des petits échantillons utilisés dans les différentes études (Expertise collective INSERM sur le TDC, 2019, chap. 3). Ainsi, cette pathologie est souvent associée à des troubles de natures différentes (Cf. figure 2) :

- Troubles neuro-développementaux :
 - Trouble Déficit de l'Attention avec ou sans Hyperactivité (TDA/H)
 - Troubles des apprentissages

- Troubles Développemental du Langage Oral
- Trouble de la communication, Trouble du Spectre Autistique (TSA)
- Troubles psychopathologiques :
 - Trouble Anxieux
 - Troubles Dépressifs
 - Troubles émotionnels, comportementaux - Pathologies
- médicales :
 - Obésité
 - Troubles cardio-vasculaires ▪ Troubles du sommeil

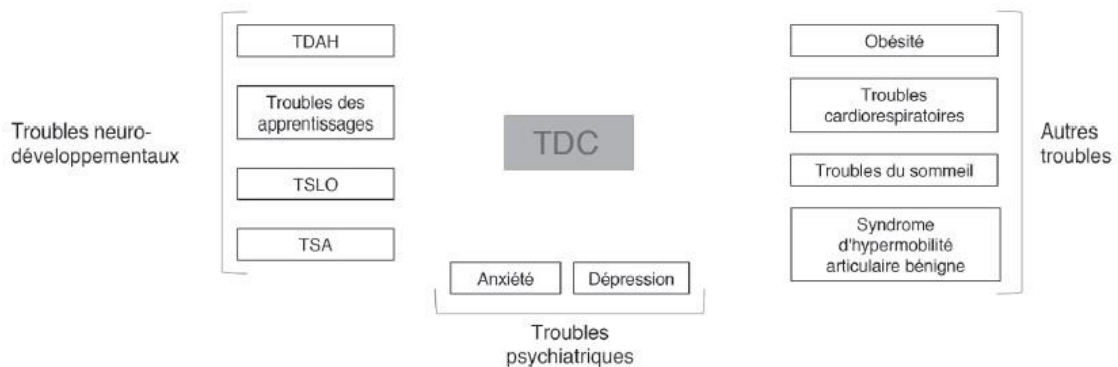


Figure 3.1 : Synthèse des principaux troubles associés au TDC

TDA/H : trouble déficit de l’attention avec ou sans hyperactivité ; TSLO : troubles spécifiques du langage oral ; TSA : trouble du spectre de l’autisme

Figure 2: Les principaux troubles associés au TDC

F. Recommandations

1. Evaluation

Selon les recommandations internationales de 2019 (Blank et al.), le diagnostic doit être posé par un médecin ou une équipe pluridisciplinaire spécialisée.

Un professionnel paramédical à l'exemple du psychomotricien ne peut, à lui seul, poser le diagnostic. Le trouble ne peut être posé avant 5 ans, à l'exception des troubles sévères, mais dans ce cas, une réévaluation au bout de 3 mois est nécessaire pour confirmer la première évaluation. Toujours selon les recommandations internationales (Blank et al., 2019), la démarche diagnostic se déroule en plusieurs étapes :

- Elle débute avec l'anamnèse lors de l'entretien avec les parents dans le but de recueillir des informations sur le développement de l'enfant dans ses premières années de vie (par exemple à quel âge l'enfant a marché, a parlé, etc.) afin de répondre au critère C (DSM-5).
- Ensuite, la recherche de diagnostic différentiel avec les résultats des bilans sensoriels, psychométrique, IRM cérébrale, etc. dans le but de répondre au critère diagnostic D (DSM-5) mais aussi afin de savoir si des troubles sont associés comme cela est très souvent le cas.
- Il faut par la suite évaluer l'impact sur les activités quotidiennes, la scolarité, les loisirs, etc. grâce aux questionnaires, notamment le DCDQ-Fe, afin de pouvoir répondre au critère diagnostic B (DSM-5).
- Et enfin, évaluer le niveau de coordination motrice par rapport au niveau attendu avec un test standardisé, notamment le M-ABC2 (Movement Assessment Battery for Children, Henderson, Sugden, & Barnett, 2007) dans le but de pouvoir répondre au critère diagnostic A (DSM-5). D'autres tests existent à ce propos, notamment le Bot 2 (Bruininks-Oseretsky test of motor proficiency, Deitz, Kartin & Kopp, 2007) qui est également recommandé mais il n'existe pas en français. Ici, il ne sera question que du M-ABC2, ce dernier étant celui recommandé et donc celui avec lequel le protocole de cette étude a été réalisé. Une évaluation de l'écriture avec le BHK est également préconisée pour analyser la qualité de la trace produite et la vitesse d'inscription afin d'évaluer l'éventuelle présence d'une dysgraphie, souvent présente, afin de répondre au critère A (DSM-5).

Le TDC est une pathologie fréquemment rencontrée en prise en charge psychomotrice. Ce trouble peut être appréhendé de différentes manières lors des séances en fonction du profil de l'enfant, de ses points forts et de ses points faibles. Plusieurs méthodes ont prouvé leur efficacité auprès de cette population, l'imagerie motrice fait partie de l'une d'elles et c'est ce que nous allons développer dans la suite de ce mémoire.

II. Imagerie motrice (IM)

A. Concept

1. Définition

Pendant longtemps, les recherches sur l'imagerie motrice sont restées dans le domaine de la psychologie. William James (1890 Vol.2, pages 30 à 55) se questionnait sur le fait de savoir si l'imagerie motrice ne serait pas une sorte de réactualisation des sensations de parties du corps ayant été sollicitées au préalable dans le temps. L'image qui en résultait devait avoir les mêmes caractéristiques intrinsèques (Guillot, Collet, 2013).

C'est en 1912, que la notion d'imagerie motrice est définie pour la première fois par M. Ribot : « Sur le plan psychologique, c'est la reviviscence spontanée ou provoquée de sensations kinesthésiques simples ou complexes éprouvées antérieurement. En termes physiologique, c'est l'excitation des zones corticales (quelles qu'elles soient) dans lesquelles aboutissent les sensations du mouvement. Ces images ne peuvent être que des mouvements qui commencent, mais restent internes, sans se réaliser en mouvement objectif » (Guilbert et al., 2013).

Jeannerod (1995) donnera une définition plus précise en amenant le fait que cela représente « le résultat d'un accès conscient au contenu de l'intention d'un mouvement, qui est généralement effectué inconsciemment pendant la préparation du mouvement ». Il conclut en disant que l'imagerie motrice consciente et la préparation

motrice inconsciente partagent des mécanismes communs et sont fonctionnellement équivalent (Lotze & Halsband, 2006). Cette idée est renforcée par les recherches faites en neuro-imagerie.

Elle est définie plus récemment comme une simulation mentale d'une action, sans action motrice (Guillot et al., 2012 ; Munzert et al, 2009, in Barhoun & al., 2019). Il s'agit d'un état cognitif dynamique, durant lequel les notions d'intentionnalité et de concentration apparaissent lorsque le sujet pratiquant l'imagerie motrice tente de ressentir, d'imaginer les différentes composantes de l'action (au niveau spatial, temporel, kinesthésique). Plusieurs sortes d'imageries motrices existent, c'est ce que nous allons expliquer à présent.

2. Différents types d'IM

La représentation mentale est un large concept émergeant dans les années 1990. Les capacités d'imagerie concernent différentes modalités sensorielles, à l'instar de l'imagerie visuelle, tactile, olfactive, sonore ou encore motrice. L'imagerie motrice est une sous-catégorie de représentation mentale.

Gabbard et Gobbio (2011) distinguent deux types d'imagerie motrice :

- Explicite, qui est la capacité à imaginer une action sans la réaliser. Elle est évaluée par un paradigme de chronométrie mentale dans des tâches de pointage (ex : imaginer le pointage d'une cible d'une certaine taille, placée à une certaine distance)
- Implicite, qui est la capacité de réalisation d'une tâche nécessitant l'imagination d'un mouvement, soit de la rotation mentale. Elle est donc évaluée par des tâches de rotation mentale (ex : rotation des mains).

Ces deux types d'imagerie reflètent la représentation interne d'une action en respectant les lois du mouvement (Expertise collective INSERM sur le TDC, 2019, chap. 8). L'imagerie motrice peut se faire selon deux types de perspectives : selon une perspective interne qui permet à l'individu de s'imaginer lui-même en train de faire

l'action (à la première personne) ou externe qui permet à l'individu d'imaginer l'action faite par quelqu'un d'autre que lui (à la troisième personne).

Différents types d'imagerie motrice à partir des différents canaux sensoriels sont décrits par Grangeon, Guillot & Collet (2009) (in Haquet, 2018):

- Visuelle externe : le sujet se voit de l'extérieur en train de réaliser une action ou imagine quelqu'un d'autre réaliser cette même action.
- Visuelle interne : le sujet s'imagine lui-même en train de réaliser un mouvement.
- Tactile : le sujet imagine un mouvement en se focalisant sur les sensations tactiles
- Auditive : le sujet se focalise sur les caractéristiques sonores du mouvement
- Kinesthésique : le sujet se centre sur les sensations du corps lors de l'imagination du mouvement (sensations musculaires, articulaires, tensions musculo-tendineuse)

B. Fonctionnement de l'IM

L'imagerie motrice est bien un processus permettant de simuler mentalement une action sans la réaliser. Cependant, d'où vient-elle, comment se manifeste-elle et quels mécanismes sont activés ?

1. Contexte physiologique et corrélats cérébraux

Dans la littérature, il est décrit par James (1890) et Jacobson (1930) que la pratique de l'image mentale d'un mouvement provoque toujours des décharges dans les muscles concernés (Lotze & Halsband, 2006). En effet, il a été constaté une augmentation de l'excitabilité des muscles au moment où le sujet observe des actions motrices et lors de la pratique de l'imagerie motrice (Bonnet, Decey, Requin et Jeannerod, 1997 ; in Haquet, 2018). Si l'on regarde les muscles activés lors de l'observation de l'action, on constate que ce sont les mêmes que ceux activés lors de la pratique réelle de cette action (Fatiga, Fogassi, Pavesi et Rizzolatti, 1995 ; in Haquet, 2018).

Ce processus cognitivo-perceptif qu'est l'imagerie motrice implique l'activation de différentes structures neuronales semblables à celles activées lors d'un mouvement réel, mais pas tout à fait identiques, et qui seraient inhibées avant l'exécution du mouvement (Jeannerod, 1994, 2001, 2003 ; Decety & Ingvar, 1990 ; Prinz, 1994 ; Johnson, 2000, in Guilbert et al., 2013). Parmi ces structures on retrouve selon Héту et al. (2013) le cortex pariétal inférieur, le cortex moteur primaire (aire M1), les ganglions de la base (particulièrement le putamen et le cervelet) (Lotze, 2006, in Guilbert et al., 2013 ; Puyjarinet et al., 2020), le cortex prémoteur (spécifiquement l'aire dorsale 6 et l'aire motrice supplémentaire (in Puyjarinet, 2015 ; Barhoun & al., 2019), ainsi que le gyrus pré-central (Puyjarinet, 2015). Simuler et exécuter une même action solliciterait donc des réseaux cérébraux sensiblement similaires (Millet et al., 2009 ; in Puyjarinet et al., 2020).

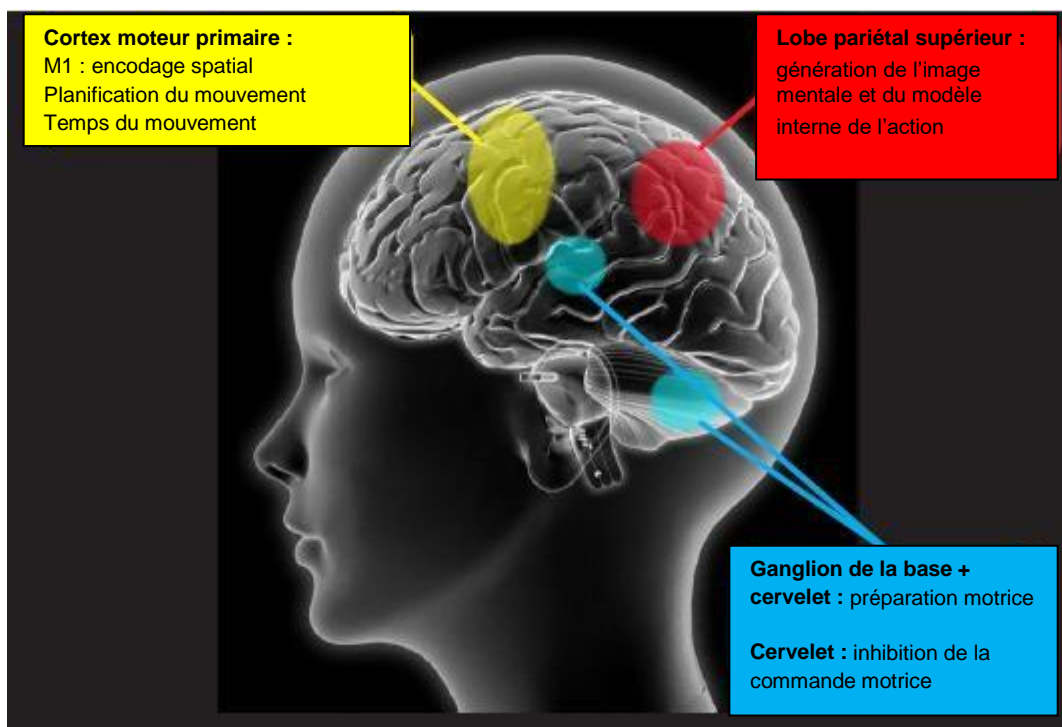


Figure 3: schématisation de l'activité cérébrale durant l'IM et les rôles possibles liés aux régions motrices (Guillot et al., 2014)

Au niveau cérébral, un autre système impliqué dans le fonctionnement de l'imagerie motrice a été mis en avant avec le système neuronal des neurones miroirs.

2. Neurones miroirs

Les neurones miroirs sont une catégorie particulière de neurones visuomoteurs. Ils ont été découverts dans la zone du cortex pré moteur au niveau de l'aire F5 chez les singes. Leur particularité est de décharger simultanément lorsque le singe réalise une action particulière mais aussi lorsqu'il observe un autre individu, qu'il soit homme ou singe, en train de faire une action similaire (Di Pellegrino et al., 1992, Gallese et al. 1996, Rizzolatti et al., 1996a ; in Rizzolatti et Craighero, 2004).

