

**Mise en place d'un protocole d'imagerie motrice  
pour deux enfants présentant un Trouble  
Développemental de la Coordination  
Adaptations nécessaires en pratique clinique**

Mémoire en vue de l'obtention du Diplôme d'Etat de Psychomotricienne  
Présenté par Julie BETEND

Juin 2020

## TABLE DES MATIERES

<b>INTRODUCTION</b> .....	1
<b>PARTIE THEORIQUE</b> .....	5
I) L'imagerie motrice et ses soubassements théoriques .....	5
1) Modèles internes du mouvement.....	5
a) La théorie des modèles internes.....	5
b) Liens entre modèles internes et imagerie motrice .....	8
2) Présentation du concept d'imagerie motrice (IM).....	9
a) Définitions .....	9
b) Caractéristiques des représentations mentales en IM .....	11
c) Localisations neuroanatomiques.....	12
d) Développement de l'imagerie motrice chez l'enfant.....	14
II) Utilisation pratique de l'imagerie motrice .....	16
1) Imagerie motrice et plasticité cérébrale.....	16
a) Effets bénéfiques de l'imagerie motrice sur la plasticité cérébrale .....	16
b) Le rôle des neurones miroirs.....	17
2) Cadres d'utilisation de l'imagerie motrice .....	17
a) Cadre normal .....	17
b) Cadre pathologique .....	18
c) Cadre des troubles psychomoteurs .....	19
3) Protocole d'imagerie motrice dans la rééducation du TDC .....	20
a) Evaluation des capacités d'imagerie motrice .....	20
b) Les différentes étapes d'un protocole d'imagerie motrice .....	25
c) Conditions de bonnes pratiques pour l'utilisation d'un protocole d'IM.....	26
III) TDC et imagerie motrice.....	28
1) Anomalies d'imagerie motrice chez le sujet TDC .....	29
2) Hypothèse du déficit de représentation interne chez le sujet TDC .....	30
a) Hypothèse du déficit de modèles internes .....	30
b) Preuves actuelles de ce déficit de modèles internes (D.M.I).....	31
c) Liens entre déficit de modèles internes et difficultés motrices chez le sujet TDC.....	33
3) Efficacité des interventions en IM auprès des sujets TDC.....	34
<b>PARTIE PRATIQUE</b> .....	36
I) Choix de la méthode pour tester les effets et adaptations du protocole d'IM de Wilson <i>et al.</i> (2002) en psychomotricité avec des enfants ayant un TDC .....	37
1) Pré-tests .....	37

2) Le protocole d'IM .....	38
a) Choix des coordinations motrices.....	38
b) Description des exercices proposés .....	39
c) Intégration du modèle PETTLEP au protocole .....	41
3) Post-tests.....	42
II) Etude des dossiers des deux enfants .....	43
1) Présentation de Léo (9 ans 9 mois lors des pré-tests).....	43
2) Présentation de Soan (11 ans 7 mois lors des pré-tests).....	46
III) Mise en place de la méthode .....	50
1) Mise en place du protocole auprès de Léo .....	50
a) Résultats pré-tests pour Léo.....	50
b) Déroulement des séances auprès de Léo .....	53
c) Adaptations mises en place.....	55
d) Observations post-tests pour Léo.....	56
2) Mise en place du protocole auprès de Soan .....	59
a) Résultats pré-tests pour Soan.....	59
b) Déroulement des séances auprès de Soan.....	61
c) Adaptations mises en place.....	64
d) Observations post-tests pour Soan.....	65
IV) Discussion .....	67
1) Efficacité de l'intervention en IM sur les deux enfants.....	67
2) Discussion autour des adaptations du protocole mises en place .....	69
3) Avantages et limites du mémoire .....	70
<b>CONCLUSION</b> .....	72
<b>BIBLIOGRAPHIE</b> .....	73
<b>ANNEXES</b> .....	I
ANNEXE A.....	I
ANNEXE B .....	II
ANNEXE C.....	II
ANNEXE D.....	III
ANNEXE E.....	IV
ANNEXE F .....	IV
ANNEXE G.....	V
ANNEXE H.....	V
<b>RESUME</b> .....	VI

## **INTRODUCTION**

Le **Trouble Développementale de la Coordination (TDC)**, anciennement Trouble de l'Acquisition de la Coordination (TAC) ou dyspraxie, est un trouble neurodéveloppemental de la motricité intentionnelle. Il se caractérise par des déficits dans l'acquisition et l'exécution d'habiletés motrices coordonnées entraînant de la maladresse, une lenteur motrice pathologique, des retards dans les principales étapes du développement psychomoteur, des difficultés importantes et persistantes dans les activités de la vie quotidienne (Albaret, Giromini et Scialom, 2018).

Le TDC est classé dans la catégorie Troubles neurodéveloppementaux puis Troubles moteurs du DSM-V<sup>1</sup> (American Psychiatric Association [APA], 2015).

### **Critères diagnostiques du TDC (APA, 2015) :**

- A.** L'acquisition et l'exécution de bonnes compétences de coordination motrice sont nettement inférieures au niveau escompté pour l'âge chronologique du sujet compte tenu des opportunités d'apprendre et d'utiliser ces compétences. Les difficultés se traduisent par de la maladresse ainsi que de la lenteur et de l'imprécision dans la réalisation de tâches motrices (ex. attraper un objet, utiliser des ciseaux ou des couverts, écrire à la main, faire du vélo ou participer à des sports).
- B.** Les déficiences des compétences motrices du critère A interfèrent de façon significative et persistante avec les activités de la vie quotidienne correspondant à l'âge chronologique et ont un impact sur les performances universitaires/scolaires, ou les activités préprofessionnelles et professionnelles, les loisirs et les jeux.
- C.** Le début des symptômes date de la période développementale précoce.
- D.** Les déficiences des compétences motrices ne sont pas mieux expliquées par un handicap intellectuel ou une déficience visuelle et ne sont pas imputables à une affection neurologique motrice (ex : paralysie cérébrale, dystrophie musculaire, maladie dégénérative).

La prévalence du TDC est estimée à 5-6% de la population générale (APA, 2015), mais elle varie selon les critères diagnostiques utilisés et la population étudiée. Le sex-ratio varie selon les études de 2/1 à 7/1 avec une prédominance masculine (Blank *et al.*, 2019).

L'étiologie exacte est encore méconnue. Elle serait multifactorielle avec des facteurs à la fois génétiques, neuroanatomiques, périnataux et psychosociaux qui entrent en jeu (Albaret *et al.*, 2018). La prématurité ou le faible poids de naissance sont, à l'heure actuelle, considérés comme les facteurs de risque les plus importants. 32 à 49% des enfants nés prématurément présenteraient des

---

<sup>1</sup> DSM-V : Manuel diagnostique et statistique des troubles mentaux

difficultés motrices à l'âge scolaire (<15<sup>ème</sup> percentile au M-ABC<