Ce système de neurones miroir a été mis en évidence grâce à des études de stimulation magnétique transcrânienne (TMS : Transcranial magnetic stimulation). Ces études ont mis en évidence que ce système chez l'homme montrait des capacités inexistantes chez le singe, dont le fait que ce type de neurones s'active lors de « mouvement intransitif sans signification » pour Fadiga et al., 1995, Maeda et al., 2002, Patuzzo et al., 2003 (in Rizzolatti et Craighero, 2004). Les mouvements intransitifs sont liés aux communications non verbales (ex : dire au revoir avec la main), ils sont en lien avec un répertoire de mouvements appris, contrairement aux mouvements transitifs qui eux, sont en lien avec l'utilisation des objets (ex : faire semblant de se brosser les cheveux). Les gestes sans signification font référence à la reproduction de posture sans intention.

Il y aurait également une caractéristique temporelle dans l'excitation corticale lors de l'observation d'action. Cette caractéristique suggère que le système de neurones miroirs humain code pour le mouvement en formation ainsi que pour l'action, et non plus seulement pour l'action comme démontré chez le singe. Ces capacités pourraient jouer un rôle important dans les capacités d'imitation de l'homme (Rizzolatti et Craighero, 2004).

L'imagerie motrice et les neurones miroirs sont très étroitement liés car nous savons que le fait de simuler une action, active les mêmes zones cérébrales que lors de la réalisation réelle du mouvement.

3. Contexte développemental

« L'imagerie motrice est un processus évolutif dont le développement se poursuit jusqu'à l'adolescence » Guilbert et al., 2013. Son apparition a été mise en évidence par des études faites chez des enfants sans lésions cérébrales entre l'âge de 5 et 7 ans. C'est réellement entre 8 et 10 ans que les enfants arrivent à anticiper le mouvement et utilisent la simulation interne de l'action (très lié au développement cognitif). C'est en effet à ce moment-là qu'ils arrivent à se dégager des informations perceptives immédiates de l'action (Guilbert et al., 2013). Elles sont totalement établies à 12 ans, bien qu'elles continuent de s'améliorer jusqu'à la fin de l'adolescence, du fait des modifications morphologiques, des modèles internes (ceux-ci seront expliqués dans le paragraphe suivant), du développement général des processus cognitifs et de la maturation neurologique des structures préfrontales et pariétales (Puyjarinet, 2015). Ce sont les capacités d'utilisation de modèle interne qui permettent au sujet d'adopter un contrôle prédictif (c'est-à-dire d'anticiper et de prévoir les conséquences du mouvement en fonction des contraintes environnementales) et de simuler mentalement une action. (Guilbert et al., 2013).

4. Notion de modèle interne

La notion de modèle interne est décrite par Jeannerod (1995) comme la capacité permettant de reconnaître les caractéristiques physiques de l'action afin d'informer le système nerveux central sur sa propre activité (Guilbert et al., 2013). Cela renvoie au fait que le système nerveux central est capable de simuler l'action future à exécuter afin de la planifier dans l'objectif d'en contrôler sa réalisation. Selon Puyjarinet (2015) : « schématiquement, les modèles internes sont des mécanismes neuronaux capables d'établir une relation en boucle ouverte entre les entrées (canaux sensoriels) et les sorties (commandes motrices) du système sensorimoteur, en prenant en compte les caractéristiques de l'environnement ». Autrement dit, lorsque le mouvement est programmé, ses conséquences anticipées en amont de la production motrice, le sujet peut ne pas tenir compte nécessairement des feedback sensoriels, mais des entrées sensorielles initialement perçues lors de l'intention de l'action. Il y a donc chez l'individu une représentation interne du mouvement, avant de le réaliser. Cette modélisation interne, en plus de permettre la planification de l'action, permet

également d'anticiper une trajectoire (visualisation d'un trajet) et de choisir les commandes motrices (quelles parties du corps vont être utiles) nécessaires à son exécution (Imamizu, Uno & Kawato, 1998 ; Neilson, Neilson & O'Dwyer, 1992 ; in Guilbert, 2013), ainsi que de prédire les conséquences futures de la réalisation de cette action (Puyjarinet, 2015).

Chez les enfants, il existerait une période critique entre 7 et 10 ans durant laquelle ils deviendraient capables de se détacher des informations sensorielles, notamment visuelles qui leur servaient précédemment à vérifier pendant l'action que le geste est en adéquation avec leur volonté de départ. Cette capacité à pouvoir se détacher des informations visuelles va ainsi permettre l'évocation du mouvement de façon anticipé ou rétroactive (Guilbert et al., 2013). C'est donc après 10 ans que les informations kinesthésiques et proprioceptives seraient utilisées dans un but d'anticipation et de contrôle de la réalisation d'actions motrices. De ce fait, avant 7 ans, les enfants ne seraient donc pas en capacité d'utiliser le mécanisme d'imagerie motrice du fait de l'absence de modèle interne (Guilbert et al., 2013). Cette notion n'est donc pas un concept immuable, les modèles internes sont en constante évolution pour que le sujet puisse s'adapter aux caractéristiques de son corps et de son environnement, changeants eux-aussi. En ce sens, pour une action donnée, les pratique mentale et réelle joueraient ainsi sur les modélisations internes du sujet (Lebon et al., 2013 ; Puyjarinet, 2019 ; Wilson et al., 2016 ; in Puyjarinet et al. 2020).

En plus du fait que l'imagerie aide au développement des compétences, elle représente également la capacité qu'à une personne de planifier ses mouvements et d'utiliser des modèles internes afin de prédire les conséquences du mouvement (Sirigu et al., 1996 ; Williams, Thomas, Maruff, Butson & Wilson, 2006 ; Wilson et al., 2004 ; in Reynolds et al., 2015). L'imagerie motrice peut donc être bénéfique et utilisée dans différents domaines, c'est ce dont nous allons parler à présent.

C. Applications pratiques de l'IM

1. Dans le sport

L'imagerie motrice est un concept qui a été très utilisé dans le domaine du sport. C'est dans ce domaine-là qu'elle a été le plus étudiée. Elle est utilisée seulement par les sportifs professionnels (Lotze et Halsband, 2006). Les sports adeptes de cette pratique sont plutôt ceux où l'on a des mouvements, des trajectoires balistiques (de grandes amplitudes) à l'exemple du golf, du basket au moment du lancer franc, du saut à ski, ou encore lors des transformations d'essais au rugby. Au niveau sportif, elle est préconisée notamment pour l'apprentissage moteur et l'amélioration de la performance, la motivation, la confiance en soi et l'anxiété, la mise en place de stratégies et de résolution de problème mais encore dans la récupération lors de blessure (Guillot et Collet, 2008).

2. Dans la musique

Elle a pu également être utile dans le domaine de la musique au niveau de l'exécution et de la mémorisation des mouvements. En effet, les musiciens expérimentés sont connus pour utiliser l'imagerie motrice afin d'améliorer leurs performances et dans la mémorisation du morceau joué (Lotze et Halsband, 2006).

3. Dans un contexte de rééducation

L'imagerie motrice a également été utilisée à des fins thérapeutiques et se montre très utile à bon nombre de patients aux profils bien différents :

Auprès de patients amputés chez lesquels la douleur fait partie du quotidien, l'imagerie motrice intervient sous la forme d'une thérapie miroir dans le but de réduire les douleurs induites par les membres fantômes. La thérapie miroir consiste à mettre un miroir à côté du membre valide dans le but de leurrer le cerveau. Cette technique fonctionne puisqu'une diminution des douleurs de 50 % est constatée, avec un maintien dans le temps des effets de cette thérapie 6 mois après l'arrêt pour un tiers des patients (Bowering et al., 2013). Cette thérapie est également efficace dans la réduction des douleurs chroniques (Bowering et al. 2013).

Auprès de patients cérébrolésés, l'IM est utilisée dans le but de remobiliser le membre déficient à partir d'une technique qui consiste à filmer le membre valide en

train de réaliser une coordination puis à retourner l'image pour la mettre à la place du membre lésé. Cette pratique permet de remobiliser la partie du corps affecté en faisant croire au cerveau qu'il est en train de travailler.

Chez des patients souffrant de désorientation topographique développementale, c'est-à-dire, ayant des déficits dans les capacités de navigation, une incapacité à visualiser une cartographie de lieux nouveaux ou peu familiers est retrouvée.

L'imagerie motrice peut être utilisée dans ce cas afin de récupérer des capacités à générer des cartes mentales et améliorer les capacités visuo-spatiales du sujet (Boccia et al., 2019).

Elle peut également être préconisée auprès d'adultes normo-typiques dans le but d'améliorer les capacités d'équilibre. Ce même objectif peut également être envisagé chez les personnes âgées. L'utilisation de l'IM chez ces dernières permet également de diminuer le coût attentionnel dans une situation de double tâche (Hamel et al., 2005 ; in Puyjarinet, 2015). Enfin, l'IM est de plus en plus utilisée dans le cadre des troubles neuro-développementaux tels que le TDC (Puyjarinet, 2015) et montre un niveau de preuve intéressant quant à son efficacité, si bien que les recommandations internationales (Blank et al., 2019) la citent comme méthode d'intervention à privilégier.

III. TDC et IM

A. Liens

L'imagerie motrice est donc la capacité que l'on a de construire une représentation mentale d'une action sans produire physiquement la séquence de mouvements. Il s'agit là d'une simulation mentale (Guillot et coll, 2012, in Expertise collective INSERM sur le TDC, 2019, chap.8). Plus de 15 ans de recherches sur l'imagerie motrice dans le TDC ont montré que les sujets atteints présentent des difficultés importantes et hétérogènes dans ce domaine (Expertise collective INSERM sur le TDC, 2019). Ces difficultés ont pu être mises en évidence par des tâches de pointage ou de rotation mentale et corrélées avec la sévérité du TDC et la complexité de la tâche à exécuter.

Funk et al. (2005) ont réalisé une étude dans laquelle des enfants normotypiques âgés de 5-6 ans réalisaient des tâches de rotation mentale en alternant leur position de mains (soit mains en position dorsales, soit en position palmaire). Dans ces conditions, les enfants reconnaissaient plus rapidement les mains présentées lorsqu'elles étaient dans la même position que leurs mains durant la tâche (position dorsale si leurs mains étaient en position dorsale, et inversement pour la position palmaire). Ces résultats montrent que chez le jeune enfant, l'imagerie motrice est très dépendante de la position réelle des mains du sujet, (Guilbert et al., 2013).

Ainsi, peut-on se demander si les capacités d'imagerie motrice évaluées par des tâches de rotation mentale sont dépendantes des capacités de coordination motrices propre au sujet ? L'imagerie motrice met en jeu différents processus tels que la représentation d'un modèle interne et la rotation mentale. Il est donc nécessaire de s'intéresser à chacun de ces processus au sein du TDC afin d'établir un lien ou non entre ces deux composantes.

1. Rotation mentale

La rotation mentale est le paradigme le plus utilisé dans les mesures des capacités d'imagerie motrice. Les tâches de rotation mentale impliquent généralement d'identifier la latéralité d'une main (main gauche ou main droite) présentée sous différents angles de vue (vue médiale ou latérale) mais également en vue palmaire (paume de la main) ou en vue dorsale (dos de la main). Les réponses sont globalement plus longues lorsqu'il s'agit des angles de vues latéraux, car plus complexe autant chez les sujets normo-typiques que chez les sujets TDC (Barhoun et al., 2019).

En ce qui concerne les sujets TDC, la majorité des études faites à ce propos ont montré que ces derniers ont des performances en rotation mentale conformes à l'utilisation d'une stratégie d'imagerie motrice, de même que les sujets contrôles (Deconinck et al., 2009 ; Reynolds et al., 2015 ; Adams et al., 2016 ; Fuelscher et al., 2015a ; Williams et al., 2011, 2013 ; in Barhoun et al., 2019). Cependant, la majorité de ces études a montré que les sujets TDC ont des capacités réduites dans ce domaine en comparaison avec des enfants normo-typiques.

En effet, comme nous pouvons le voir au sein de la revue méta-analytique menée par Barhoun et al. (2019), les données montrent que pour les tâches de rotation mentale, les enfants présentant un TDC ont un temps de performance plus long et sont moins précis.

Pour les tâches de rotation mentale, une donnée importante à prendre en compte est la manière dont sont énoncées les consignes et ce qui est dit. Dans certaines études, l'utilisation de l'imagerie motrice est encouragée, alors que dans d'autres non (Noten et al., 2014 ; Reynolds et al., 2015 ; Williams et al., 2006, 2008, 2011, 2013 ; in Barhoun et al., 2019). On peut donc penser que cela peut influencer sur les performances des sujets, qu'ils soient TDC ou non. Ces résultats mis en avant par Barhoun et al. (2019) sont à manier avec précaution.

Les difficultés que montrent les sujets TDC à engager de l'imagerie motrice lors de tâche de rotation mentale au sein de la revue de littérature de Barhoun et al. (2019) est un argument solide en faveur de l'hypothèse d'un déficit de modélisation interne du mouvement dans la population TDC. En effet, on peut penser que si les sujets TDC, ont des difficultés pour se représenter la partie du corps concernée dans un mouvement et sa position à différents moments de l'action (position de départ, position pendant l'action, position d'arrivée), la planification du mouvement ainsi que des ses conséquences doivent être difficiles.

2. Déficit de modèle interne

Comme décrit précédemment, la notion de modèle interne fait référence à la capacité qu'a le système nerveux central de simuler l'action à exécuter afin de planifier, de choisir les commandes motrices effectrices nécessaires à la réalisation de cette action ainsi que d'en prédire les conséquences futures (Imamizu, Uno & Kawato, 1998 ; Neilson, Neilson & O'Dwyer, 1992 ; in Guilbert ; Puyjarinet, 2015).

Des recherches ont été menées à ce propos concernant les enfants présentant un TDC. L'hypothèse de plusieurs auteurs est qu'il existerait un déficit de modélisation interne du mouvement chez cette population-là, ce qui serait la cause de leurs difficultés en imagerie motrice ainsi qu'au niveau du contrôle moteur. En effet, pour

Gabbar et Gobbio (2011) ainsi que pour Adams et coll. (2014), il existerait « un déficit de modèle interne qui correspond à un processus qui simule la réponse effective dans le but d'estimer ses conséquences ». Le processus décrit dépend de la boucle cortico-cérébelleuse. Cette boucle dysfonctionnerait, ce qui engendrerait un déficit en imagerie motrice, et donc des déficits dans le contrôle moteur, sur le plan de l'anticipation, de la programmation et de la correction du mouvement (Adams et coll., 2014, 2016 ; in Expertise collective INSERM sur le TDC 2019, chap.8, p.261).

Des études récentes suggèrent la présence de déficits visuo-moteurs au niveau des processus visuo-spatiaux et de modélisation interne (Blank et al., 2012 ; Adams, Lust, Wilson, Steenbergen, 2014 ; Wilson et al., 2013 ; in Reynolds et al., 2015) qui pourraient être à l'origine des caractéristiques du TDC. Mais alors quels liens peut-on faire entre les faibles capacités de modélisation interne, et donc, par extension d'imagerie motrice, et les habiletés motrices chez le TDC ?

3. Liens entre imagerie motrice et habiletés motrices

Nous savons que les capacités d'imagerie motrice se développent avec l'âge, comme évoqué précédemment (partie II, fonctionnement de l'IM, contexte développemental). Elles deviennent réellement efficaces aux alentours de 10 ans. Par extension, elles sont donc également liées au développement moteur de l'enfant (Caeyenberghs et al., 2009 ; Smits-Engelsman & Wilson, 2013 ; in Puyjarinet et Soppelsa, 2020). Quelques études ont été menées afin d'explorer l'existence ou non de ce lien. Caeyenberghs et al. (2009) ont demandé à 58 enfants normo-typiques âgés de 7 à 12 ans de réaliser une tâche de rotation mentale, une tâche de pointage et une évaluation de leurs habiletés motrices avec le test de compétences motrices McCarron Assessment of Neuromuscular Development (McCarron, 1997). SmitsEngelsman et Wilson (2013), eux, ont demandés à 54 enfants normo-typiques âgés de 5 à 18 ans de réaliser une tâche de pointage et des exercices de dextérité manuelle (premier subtest du M-ABC2). Respectivement, les résultats ont montré une corrélation des capacités d'imagerie motrice et d'habiletés motrices allant de .42 à .59 pour Caeyenberghs et al., et une corrélation allant de .31 à .37 pour SmitsEngelsman.

Autrement dit, les capacités en imagerie motrice sont positivement corrélées aux compétences motrices, ce qui sous-entend que l'imagerie motrice suit une courbe développementale similaire à celle des habiletés motrices d'un enfant.

Par ailleurs, il a été démontré l'impact de l'entraînement à la simulation mentale sur les performances motrices, notamment dans le domaine sportif (Feltz & Landers, 1993 ; Guillot et al., 2008), mais aussi chez les enfants atteints de TDC afin d'améliorer leurs capacités de coordinations motrices aussi bien au niveau de la motricité globale que de la motricité fine (notamment pour l'écriture) (Adams et al., 2017 ; Wilson, Thomas & Maruff, 2002 ; Wilson et al., 2016 ; Puyjarinet, 2019 ; in Puyjarinet et Soppelsa, 2020), ce qui va être développé dans la partie suivante.

L'utilisation de l'imagerie motrice auprès d'enfants TDC pour améliorer leurs performances motrices paraît alors pertinente, comme indiqué dans la méta-analyse de Blank et al. (2019).

B. Application de l'IM chez le TDC

La plupart des hypothèses dans les recherches soutiennent le fait que les sujets TDC sont capables d'entreprendre une stratégie d'imagerie motrice pour des tâches simples. Cependant, ils présentent des schémas de réponses et un niveau de précision plus variable en comparaison d'une population normo-typique (Deconinck, Spitaels, Fias, & Lenoir, 2009 ; Lust et al., 2006 ; Williams, Thomas, Maruff, & Wilson, 2008 ; Williams et al., 2006). Les sujets atteints de TDC peuvent donc prétendre à utiliser l'imagerie motrice à condition que les tâches entreprises soient relativement simples. Dans ces conditions, leurs niveaux de performances seront toujours plus variables que ceux des sujets non porteurs de TDC. De plus, les altérations des capacités en imagerie motrice semblent être plus importantes chez les individus présentant des difficultés motrices sévères (Williams et al., 2008). Autrement, dit, plus le TDC est sévère, plus les capacités en imagerie motrice seraient déficitaires.

Cette hypothèse est modérée par Reynolds et al., (2015), car dans leur étude, ils n'ont pas constaté de déficit d'imagerie motrice chez tous les sujets TDC. Les différences de résultats entre les études, sont selon eux, certainement dues aux

différents paradigmes utilisés, au niveau de la complexité des tâches administrées, aux différents niveaux d'analyse ainsi qu'au niveau des différences de sévérité du TDC et des difficultés motrices (Reynolds et al., in press ; in Reynolds et al., 2015). Cependant, les déficits en imagerie motrice se montrent plus forts lorsque la difficulté de la tâche augmente (Williams et al., 2008 ; Caçola et al., 2014 ; Adams et al., 2017).

Des études ont mis en avant l'utilisation de l'IM comme technique de rééducation. Adams et al. (2017) ont réalisé une étude sur les effets de la mise en place d'un protocole d'IM sur l'évolution des capacités de coordination motrices chez les TDC. Les résultats montrent que la plupart des enfants présentent des améliorations significatives au niveau des capacités motrices même avec une faible durée d'exposition au protocole d'IM.

Plus spécifiquement, Puyjarinet (2015) a mis en avant dans une étude l'effet de l'utilisation de l'imagerie motrice pour la rééducation de la dysgraphie. Cette étude comparait deux types de prise en charge de la dysgraphie en séparant les 51 enfants selon trois groupes : un groupe bénéficiant de la rééducation par imagerie motrice, le second bénéficiant d'une rééducation métacognitive, et le troisième groupe ne bénéficiant pas de traitement (Puyjarinet, 2015). Le protocole d'IM que pratiquait le groupe 1 était constitué de 5 phases : entraînement au timing prédictif (estimation de durée), exercice de relaxation, visionnage de vidéo de l'action à travailler avec une perspective égocentrée (écriture), simulation mentale du mouvement visionné sur la vidéo et enfin production du mouvement vu et imaginé aux étapes précédentes en alternant avec la simulation en IM. Les résultats montrent que l'approche basée sur l'IM est presque aussi efficace que l'approche métacognitive en ce qui concerne l'amélioration de la qualité de l'écriture. Il semblerait que l'entraînement à l'IM permette une amélioration des capacités de modélisation interne ce qui pourrait permettre de dire que le contrôle moteur proactif pourrait être amélioré grâce à l'utilisation de ce type de protocole chez les enfants dysgraphiques (Puyjarinet, 2015).

C. Outils d'évaluations

L'utilisation de l'imagerie motrice pour améliorer les performances motrices des TDC ainsi qu'après de personnes dysgraphiques a été étudiée et montre son

efficacité au travers de diverses études explicitées ci-dessus. Mais comment évaluer les capacités d'imagerie motrice des sujets ? Peu d'outils existent à ce jour pour l'évaluer chez les enfants (Puyjarinet, 2015). Nous pouvons la mettre en évidence à l'aide de questionnaires ou bien à l'aide d'exercices de chronométrie mentale et de tests reprenant le principe de rotation mentale comme le TIMI-1. Nous allons donc maintenant décrire quelques outils d'évaluation spécifiques à l'IM.

1. Questionnaires

Il existe plusieurs questionnaires évaluant l'IM. Le plus populaire est le questionnaire de Hall (Hall and Pongrac, 1983; Hall and Martin, 1997), le Movement Imagery Questionnaire (MIQ). Le MIQ possède une version traduite et validée en français, le MIQ-R. La version révisée a une passation plus courte et des items jugés difficiles ont été supprimés. Il est constitué d'une échelle visuelle et d'une échelle kinesthésique comprenant chacune 9 items en 4 étapes :

- Description d'une position de départ
- Description d'une action à exécuter
- Réalisation de l'action
- Facilité ou difficulté (selon l'échelle) pour le sujet à visualiser, ressentir la réalisation de l'action.

Les actions à imaginer concernent les membres supérieurs, inférieurs, tout le corps, des sauts et enroulements. Il existe maintenant une troisième version de ce questionnaire, le MIQ-3 qui s'adresse aux enfants. Dans cette dernière version, les modalités kinesthésiques et visuelles interne et externes (Cf : figure 4) sont différenciées.

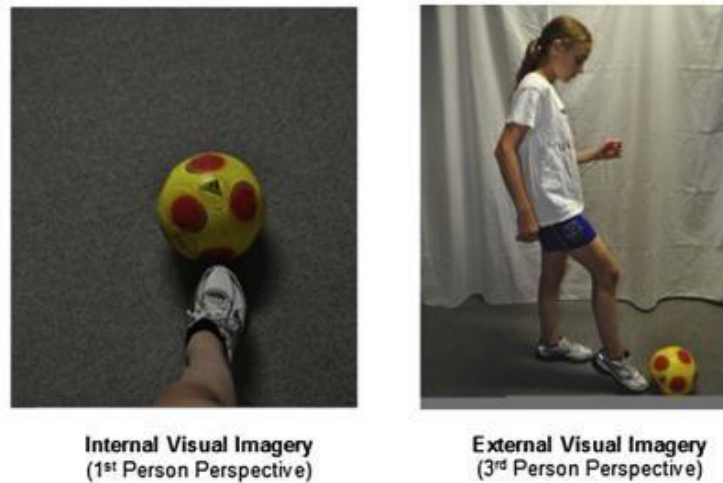


Figure 4: perspective visuelle interne et externe

Le questionnaire se compose donc de quatre mouvements répétés en douze items selon ces trois aspects. Le sujet doit réaliser le mouvement puis l'imaginer selon une de ces trois perspectives. Il doit ensuite répondre à une échelle de Likert. L'échelle de Likert est une échelle d'évaluation permettant d'exprimer son ressenti (ici la difficulté ou la facilité) de façon assez précise grâce à un nuancier de réponse (très difficile, difficile, plutôt difficile, ni facile ni difficile). Il doit alors dire si le mouvement est très difficile à s'imaginer, difficile, plutôt difficile, ni facile ni difficile, plutôt facile, facile ou très facile à s'imaginer (Cf : figure 5), (Martini et al., 2015).

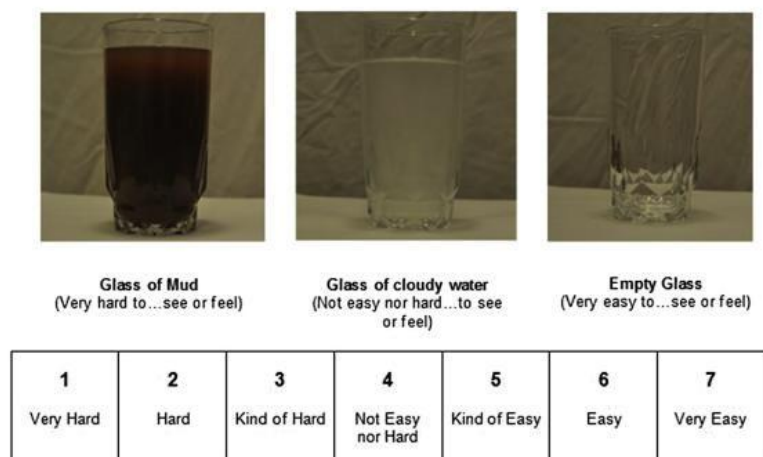


Figure 5: exemple d'item

2. Chronométrie mentale

Pour Guilbert et al.(2013), la chronométrie mentale « repose sur l'existence d'une invariance temporelle entre actions mentales et actions réelles. » Cela permet d'étudier le lien entre le temps mis par un sujet pour exécuter une action mentalement et le temps mis pour exécuter réellement cette même action. Ce principe fait appel à des capacités d'IM explicites (Guilbert et al., 2013) et montre que les actions imaginées et réellement exécutées ont les mêmes caractéristiques temporelles. Ce paradigme suit la loi de Fitts qui répond à une relation inverse entre la difficulté d'un mouvement et la vitesse avec laquelle il peut être réalisé. Lorsque la difficulté de la tâche augmente, la vitesse de réalisation diminue (Decety & Jeannerod, 1995). Cette loi est retrouvée dans les tâches de pointage (Cf : figure 6).

La chronométrie mentale est évaluée grâce à des tâches de pointage, c'est-à-dire des exercices où les sujets doivent réaliser un trajet allant d'un point (rouge sur la figure 6), à des cibles (carrés sur la figure 6), de taille et placées à une distance variable. Ce trajet est d'abord réalisé par simulation mentale puis exécuté réellement. Le temps mis pour simuler mentalement l'action et pour la réaliser sont alors comparés.

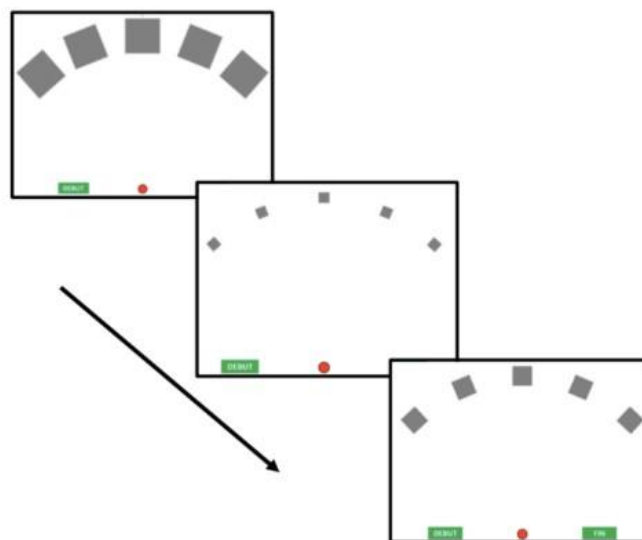


Figure 6: exemple de tâche de pointage

3. Rotation mentale

Comme évoqué précédemment, la rotation mentale est le paradigme le plus utilisé dans les mesures des capacités d'imagerie motrice.

Le TIMI-1 est un test français de mesure des capacités d'IM de façon implicite. Ce test consiste à utiliser ce principe de rotation mentale (capacité à pouvoir faire tourner un objet, une partie du corps mentalement), il se compose de 48 items.

Des mains sont présentées à l'enfant sur un écran d'ordinateur selon six angles différents (positions de mains différentes) : 0° (doigts vers le haut), 60°, 120°, 180° (doigts vers le bas), 240° ou 300°. Les mains sont également présentées de deux façons différentes : en vue palmaire ou en vue dorsale (Cf : figure 7).

L'administrateur muni d'une feuille de notation, d'un stylo, d'un chronomètre et d'une souris d'ordinateur (pour faire défiler les mains à l'écran) se place à droite de l'enfant, légèrement excentré afin de ne pas être dans son champ de vision. Les consignes sont données au sujet et sont également affichées à l'écran. Il est très important d'insister sur la fixité du regard sur l'écran et de ne pas mobiliser ses mains durant l'épreuve, excepté au moment de donner la réponse. L'examineur ne doit pas proposer de simuler mentalement la rotation de la main. L'enfant est assis en face de l'écran, il doit avoir ses mains sur ses genoux et ne doit pas les regarder. Il doit répondre sans les bouger, simplement en tournant mentalement la main présentée.

Lorsqu'une main apparaît à l'écran il doit dire s'il pense que c'est une main droite ou une main gauche en levant sa main droite s'il pense que c'est une main droite et inversement. L'enfant bénéficie de deux items d'entraînement qu'il doit réussir afin de pouvoir démarrer la passation. Il doit répondre le plus rapidement possible en essayant de ne pas se tromper. Le chronomètre est déclenché dès l'apparition du stimulus et arrêté dès lors que l'enfant donne sa réponse. La notation à chaque item est de 1 pour chaque réponse correcte et de 0 pour chaque réponse erronée. A la fin de l'épreuve, l'examineur calcule l'index de performance, c'est-à-dire, le temps moyen de réponse de l'enfant pour chaque item (Puyjarinet et al. 2020).

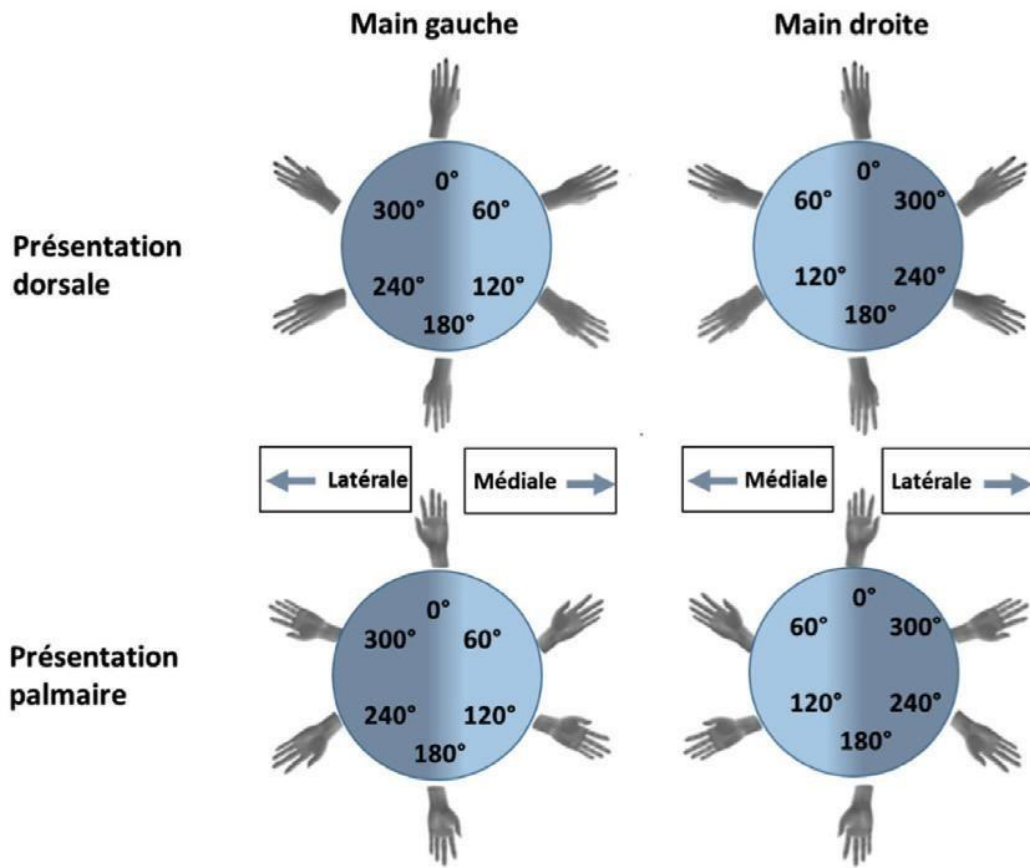


Figure 7: Présentation des stimuli

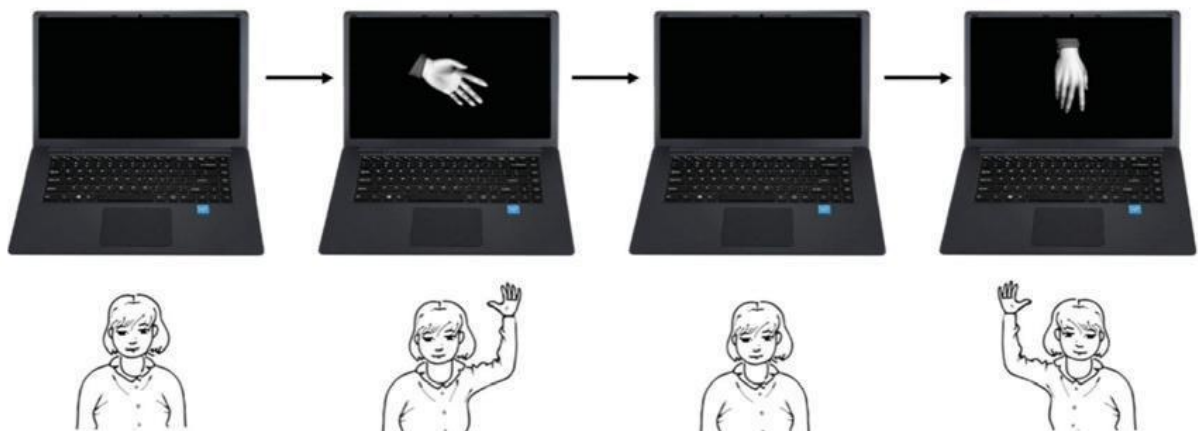


Figure 8: exemple des stimuli et de réponse donnés

Concernant la mesure de l'imagerie motrice chez les enfants, les outils sont donc encore peu nombreux et certaines choses, notamment à propos du TIMI-1 restent à améliorer en ce qui concerne la facilité de passation pour l'examineur ainsi qu'une étude de validation pathologique auprès de populations concernées par des déficits d'IM à l'instar des TDC. C'est ce que la création du TIMI-2 va essayer d'apporter. L'étude de validation pathologique n'ayant pu être possible cette année, nous nous sommes tournés vers une étude de validation de critère auprès d'enfants TDC afin d'établir des liens entre leur capacités d'IM évaluées par le TIMI-2 et de coordinations motrices.

D. Justification de la pertinence du mémoire

Afin d'être reconnu, un test doit d'abord être validé. Il existe plusieurs types de validité. La validité d'un point de vue psychométrique se réfère au fait que le test mesure ce qu'il est censé mesurer. Elle fait référence au degré pour lequel les scores d'un test puissent prédire un ou plusieurs critères externes à ce test (Demeuse et Henry, 2004). Il existe différents types de validité : la validité prédictive (ou critérielle) qui permet de corréler une performance à un critère externe ; la validité de contenu qui évalue la pertinence des items d'un test, la validité de construction (ou conceptuelle) ; ou encore la validité concourante (ou corrélationnelle) qui essaie d'expliquer un comportement.

Ce mémoire s'inscrit dans une étude de validité de critère. La validité prédictive ou validité de critère permet de prédire les résultats qu'un ou des sujets pourront obtenir à un autre test, instrument ou événement particulier. Dans le cas présent, nous avons essayé d'établir une prédiction entre les capacités en imagerie motrice et les coordinations motrices. L'objectif est ici de pouvoir valider le test du TIMI-2, car tous les outils d'évaluation ont besoin d'être validés. Le TIMI-1, lui, a déjà fait l'objet d'une étude de validité et de fidélité (le test mesure de manière fiable dans le temps, peu importe l'administrateur). Ce test a pu être étalonné au sein d'une population normotypique. Il n'a cependant pas pu bénéficier d'une validité pathologique, c'est-à-dire d'un étalonnage sur une population particulière.

C'est ce que nous avons fait ici, avec ce travail pour le TIMI-2 avec une population pathologique. Ce mémoire tente de répondre à la problématique qui a déjà été étudiée sur une population tout venant avec le TIMI-1, en essayant de voir si l'on retrouve des liens entre les deux domaines que sont les capacités de coordinations motrices et d'imagerie motrice sur une population pathologique, ici le TDC.

Ces liens ont déjà pu être mis en évidence au sein d'une population normotypique. Le TDC étant caractérisé par un déficit d'imagerie motrice ainsi que de coordinations motrices et que l'imagerie motrice est une facette de la motricité, on pourrait s'attendre à trouver des liens au sein de cette population entre coordinations motrices et capacités d'imagerie motrice. C'est donc tout cela que nous allons tenter de mettre en évidence dans la partie pratique qui va suivre.

Partie pratique

I. Présentation de l'étude

Cette étude se fait dans le but de mettre en lumière l'existence ou non de lien entre les performances de coordinations motrices et les capacités d'IM. Au total, nous sommes quatre étudiantes à participer à ce projet (2 de Toulouse et 2 de Marseille). Deux d'entre nous (une de Toulouse et une de Marseille), axent leur travail sur la possible existence de lien entre les capacités d'imagerie motrice au travers d'un questionnaire d'IM et les capacités de coordinations motrices évaluées avec le M-ABC2. Les deux autres se focalisent sur les liens éventuels entre les capacités d'imagerie motrice au travers d'un test d'imagerie motrice comprenant de la rotation mentale de mains et les capacités de coordinations motrices évaluées par le M-ABC2.

Chaque étudiante participant à ce projet à fait passer à la fois le questionnaire d'IM et le test d'IM (TIMI-2). Dans chaque mémoire, les résultats d'un seul test ne seront traités. Ceci a été fait dans le but d'agrandir l'échantillon de l'étude.

A. Population

1. Critères d'inclusion

Au total 32 enfants ont participé à cette étude de validité de critère et tous ont pu être pris en compte dans l'étude de liens éventuels entre les capacités d'imagerie motrice évaluées par le TIMI-2 et les capacités de coordinations motrices de ce mémoire. Les enfants ayant participé à cette étude répondaient à plusieurs critères bien précis. Nous avons décidé d'inclure tous les enfants ayant un Trouble Développementale de la Coordination diagnostiqué, âgés de 7 ans 0 mois à 13 ans 11mois. Le Trouble Développementale des Coordinations étant un trouble souvent associé à d'autres troubles, nous avons donc décidé d'inclure les enfants TDC et ayant possiblement un Trouble Déficit de l'Attention avec ou sans Hyperactivité (TDA/H), un Trouble Développementale du Langage Oral (TDLO) et/ou des Troubles Spécifiques du Langage Ecrit (TSLE).

2. Critères d'exclusion

De la même manière, des critères d'exclusion ont été définis afin de s'assurer de la bonne marche de l'étude et que les résultats obtenus ne puissent pas être mieux expliqués par d'autres caractéristiques. Ainsi, les enfants présentant un Trouble du Spectre Autistique, un déficit intellectuel, un trouble neurologique ou sensoriel sévère non corrigé ne pouvaient prétendre à intégrer l'échantillon. De la même manière, un enfant non coopérant ou retirant son consentement ne pouvait participer. Enfin, un enfant ayant des difficultés de compréhension concernant les tâches à réaliser ne pouvait pas non plus prétendre à intégrer l'échantillon.

B. Protocole

Pour réaliser cette étude de validité de critère, nous avons essayé d'établir des liens potentiels entre les capacités d'imagerie motrice et les capacités de coordinations motrices des enfants avec TDC pris dans notre échantillon. Pour cela, nous avons fait passer un questionnaire d'imagerie ainsi qu'un test d'imagerie motrice, le TIMI-2. Tous les enfants ont également passé le test de coordinations motrices, le M-ABC2. Pour la plupart des enfants, le test du M-ABC2 avait déjà été administré. Nous avons pris en compte les résultats datant de moins de 6 mois. Dans le cas contraire, si les résultats du M-ABC2 dataient de plus de 6 mois, sa passation a du être réitérée.

Chaque enfant a passé les tests de manière individuelle durant ses séances de prises en charge habituelles. Les tests d'IM et le questionnaire d'IM ont été passés l'un à la suite de l'autre. Personnellement, j'ai toujours commencé à faire passer le questionnaire d'imagerie puis le test d'imagerie motrice. Les deux tests sont administrés par l'adulte en étant assis autour d'un bureau.

Ce protocole s'inscrivant dans un projet plus global, ces deux tests ont été fait passé à chaque enfant, cependant, dans ce mémoire, ne sera développé que le TIMI-2 qui est un test d'imagerie motrice dans le but d'établir des liens avec les capacités de coordinations motrices des enfants de l'échantillon.

1. Test d'imagerie motrice : TIMI-2

Le TIMI-2 est un test d'imagerie motrice. Il est la deuxième version du TIMI-1, détaillé dans la partie théorique au sein de la section outils d'évaluation. Le TIMI-2 comporte également 48 items. Ces items sont des mains présentées à l'enfant selon différents angles de vues et d'un point de vue dorsal ou palmaire, de la même manière que pour le TIMI-1 (Cf : figure 9).

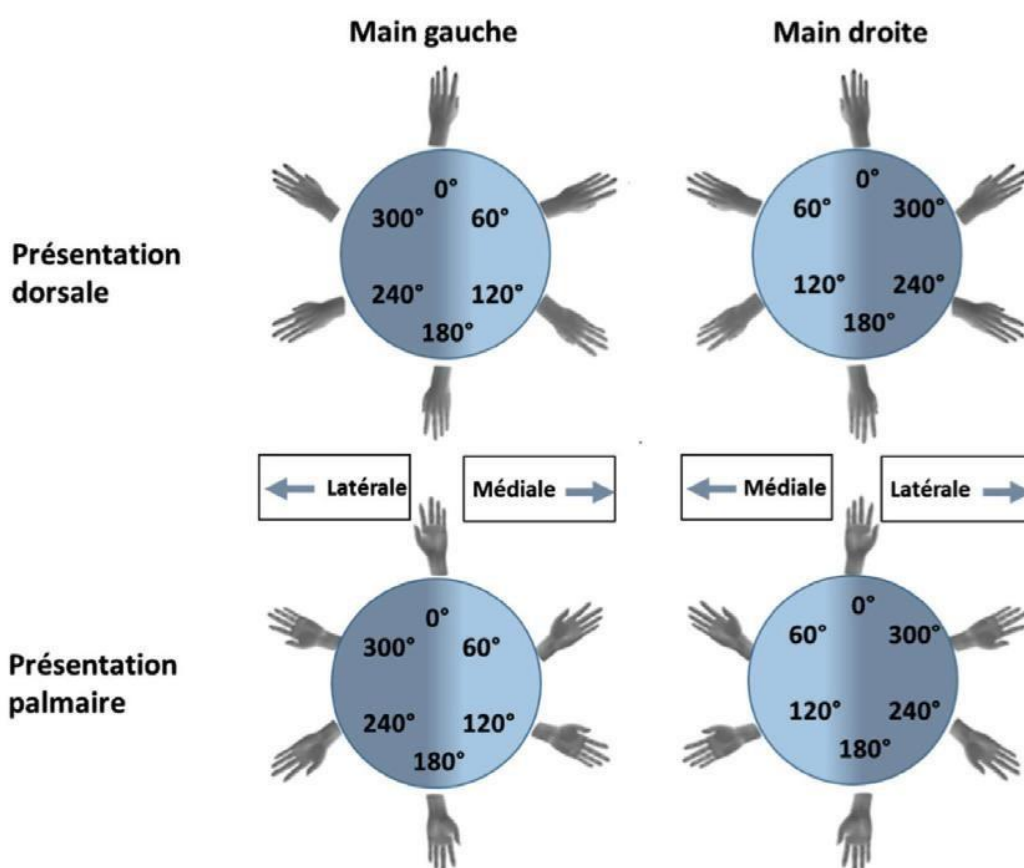


Figure 9: différentes positions des mains durant la passation du TIMI-2

Pour cette deuxième version, ce test se présente sous format informatique. Les items sont présentés sur ordinateur tactile, tablette ou smartphone. Avant le début du test, les données concernant l'enfant doivent être remplies : âge, sexe, latéralité, catégorie socioprofessionnelle des parents. Les consignes apparaissent à l'écran, elles sont lues à l'enfant par l'administrateur du test :

« Tu vas voir apparaître à l'écran une main Tu vas devoir indiquer si, pour toi, il s'agit de la main gauche ou de la main droite. Pour répondre, tu devras appuyer sur la flèche à l'écran qui correspond à ton choix : « Main gauche », ou « Main droite » »

« Attention : Tu dois simplement répondre avec ton index, sans regarder tes mains. Tes yeux ne doivent regarder que l'écran. Tu ne dois pas faire autre chose que toucher l'écran avec ton doigt pour répondre (ne pas lever les mains, les avantbras, etc.). L'index de la main droite doit être placé au-dessus de la flèche droite tout au long du test, et l'index de la main gauche doit être placé au-dessus de la flèche gauche tout au long du test. Essaie d'aller le plus vite possible, tout en essayant de ne pas te tromper ! On va s'entraîner un peu avant de commencer »

Durant toute la passation, des mains vont donc être présentées à l'enfant. A chaque fois, il ne peut apparaître à l'écran qu'une seule main. L'enfant doit indiquer s'il pense que la main qu'il voit à l'écran est une main gauche ou une main droite. Pour ce faire, il y a sur l'écran une flèche à gauche de la main présentée, pointant vers la gauche et une flèche à droite, pointant vers la droite (Cf : figure 10). L'enfant doit donc appuyer sur la flèche gauche s'il pense que la main qui lui est présentée est une main gauche et inversement.



Figure 10: présentation de la configuration du TIMI-2

Lors de la passation du test, l'enfant n'a le droit de regarder que l'écran. Il ne doit pas regarder et tourner ses mains pour arriver à la position qui lui est présentée.

L'enfant doit faire tourner mentalement la main pour connaître sa latéralité. Pendant toute la durée de la passation, l'index de la main gauche doit être placé au-dessus de la flèche gauche (sans toucher l'écran) et l'index de la main droite doit être placé au-dessus de la flèche droite de la même façon (Cf : figure 11 et 12). Il appuie donc sur l'une des deux flèches lorsqu'il veut donner la bonne réponse.

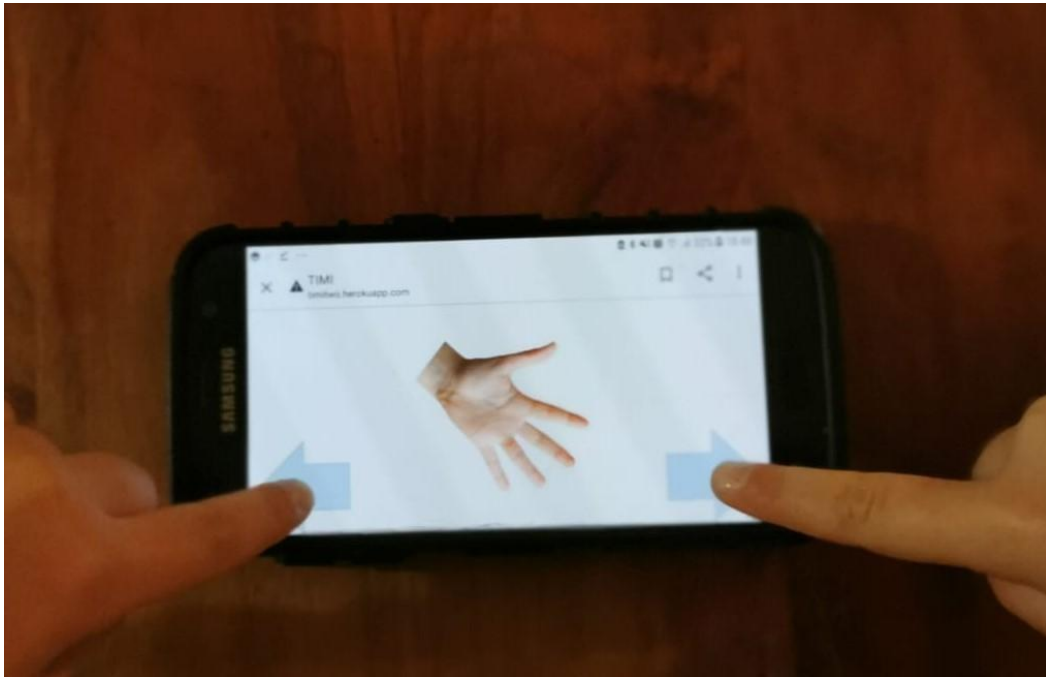


Figure 11: positionnement des mains lors de la passation

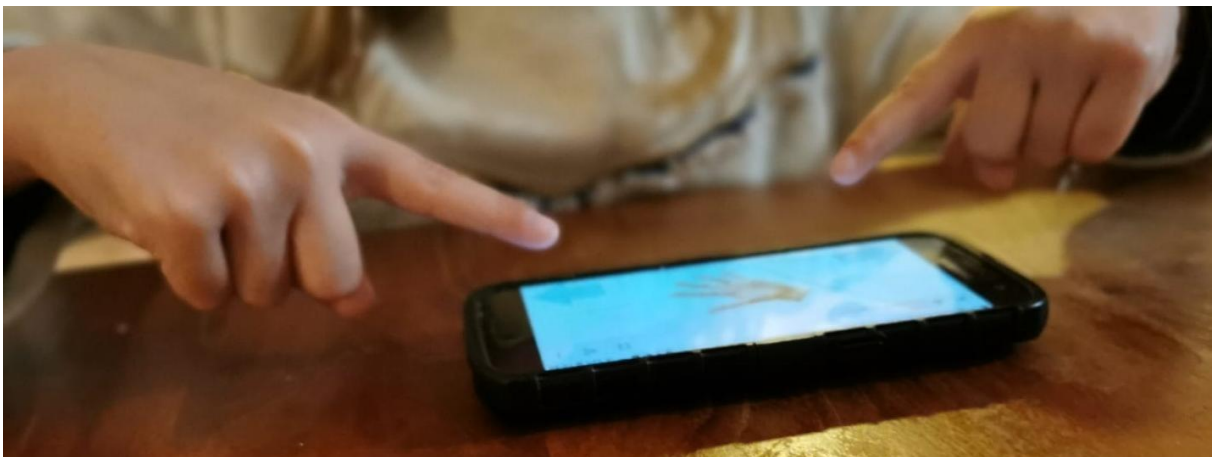


Figure 12: positionnement des mains lors de la passation

Une phase d'entraînement composée de 2 essais est proposée à l'enfant. Si l'enfant n'a pas bien compris, la phase d'entraînement peut être répétée. Avant de commencer, il est précisé à l'enfant qu'il doit essayer d'aller le plus vite possible, tout en essayant

de ne pas se tromper. L'appareil sur lequel l'enfant réalise le test, chronomètre automatiquement chaque réponse dès l'apparition de la main à l'écran. Une fois que l'enfant a répondu aux 48 items, nous arrivons à la page des résultats

(Cf : figure 13). L'administrateur doit sélectionner les onglets en haut de la page et enregistrer chaque tableau auquel renvoie chaque onglet afin de conserver les résultats sur son ordinateur car une fois la page quittée, les résultats disparaissent. Nous pouvons alors voir les résultats détaillés : total de bonnes réponses, temps total, temps moyen de réponse, l'index de performance (temps de réponse moyen divisé par le nombre de bonnes réponses) et la performance globale (somme des scores). Afin de réaliser les analyses statistiques, ce sont le score total (max 48), le temps moyen de réponse (en secondes), l'index de performance et la performance globale qui ont été utilisés.

CSV JSON tableau consistance score tableau consistance temps de réponse tableau Variables Droite Gauche Palmaire Dorsal Haut Bas

code patient
âge
sexe
latéralisation
CSP 1
CSP 2
UserAgent Mozilla/5.0 (Windows NT 10.0; Win64; x64; rv:88.0) Gecko/20100101 Firefox/88.0
total de bonne réponses 47
temps total 80.87 sec
temps moyen de réponse 1.68 sec
index de performance (temps de réponse moyen / nombre de bonnes réponses) 0.0357
Performance Global (somme des scores) 174
1 2.23 sec gauche true 3
2 2.19 sec gauche true 3
3 1.66 sec droite true 4
4 2.9 sec gauche true 3
5 1.46 sec droite true 4
6 1.82 sec gauche true 4
7 1.35 sec droite true 4
8 2.14 sec gauche true 3
9 1.14 sec droite true 4
10 1.22 sec droite true 4
11 3.47 sec gauche true 2
12 1.75 sec droite true 4
13 1.29 sec gauche true 4
14 1.24 sec droite true 4
15 1.87 sec droite true 4
16 2.47 sec gauche true 3

Figure 13: exemple de résultats au TIMI-2

La notation des items se fait de façon binaire : 1 si la réponse est correcte ou 0 si la réponse est incorrecte quelque soit l'angle d'orientation de la main présentée à l'enfant.

2. Tests complémentaires

Des tests complémentaires ont également été passés par les enfants afin d'évaluer leurs capacités de coordinations motrices, praxiques, de planification ainsi que leur latéralité.

La latéralité de chaque enfant a été évaluée avec le test de dominance manuelle qui est le Test d'Edimbourg (Olifield, Harris, Rigal, 1996) qui consiste à poser une série de question pour savoir quelle main est utilisée pour effectuer un certains nombres d'actions comme par exemple lancer une balle, écrire, se brosser les dents (cf : cahier d'observation ci-après). L'administrateur pose les questions et note quelle main est utilisée pour chaque question et fait le total des points. Ce total de points permet d'identifier la latéralité dominante de l'enfant : si le score se situe entre -20 et -14 l'enfant est latéralisé à gauche ; entre -13 et +13 l'enfant est ambilatéralisé et entre +14 et +20 l'enfant est latéralisé à droite.

Les capacités de planification sont évaluées au travers du test de la Tour de Londres (Shallice, 1982). Ces capacités sont à rapprocher de la capacité à pouvoir planifier un mouvement. Dans ce test, l'enfant doit déplacer des boules positionnées sur des tiges de tailles différentes pour aller d'une position de départ (toujours la même) à une position d'arrivée (qui change à chaque fois) en un nombre de déplacements déterminé. Ce test comprend 12 items (12 positions d'arrivée à reproduire). Les boules sont sur des tiges de tailles différentes, la plus petite ne pouvant accueillir qu'une seule boule, la seconde deux et la troisième trois au maximum. Cette épreuve est chronométrée, l'enfant possède 3 essais pour arriver à la solution. Un item réussi du premier coup rapporte 3 points, au deuxième essai cela rapporte 2 points et au troisième essai 1 point. Si l'item reste échoué après le troisième essai, l'enfant ne gagne pas de point. Ce test propose deux notations différentes : une notation A

(Anderson) pour la vitesse de réalisation des items et une notation K (Krikorian) relative au nombre d'essais effectués pour arriver à la solution.

Les capacités praxiques ont été évaluées avec le subtest d'imitation de Positions de mains de la NEPSY II (Korkman, Kirk & Kemp, 2003). Ce test a été choisi pour sa rapidité de passation et car il permet de voir les capacités praxiques au niveau manuel, le TIMI-2 ne faisant intervenir que la représentation mentale des mains. L'imitation de position des mains consiste donc pour l'administrateur à présenter des positions avec ses mains que l'enfant doit reproduire dans un laps de temps de 20 secondes. L'enfant reproduit d'abord les gestes avec sa main dominante puis les mêmes gestes avec la main non dominante. Chaque item est noté 1, si réussi et 0, si échoué.

Les capacités de coordinations motrices sont évaluées au travers du M-ABC2 (Hendersen, S., Sugden, D., & Barnett, 2007). Ce test évalue la motricité fine avec des items de dextérité manuelle, de motricité globale avec des items de viser/attraper et d'équilibre (statique et dynamique). Les enfants ayant un score total inférieur ou égal au rang percentile correspondant au critère diagnostique A du TDC dans le DSM-5 pouvaient être intégrés à l'échantillon, si les 3 autres critères étaient également satisfaits.

L'ensemble des résultats à tous ces tests, dont le TIMI-2 ont été reportés dans un cahier d'observation (voir ci-après). Dans ce cahier d'observation figurent également les informations personnelles concernant le patient, ses antécédents et ses suivis ainsi que les critères d'inclusion et les critères d'exclusion. Ce sont toutes les informations recueillies dans ce document qui ont servies aux traitements statistiques, que nous allons détailler dans la partie suivante.

Cahier d'observation:

SYNTHÈSE DES TACHES DU PROTOCOLE

Tâches	Validation
---------------	-------------------

Fiche d'information	
Vérification des critères d'inclusion et d'exclusion	
Questionnaire de latéralité	
Tour de Londres	
NEPSY II -imitation position des mains	
M-ABC 2	
TIMI-2	
Questionnaire d'imagerie	

A. Fiche d'information : données personnelles/socio-professionnelles des parents

Date de naissance de l'enfant: / __ / __ // __ / __ // __ / __ / __ / __ /

Âge : / _____ /

Sexe : F M

Profession du parent 1 :.....

Profession du parent 2 :.....

B. Antécédent et suivi en cours

L'enfant :

- Est ou a été suivi en orthophonie ? * Oui Non

Si oui quand ? Motifs (ex. : TSLE, TDLO, etc ...).....

- A-t-il déjà redoublé ? * Oui Non
 Si oui quelle classe ?

.....

- Présente-t-il un ou des problèmes de vue ? * Oui Non
 Si oui le(s)quels et porte-t-il une correction ?

.....

* Rayez la mention inutile

C. Critères d'inclusion à l'étude

Agé de 7 ans 0 mois à 13 ans 11 mois	Oui	Non
Capable de comprendre la nature et le but des tâches proposées	Oui	Non
Les parents doivent avoir signé le consentement éclairé	Oui	Non
Être diagnostiqué avec un Trouble Développementale de la Coordination selon les critères du DSM-5		
M-ABC 2 inférieur ou égal au 16 ème percentile en Note globale	Oui	Non
Ne pas présenter de trouble sensoriel non corrigé (exemple : trouble visuel)	Oui	Non

D. Critères d'exclusion à l'étude

Être porteur d'un Trouble du Spectre Autistique, présenter un déficit intellectuel, ou un trouble neurologique ou sensoriel non corrigé	Oui	Non
Non coopérant ou retirant son consentement	Oui	Non
Difficulté de compréhension des tâches à réaliser	Oui	Non
Présence de trouble sensoriel sévère ou non corrigé	Oui	Non

Début du protocole d'évaluation

E. Test de dominance manuel, Test d'Edimbourg (*Oldfield, Harris, Rigal, 1996*)

Vous devez indiquer quelle main vous utilisez pour accomplir chaque action et, pour plus de précision, vous cochez la case :

- +2 : si vous utilisez toujours la main droite et jamais la main gauche, à moins d'y être forcé(e) ;
- +1 : si vous utilisez le plus souvent la main droite ;
- 0 : si vous utilisez indifféremment l'une ou l'autre main ;
- 1 : si vous utilisez le plus souvent la main gauche ;
- 2 : si vous utilisez toujours la main gauche et jamais la main droite, à moins d'y être forcé(e).

QUELLE MAIN UTILISEZ - VOUS POUR :		TOUJOURS LA GAUCHE -2	SOUVENT LA GAUCHE -1	SANS PREFERENCE 0	SOUVENT LA DROITE +1	TOUJOURS LA DROITE +2
1- lancer une balle ?		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2- vous brosser les dents ?		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3- couper avec des ciseaux ?		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4- tenir un marteau ?		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5- vous peigner ?		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6- tenir un couteau ?		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7- tenir une allumette pour l'allumer ?		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8- tenir une raquette ?		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9- tenir un rasoir ou un tube de rouge à lèvres ?*		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10- tenir une cuillère ?		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
TOTAL**		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
ACTIONS COMPLÉMENTAIRES						
11- écrire ?		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
12- dessiner ?		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
13- tâter un tissu ?		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
14- vérifier la température de l'eau ?		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
15- vérifier la rugosité d'une surface ?		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

* Pour des enfants, remplacer par :
- tenir le gant de toilette ou la débarbouillette pour laver la figure ?

** Résultats : total entre -20 et -14 : gaucher
total entre -13 et +13 : ambimane
total entre +14 et +20 : droitier

F. Résultats du patient à la Tour de Londres : (étalonnage Krikorian, Baertok & Gay, 1994)

	Score brut	Déviati on standard
TOTAL		

G. NEPSY II : Imitation de position des mains⁷

	Main dominante	Main non dominante
Score brut		
Rand percentile		

H. Résultats du patient au M-ABC 2 : (avec passation au cours des 6 derniers mois obligatoire)

	Note standard	Percentile
Dextérité manuelle		
Viser et attrapper		
Equilibre		
TOTAL		

I. Résultats du patient au questionnaire d'imagerie motrice (*traités dans un autre mémoire*)

	Score
Sous-échelle kinesthésique	
Sous-échelle position	
Sous-échelle action	
Sous-échelle objet	
SCORE TOTAL	

J. Résultats du patient au TIMI 2

	Score
Score total (max. : 48)	
Temps moyen de réponse (en secondes)	
Index de performance	
Performance globale (Score barème)	

II. Résultats

A. Statistiques descriptives

L'ensemble des procédures statistiques descriptives et inférentielles a été effectué à l'aide des logiciels JASP, et R. Le seuil de significativité a été fixé à $\alpha < .05$.

Au total, 32 enfants (10 filles, 29 sujets droitiers) porteurs d'un TDC ont été inclus dans l'étude. Le diagnostic a été établi selon les critères du DSM-5 par une équipe pluridisciplinaire compétente. Les données descriptives concernant l'âge et les performances globales au M-ABC 2 apparaissent dans le Tableau 1.

Tableau 1. Données descriptives concernant l'âge et le Score Total au M-ABC 2 des 32 enfants TDC inclus dans l'échantillon.

	Age	Score Total au M-ABC 2 (centiles)
Moyenne	8,96	3,96
Médiane	8,90	2,00
Erreur standard	0,29	0,69
Ecart-type	1,67	3,94
Minimum	7,00	0,10
Maximum	13,80	16,00

Le choix des variables d'intérêt s'est porté sur 1) l'index de performance obtenu au TIMI-2, et 2) les scores bruts (en secondes) obtenus par les participants au tout premier subtest du M-ABC 2 (l'épreuve « Chevilles », main dominante uniquement). Le choix de l'index de performance au TIMI-2 se justifie par le fait que cette mesure est considérée comme la plus sensible dans le contexte des tâches de jugement de latéralité manuelle et de l'imagerie motrice (Barhoun et al., 2019) et doit donc être considérée comme le reflet le plus fidèle des capacités d'imagerie motrice.

L'index de performance résulte du temps moyen de réponse sur l'ensemble de l'épreuve divisé par le score total (max. : 48).

Plus globalement, le choix de ces deux variables repose sur les travaux effectués dans le cadre de l'étalonnage du TIMI-1 (Puyjarinet, Soppelsa, & Connan, 2020), qui avaient montré des liens très étroits entre l'index de performance au TIMI1 et les performances brutes au 1^{er} subtest du M-ABC 2.

Les données descriptives concernant les deux variables d'intérêt apparaissent dans le Tableau 2.

Tableau 2. *Données descriptives des deux variables d'intérêt.*

	Scores bruts subtest « Chevilles » du M-ABC 2 (en secondes)	Index de performance au TIMI-2
Moyenne	31,18	0,15
Médiane	29,00	0,14
Erreur standard	1,30	0,01
Ecart-type	7,39	0,06
Minimum	22,00	0,06
Maximum	56,00	0,34

Concernant les comorbidités, il ressort que 31 % des enfants de l'échantillon présentent un TDA/H associé au TDC (n = 10), 18 % ont un TSLE associée (n = 6), et 12 % ont un Trouble Développementale du Langage Oral (n = 4). Un enfant présente à la fois un TDC, un TDA/H et un TSLE.

B. Statistiques inférentielles

1. Normalité des variables

Des tests de normalités (tests de Shapiro-Wilk) ont été utilisés pour vérifier si les données suivaient une loi normale ou non. Les résultats indiquent que la variable Scores bruts du subtest « Chevilles » du M-ABC 2 ne suit pas une loi normale ($P < .001$). En conséquence, une transformation non-linéaire est appliquée sur cette variable (transformation logarithmique de base 10). Cette procédure est classique et permet de normaliser des données de façon à pouvoir utiliser des tests paramétriques (moins conservateurs, donc plus puissants dans leur capacité à détecter des différences significatives que les tests non paramétriques) dans les analyses statistiques ultérieures. Après transformation logarithmique, le test de Shapiro-Wilk n'est effectivement plus significatif ($P > .05$). Concernant l'index de performance au TIMI-2, les résultats montrent là-aussi que la distribution des données ne suit pas une loi normale ($P < .05$). Une transformation non-linéaire (racine carrée) est ici pratiquée de façon à normaliser les données (Shapiro-Wilk : $P > .05$).

2. Effet de l'âge, du sexe, et de la latéralité sur les variables d'intérêt

Des analyses de variance (ANOVA) ont été pratiquées pour vérifier si les facteurs Age, Sexe et Latéralité influençaient les scores bruts au M-ABC 2 et l'index de performance au TIMI-2.

Les résultats montrent que ni le facteur Age [Scores bruts au M-ABC 2 : $F_{(4,28)} = 1,54$; $P = .22$; Index de performance au TIMI-2 : $F_{(4,28)} = 2,72$; $P = .06$], ni le facteur Sexe [Scores bruts au M-ABC 2 : $F_{(4,28)} = 0,34$; $P = .56$; Index de performance au TIMI-2 : $F_{(4,28)} = 0,23$; $P = .62$] n'expliquent les résultats obtenus sur les deux variables d'intérêt.

Le facteur Latéralité n'a pas d'influence sur les performances de dextérité manuelle au M-ABC 2 [Scores bruts au M-ABC 2 : $F_{(1,29)} = 0,23$; $P = .62$], mais tend à influencer les résultats au TIMI-2, sans dépasser le seuil de significativité toutefois [Index de performance au TIMI-2 : $F_{(1,29)} = 4,19$; $P = .05$]. Les analyses ultérieures

regroupent donc tous les enfants de l'échantillon sans distinction d'âge, de sexe, ou de latéralité.

3. Liens entre les performances au TIMI-2 et résultats au 1^{er} subtest « Chevilles » du M-ABC 2

Pour vérifier si des liens existent entre les performances au TIMI-2 et les résultats au 1^{er} subtest « Chevilles » du M-ABC 2, des tests de corrélation (r de Pearson) ont été utilisés sur les deux variables après transformations non-linéaires. Les tests de corrélation mettent en lumière un lien très significatif entre les deux variables ($r = .48$, $P < .01$, Figure 12).

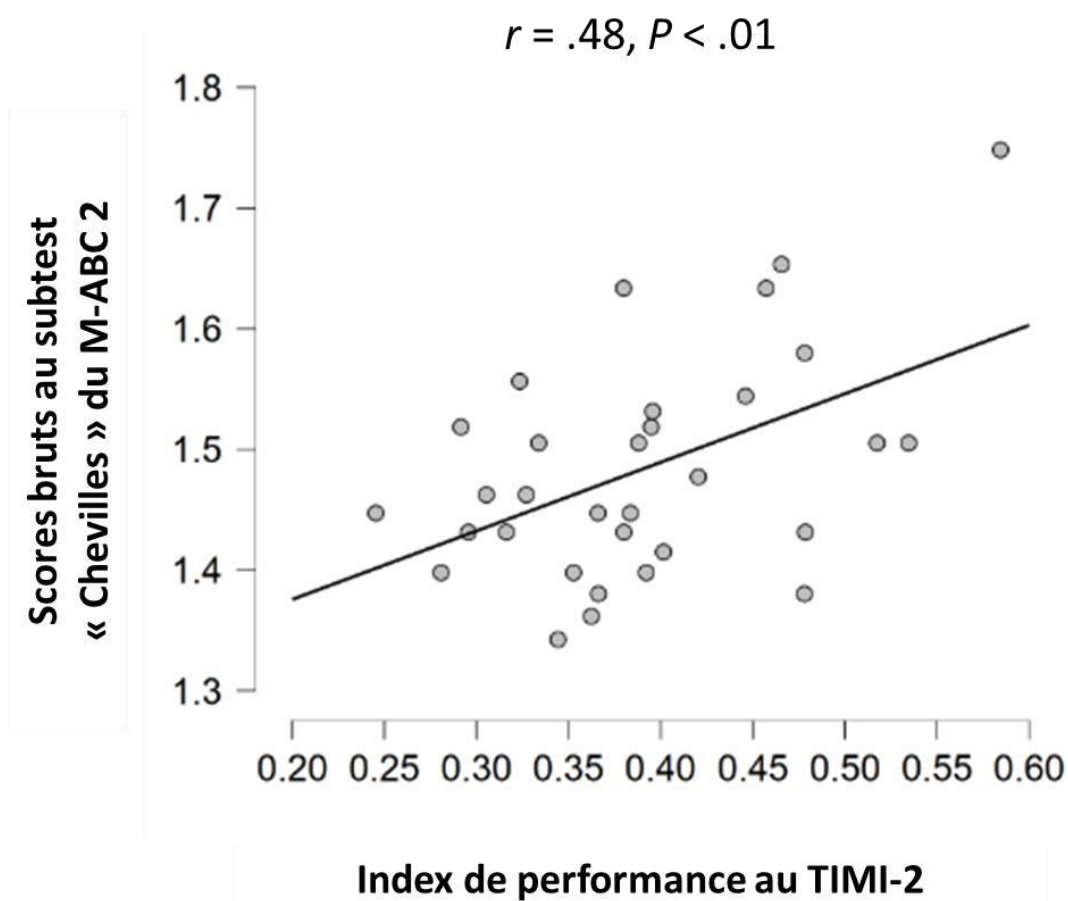


Figure 14. Nuage de points montrant la corrélation entre les scores bruts au 1^{er} subtest du M-ABC 2 et l'index de performance au TIMI-2.

NB : les scores bruts au M-ABC et au TIMI-2 apparaissent après transformations non-linéaires.

Des tests de corrélation complémentaires effectués sur le Score Total au MABC 2 et sur chacun des autres sous-domaines (« Viser et attraper » et « Equilibre ») ne montrent aucun lien significatif entre l'index de performance au TIMI-2 et les mesures du M-ABC 2 (tous les $P > .47$).

Aucune corrélation n'est retrouvée non plus entre les performances au TIMI-2 et les capacités de planification (Tour de Londres : $P > .05$). En revanche, une forte corrélation est observée entre le l'index de performance au TIMI-2 et la moyenne des scores pour la main dominante et non dominante au subtest Imitation de Position des Mains de la NEPSY II ($r = -.80$; $P < .001$), ce qui indique clairement le lien entre les capacités d'imitation gestuelle et les capacités d'imagerie motrice.

Enfin, des tests de corrélation complémentaires ont été effectués en excluant respectivement des analyses les enfants avec comorbidités (TDA/H, TSLE ou TDLO). Les résultats des tests de corrélation montrent que les effets significatifs sont toujours observés ($Ps < .05$), avec une force de corrélation qui est même augmentée lorsque les enfants avec TDLO sont exclus ($r = .51$, $P = .01$). L'ensemble de ces résultats converge vers le fait que ni le TDA/H, ni le TSLE, ni les TDLO n'expliquent les liens étroits qui sont mis en évidence entre coordinations manuelles (scores bruts au 1^{er} subtest du M-ABC 2) et capacités d'imagerie motrice (index de performance au TIMI-2).

III. Discussion et limites

1. Discussion

Cette étude de validité de critère a été réalisée dans le but de tester l'existence des liens éventuels entre les capacités d'imagerie motrice et de coordinations motrices des sujets TDC. Le test de tels liens dans la population TDC est une première à notre connaissance. Pour ce faire, un tout nouveau test d'imagerie motrice, le TIMI-2 a été utilisé, ainsi qu'un test évaluant les capacités de coordinations motrices, le M-ABC2.

Dans un premier temps, nous savons que les liens entre IM et coordinations motrices ont été retrouvés en population générale lors de l'étalonnage du TIMI-1 (Puyjarinet, Soppelsa & Connan, 2020). Dans cette étude, ces mêmes liens sont retrouvés au sein d'une population pathologique qu'est le TDC. En effet, les tests de corrélations mettent en avant un lien très significatif entre les deux variables étudiées, ce qui permet de valider l'hypothèse de départ proposant l'existence de liens entre les capacités d'imagerie motrice et de coordinations motrices chez les enfants TDC. Nous pouvons voir sur la figure représentant un nuage de points, que plus les scores bruts au M-ABC2 sont élevés (un score en secondes élevé, donc une faible performance), plus l'index de performance au TIMI-2 est élevé (donc une faible performance). Il s'agit là d'un résultat montrant que les capacités d'imagerie motrice sont positivement corrélées au temps de réalisation d'une tâche de dextérité manuelle (digitale) chez les sujets TDC. Les sujets ayant un temps de réalisation long lors du 1^{er} subtest du M-ABC2 ont également un index de performance élevé au TIMI-2, donc un temps de performance plus long dans les réponses au TIMI-2. Ces résultats sont cohérents avec les éléments amenés par Barhoun et al. (2019), montrant que pour les tâches de rotation mentale, les enfants présentant un TDC ont un temps de performance plus long et sont moins précis, et vont dans le sens de l'hypothèse d'un déficit de modélisation interne chez les enfants TDC (Barhoun et al., 2019). Ces liens sont donc très importants et permettent de dire que l'IM est reliée aux coordinations motrices. Nous pouvons alors penser que les difficultés que présentent les TDC au niveau des coordinations motrices peuvent être sous-tendues par les difficultés retrouvées en IM. Afin d'être encore plus précis dans la description de ces liens, une étude ultérieure pourrait se faire portant sur la sévérité du TDC avec trois groupes de TDC, un groupe TDC léger, un groupe TDC modéré et un groupe TDC

sévère, afin d'observer la force de corrélation des liens que nous avons pu mettre en avant.

Dans un second temps, une variable d'intérêt au sein de chacun de ces deux tests a été choisie et étudiée afin d'essayer de répondre à la problématique. Il s'agit de l'index de performance pour le TIMI-2 et des scores bruts (en secondes) au 1^{er} subtest « Chevilles » (main dominante) du M-ABC2. Ces variables ont donc été mises par la suite en relation. Ces variables ont été choisies car elles avaient déjà fait l'objet d'une étude dans le cadre de l'étalonnage du TIMI-1 (Puyjarinet, Soppelsa & Connan, 2020) et avaient permis de montrer des liens très étroits entre l'index de performance au TIMI-1 et les performances brutes au 1^{er} subtest du M-ABC2. En effet, ce subtest a déjà été utilisé au sein d'autres études dans le but d'établir un lien entre les capacités d'imagerie motrice et de dextérité manuelle (Smits-Engelsman & Wilson, 2013 ; in Puyjarinet, Soppelsa & Connan, 2020). Au niveau du TIMI-2, le score de la performance globale tient compte du temps et donne des bonifications si l'enfant va plus vite et qu'il répond juste. Cet indice n'a pas été pris en compte pour le moment au sein de cette étude mais il serait peut-être intéressant de l'intégrer ultérieurement afin de vérifier s'il pourrait permettre d'affiner les résultats.

D'autres tests de corrélation ont été effectués concernant les capacités d'imagerie motrice (index de performance au TIMI-2) et les coordinations motrices mises en évidence avec les autres sous-domaines du M-ABC2 (Viser/attraper et Equilibre). Les résultats ne montrent aucun lien significatif. Cela signifie que les capacités d'imagerie motrice évaluées par le TIMI-2, donc par un principe de rotation mentale de mains, ne peuvent prédire autre chose que les capacités de coordination motrices en dextérité manuelle digitale. Le fait de devoir faire bouger mentalement une certaine partie de son corps de façon à la positionner de la même manière que sur le modèle observé, permettrait d'avoir des renseignements sur les compétences motrices du sujet ne faisant intervenir que cette partie de son corps. Ces résultats vont dans le sens de ceux amenés par l'étalonnage du TIMI-1 (Puyjarinet, Soppelsa & Connan, 2020). Le choix de l'outil d'évaluation de l'IM serait alors très important dans les liens que l'on

voudrait voir apparaître. De la même façon on peut alors se poser la question : le questionnaire d'imagerie motrice (faisant imaginer différentes parties du corps) expliqué dans un autre mémoire, peut-il mettre en avant des liens avec la motricité globale des sujets TDC ?

Concernant les tests complémentaires, aucun lien n'a été retrouvé entre les performances au TIMI-2 et les capacités de planification ce qui peut paraître étonnant compte tenu du fait que les enfants TDC ont un déficit de modélisation interne. La modélisation interne comprenant la planification du mouvement (Adams et coll., 2014, 2016 ; in Expertise collective INSERM sur le TDC 2019, chap.8, p.261), on aurait pu s'attendre à ce que ces résultats soient en lien. En revanche, des liens ont été mis en évidence entre l'index de performance au TIMI-2 et les capacités d'imitation de position de main évaluées par le subtest de la NEPSY II. En effet, l'imitation repose sur les mêmes substrats neuro-anatomiques retrouvés dans l'imagination du mouvement et l'imagerie motrice. Ce sont les neurones miroirs qui sont impliqués dans ces deux composantes, ce qui va dans le sens de ce qu'ont mis en avant Rizzolatti et Craighero (2004) concernant l'imitation.

Concernant le facteur âge, aucune influence n'est retrouvée sur les variables d'intérêt, pourtant, nous aurions pu nous attendre à ce que les enfants les plus jeunes de l'échantillon aient des capacités moindres en imagerie motrice que les plus âgés du fait de la composante développementale de la mise en place des capacités d'imagerie motrice mise en avant par Guilbert et al. (2013). En effet, ces auteurs affirment que l'imagerie motrice est un processus qui évolue jusqu'à l'adolescence. L'influence de l'âge aurait pu être retrouvée au sein d'une population normo-typique avec des processus développementaux classiques. Or, ici, la population étudiée est pathologique, c'est pourquoi l'influence de l'âge n'entre pas en compte. Par contre, les différences de résultats pourraient être mieux expliquées par la sévérité du TDC. Un enfant de 10 ans avec un TDC sévère aura certainement des résultats plus déficitaires qu'un enfant de 7 ans avec un TDC modéré.

En ce qui concerne le facteur sexe, il n'y a aucune différence entre les performances des filles et des garçons de l'échantillon permettant de dire que le sexe de l'enfant pourrait influencer les variables d'intérêt. Ces résultats ne sont pas forcément cohérents avec ceux de Parsons et al. (2004) où les filles montrent des résultats en imagerie mentale (en utilisant la rotation mentale) plus chutés que ceux des garçons. Cette différence ne fait pas consensus. Des résultats différents sont retrouvés selon les études, les tests utilisés et les auteurs. Or, l'IM et l'imagerie mentale sont deux choses différentes. Il se pourrait alors, au vue de nos résultats, que lors de l'utilisation de l'IM avec un principe de rotation mentale comme dans le TIMI-2, les filles soient aussi performantes que les garçons. Il en est de même pour le facteur latéralité, aucune influence n'est retrouvée. Ces résultats sont en accord avec ceux retrouvés par Barhoun et al. (2019).

Des tests de corrélations complémentaires ont également été effectués concernant les comorbidités en excluant les enfants avec comorbidités (TDA/H, TSLE ou TDLO) afin de connaître l'influence de chaque pathologie sur les résultats. Les résultats restent toujours aussi significatifs, avec une force de corrélation qui est même augmentée lorsque les enfants avec TDLO sont exclus. Cela montre donc que ni le TDA/H, ni le TSLE, ni le TDLO n'expliquent les liens étroits qui sont retrouvés entre les capacités d'imagerie motrice et les coordinations motrices (dextérité digitale). On peut donc penser que le TDC est bien l'élément central de l'établissement de ces liens.

L'ensemble de ces résultats est donc très prometteur pour la suite et va permettre, une fois le TIMI-2 étalonné, de l'intégrer complètement à la prise en charge psychomotrice afin de cibler au mieux les difficultés de l'enfant et de proposer une prise en charge adaptée. En effet, le TIMI-2 est un outil intéressant car il va permettre d'affiner la recherche des points forts et des points faibles de l'enfant lors de passation de tests complémentaires au bilan. Il pourrait même devenir un test en soutien des tests de dépistage du TDC car il est désormais connu que les enfants TDC ont un déficit de modélisation interne qui leur confère des difficultés en imagerie motrice

(Barhoun et al., 2019). Ces difficultés sont plus importantes chez les TDC qu'auprès d'enfants normo-typiques (Expertise collective INSERM, 2019). En ce sens, des résultats déficitaires au TIMI-2 pourraient permettre d'axer la prise en charge rééducative sur la planification interne du mouvement, le séquençage de l'action et la prédiction des conséquences que peut avoir une action notamment par l'utilisation de l'imagerie motrice.

Dans le cadre de mon stage en CMPP, j'ai pu mettre en place lors d'une prise en charge, un protocole d'IM auprès d'une fillette TDC de 10 ans dans l'objectif de lui apprendre des coordinations motrices spécifiques, nécessaires dans son quotidien (ex : s'attacher les cheveux en queue de cheval). Cette fillette fait partie du protocole de cette étude. Nous lui avons donc fait passer le TIMI-2 avant la prise en charge en IM. Cette prise en charge a été très concluante puisqu'en 6 séances, la coordination a pu être acquise. D'autres coordinations ont ensuite été travaillées en IM (lacets, remettre son sweat-shirt enlevé à l'endroit). A la suite de sa prise en charge, je lui ai fait passer pour la seconde fois le TIMI-2, en retest. Nous avons ainsi pu remarquer que ses résultats se sont améliorés : plus de temps de réflexion avant de répondre, plus de bonnes réponses. Il semblerait donc qu'elle fasse plus appel à la rotation mentale et ait donc amélioré ses capacités d'IM. Le TIMI-2 peut donc également être intégré en retest à la suite d'une prise en charge en IM afin de constater l'évolution ou non de l'enfant et évaluer ainsi l'efficacité de la prise en charge proposée (d'autant qu'en utilisant comme technique l'IM, nous ne pouvons pas savoir de façon certaine si l'enfant l'utilise).

Suite à cette étude de validité de critère nous pouvons dire que les résultats mis en avant à l'index de performance du TIMI-2 et au 1^{er} subtest du M-ABC2 sont originaux et paraissent fiables compte tenu de la force de corrélation et de la taille de l'échantillon. Il existe bien un lien fort entre les capacités d'IM et les capacités de coordinations motrices en ce qui concerne la dextérité manuelle et plus précisément la dextérité digitale, permettant de prédire les résultats de l'un pour l'autre. Bien que les

résultats obtenus soient probants, cette étude présente des limites qu'il est indispensable d'indiquer.

2. Limites

Les limites vont porter sur la passation du TIMI-2. En effet, lors de la passation d'un test d'imagerie motrice il est toujours difficile de savoir si l'enfant met réellement en place une stratégie d'imagerie motrice ou s'il répond au hasard. De plus, pour le TIMI-2, qui est un test à réaliser sur un appareil tactile (ordinateur, tablette, smartphone), cela nécessite d'avoir une bonne connexion internet pour la fluidité de la passation et donc pour un chronométrage optimal des réponses, mais également de savoir appuyer correctement avec son doigt pour pouvoir enregistrer sa réponse.

Cela n'a pas toujours été facile avec les enfants, certains appuyaient avec le bout du doigt (plutôt avec l'ongle qu'avec la pulpe), d'autres appuyaient trop fort ou pas assez et cela ne prenait pas en compte la réponse. La sensibilité du tactile de l'appareil rentre aussi en ligne de compte. Même avec la phase d'entraînement avant le début du test, cela n'a pas toujours été facile pour les enfants. Il a donc fallu plusieurs fois intervenir et appuyer à la place de l'enfant de sorte à ne pas lui faire perdre trop de temps, chaque réponse étant chronométrée. Certaines mesures n'ont donc pas pu être très précises, ce qui a certainement rallongé le temps de réponse.

D'autre part, ce test est un test de rotation mentale où l'on est face à des stimuli de mains qui changent d'orientation à chaque item, il est donc essentiel pour l'enfant de savoir distinguer la paume de la main, du dos de la main. Nous nous sommes rendus compte que cela n'était pas si simple pour tous les enfants et qu'en fonction du support, par exemple avec un smartphone qui a un écran plus petit qu'un ordinateur, la différence peut ne pas bien se voir. Il est donc essentiel de s'assurer que l'enfant arrive à bien faire la distinction, sinon l'imagerie motrice ne pourra être engagée lors de la passation, l'enfant risquerait de répondre au hasard.

Conclusion

Le TDC est donc un trouble psychomoteur fréquemment rencontré. Il met en avant des symptômes caractéristiques tels que la maladresse, la lenteur et des difficultés de coordinations motrices. Sa prise en charge peut être réalisée sous différents angles à partir de différentes méthodes de rééducation thérapeutique. Un groupe d'experts francophones s'est réuni récemment en 2019, il s'agit de l'Expertise collective de l'INSERM, afin de conclure sur l'ensemble des connaissances actuelles sur le TDC, les conduites à tenir en rééducation et les outils à utiliser préférentiellement face à cette population. De même, d'autres experts reconnus sur le plan international, Blank et al., se sont réunis la même année et ont publié les recommandations internationales quant à l'évaluation et la prise en charge des sujets TDC. Au sein de ces recommandations, l'imagerie motrice apparaît comme étant une méthode de prise en charge à privilégier dans le but d'améliorer la qualité des mouvements et donc les coordinations motrices réelles de ces enfants. L'imagerie motrice apparaît effectivement comme une capacité déficitaire au sein de la population TDC en comparaison de la population normo-typique, ce qui serait dû notamment à un déficit dans la rotation mentale et dans la modélisation interne du mouvement. C'est ce que nous avons tenté de mettre en avant dans une partie de cet écrit. Afin de pouvoir utiliser l'imagerie motrice auprès de sujets TDC, il faudrait d'abord pouvoir l'évaluer. Or, le problème qui se pose avec l'imagerie motrice est qu'actuellement, il n'existe que très peu d'outils permettant de l'évaluer chez les enfants.

C'est donc pour cela que Frédéric Puyjarinet et son équipe ont créé récemment deux nouveaux tests permettant son évaluation. L'un d'eux, le TIMI-2, que nous avons largement détaillé ici, évalue l'imagerie motrice par le paradigme de rotation mentale que nous avons pu expliquer dans ce mémoire. L'étalonnage de ce nouveau test n'a pu se faire cette année, ce qui nous a permis de réaliser une étude de validité de critère pour répondre à la principale question que nous nous posions à savoir : existe-t-il des liens entre les capacités d'imagerie motrice et les capacités de coordination motrice

chez les enfants TDC ? Pour ce faire, nous avons donc fait passer le TIMI-2 et avons comparé les résultats de chaque enfant à ses propres résultats au M-ABC2.

Nous avons donc fait passer ce test à 32 sujets TDC âgés de 7 à 13 ans. Les résultats que nous avons obtenus permettent de valider notre hypothèse de départ. Il existe donc bel et bien une corrélation entre les capacités d'imagerie motrice et de coordinations motrices chez le TDC. Il convient de préciser que le lien mis en évidence au niveau des coordinations motrices ne concerne que les performances motrices en dextérité manuelle et plus précisément de dextérité digitale.

En conclusion, les performances que présente un enfant TDC en imagerie motrice pourront prédire les performances de ce même enfant à l'item 1 de dextérité manuelle (épreuve de dextérité digitale) du M-ABC2, ce qui permet d'ouvrir le champ d'utilisation de ce nouvel outil qu'est le TIMI-2 en bilan psychomoteur ainsi qu'en prise en charge. Le TIMI-2 est plus précis dans la prise des résultats que le TIMI-1 grâce à son informatisation, ce qui lui permet d'évaluer finement les capacités d'IM et donc de pouvoir effectuer par la suite un travail personnalisé, spécifique pour chaque enfant. Si les résultats obtenus sont chutés, il sera alors pertinent de proposer une prise en charge en IM dans le but d'améliorer les coordinations motrices réelles grâce au développement de l'IM chez cet enfant. Pour aller plus loin, le TIMI-2 devra être testé auprès d'autres populations pathologiques avec trouble du mouvement à l'exemple de patients cérébrolésés afin de mesurer la place et le bénéfice de l'utilisation d'un outil d'évaluation d'imagerie motrice au sein de ce genre de pathologie.

Bibliographie

- Adams, I. L., Lust, J. M., Wilson, P. H., & Steenbergen, B. (2014). Compromised motor control in children with DCD: a deficit in the internal model? A systematic review. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, *47*, 225-244.
- Albaret, J. M. (2001). Les troubles psychomoteurs chez l'enfant. *Encyclopédie médico-chirurgicale*, *13*, 16-95.
- Albaret, J. M. (2013). Les troubles psychomoteurs aujourd'hui: entre Ajuriaguerra et la théorie des systèmes dynamiques. *Développements*, (1), 4-12.
- Albaret, J. M., Arnaud, C., Assaiante, C., Gonzalez-Monge, S., Huron, C., Jolly, C., ... & Woollven, M. (2019). *Trouble développemental de la coordination ou dyspraxie*. EDP sciences.
- American Psychiatric Association. Diagnostic and statistical manual of mental disorders. 5th ed. Washington: Author; 2013.
- Barhoun, P., Fuelscher, I., Kothe, E. J., He, J. L., Youssef, G. J., Enticott, P. G., ... & Hyde, C. (2019). Motor imagery in children with DCD: A systematic and metaanalytic review of hand-rotation task performance. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, *99*, 282-297.
- Blank, R., Barnett, A. L., Cairney, J., Green, D., Kirby, A., Polatajko, H., ... & Vinçon, S. (2019). International clinical practice recommendations on the definition, diagnosis, assessment, intervention, and psychosocial aspects of developmental coordination disorder. *Developmental Medicine & Child Neurology*, *61*(3), 242-285.
- Boccia, M., Bonavita, A., Diana, S., Di Vita, A., Ciurli, M. P., & Guariglia, C. (2019). Topographical disorientation: clinical and theoretical significance of longlasting improvements following imagery-based training. *Frontiers in human neuroscience*, *13*, 322.
- Bowering, K. J., O'Connell, N. E., Tabor, A., Catley, M. J., Leake, H. B., Moseley, G.

- L., & Stanton, T. R. (2013). The effects of graded motor imagery and its components on chronic pain: a systematic review and meta-analysis. *The Journal of Pain, 14*(1), 3-13.
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2nd ed). NY: Academic Press
- Deconinck, F. J., Spitaels, L., Fias, W., & Lenoir, M. (2009). Is developmental coordination disorder a motor imagery deficit?. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology, 31*(6), 720-730.
- Demeuse, M., & Henry, G. (2004). Validite des mesures. *Introduction aux théories des tests en psychologie et sciences de l'éducation, 163-172.*
- Di Rienzo, F., Blache, Y., Kanthack, T. F. D., Monteil, K., Collet, C., & Guillot, A. (2015). Short-term effects of integrated motor imagery practice on muscle activation and force performance. *Neuroscience, 305*, 146-156.
- Guilbert, J., Jouen, F., Lehalle, H., & Molina, M. (2013). Imagerie motrice interne et simulation de l'action chez l'enfant. *L'année psychologique, 113*(3), 459-488.
- Guillot, A., & Collet, C. (2008). Construction of the motor imagery integrative model in sport: a review and theoretical investigation of motor imagery use. *International Review of Sport and Exercise Psychology, 1*(1), 31-44.
- Guillot, A., & Collet, C. (2013). Imagerie motrice: principes, concepts et méthodes.
- Guillot, A., Di Rienzo, F., & Collet, C. (2014). The neurofunctional architecture of motor imagery. *Advanced Brain Neuroimaging Topics in Health and Disease Methods and Applications, 433-456.*
- Hall CR, Pongrac J. Movement Imagery Questionnaire. London (Canada): The University of Western Ontario, Faculty of Physical, Education; 1983.
- Hendersen, S., Sugden, D., & Barnett, A. (2007). Movement assessment battery for children—2 examiner's manual.

- Henderson, S. E. (1987). The assessment of "clumsy" children: old and new approaches. *Child Psychology & Psychiatry & Allied Disciplines*.
- Korkman, M., Kirk, U., & Kemp, S. (2003). NEPSY: *Bilan neuropsychologique de l'enfant*. Editions du Centre de Psychologie Appliquée ECPA.
- Lewandowski, C. Trouble Développementale de la Coordination, Cours de psychomotricité de 2^{ème} année, *Toulouse, 2019*.
- Lorant, J., & Nicolas, A. (2004). Validation de la traduction française du Movement Imagery Questionnaire-Revised (MIQ-R). *Movement Sport Sciences*, (3), 5768.
- Lotze, M., & Halsband, U. (2006). Motor imagery. *Journal of Physiology-paris*, 99(46), 386-395.
- Maillot, C (2011). Rôle de la psychomotricité dans l'accompagnement des familles d'enfants porteurs d'un Trouble d'Acquisition de la Coordination (mémoire en vue de l'obtention du diplôme d'état de psychomotricien, publié. IFP Toulouse, Toulouse)
- Mandich, A., Polatajko, H.J., 2003. Developmental coordination disorder: mechanisms, measurement and management. *Huma. Movement Science*, 22 (4-5), 407-411, DOIS0167945703000630.
- McCarron, L. T. (1982). MAND: *McCarron assessment of neuromuscular development, fine and gross motor abilities*. McCarron-Dial Systems.
- Parsons, T. D., Larson, P., Kratz, K., Thiebaut, M., Bluestein, B., Buckwalter, J. G., & Rizzo, A. A. (2004). Sex differences in mental rotation and spatial rotation in a virtual environment. *Neuropsychologia*, 42(4), 555-562.
- Puyjarinet, F et Soppelsa, R. & Conan, J (2020). Test d'imagerie motrice implicite (TIMI-1) : standardisation et étalonnage chez des enfants de 7 à 11 ans. *Anae*, 167, 480-494
- Puyjarinet, F. (2015). Intérêt de l'imagerie motrice dans la rééducation de la dysgraphie chez l'enfant. *Entretiens de Psychomotricité*.

- Puyjarinet, F. Imagerie motrice, Cours de psychomotricité de 3^{ème} année, *Toulouse*, 2021.
- Rizzolatti, G., & Craighero, L. (2004). The mirror-neuron system. *Annu. Rev. Neurosci.*, 27, 169-192.
- Shallice, T. (1982). Specific impairments of planning. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. B, Biological Sciences*, 298(1089), 199-209.
- Soppelsa, R., Albaret, J. M., & Corraze, J. (2009). Les comorbidités: théorie et prise de décision thérapeutique. *Entretiens de Psychomotricité 2009*, 5-20.
- 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(2), 270-285.
- Wilson, P. H., Ruddle, S., Smits-Engelsman, B. O. U. W. I. E. N., Polatajko, H., & Blank, R. (2013). Understanding performance deficits in developmental coordination disorder: a meta-analysis of recent research. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 55(3), 217-228.

Résumé

Le Trouble développemental de la Coordination est un trouble psychomoteur que l'on rencontre fréquemment. Plusieurs méthodes de rééducation sont possibles telles que l'imagerie motrice qui est internationalement recommandée dans la prise en charge des TDC car a fait preuve de son efficacité. L'imagerie motrice est un mécanisme qui apparaît comme déficitaire chez le TDC du fait d'un déficit de modélisation interne ce qui pourrait expliquer les difficultés rencontrées par les TDC. Très peu d'outils permettant de l'évaluer existent. Le TIMI-2 est un nouveau test permettant son évaluation grâce au paradigme de rotation mentale. Une étude de validité de critère étudiant les liens entre les capacités d'imagerie motrice et les capacités de coordinations motrices chez le TDC a été réalisée. Les résultats mettent en avant des liens étroits entre ces deux composantes, et montrent que plus les capacités d'IM sont déficitaires, plus les coordinations motrices le sont également. Cet écrit amène une réflexion autour de la pertinence d'une rééducation axée sur l'amélioration des capacités d'IM dans le TDC et suggère que le TIMI-2 pourrait devenir un outil précieux dans l'évaluation de l'IM au sein de cette population. Mots clefs : TDC – imagerie motrice – TIMI-2- rotation mentale- modèle interne- coordinations motrices

Summary

Developmental Coordination Disorder (DCD) is a psychomotor disorder frequently encountered. Several rehabilitation methods are possible like motor imagery which is internationally recommended in the management of DCD. Motor imagery is a mechanism that appears to be deficient in DCD due to a deficit in internal modeling, which could explain the difficulties encountered by DCD. Very few tests exist to evaluate it. TIMI-2 is a new test assessing it thanks to the mental rotation paradigm. A criterion-validity study was carried out to examine the links between motor imagery and motor coordination abilities in DCD. The results show that there are strong links between these two components, and more MI abilities are deficient, more motor coordinations are deficient. This writing leads to think about MI abilities improvement in DCD and suggests that the TIMI-2 could become a valuable tool in the assessment of MI in this population.

Key words : DCD – motor imagery – TIMI-2 – mental rotation – internal model- motor coordination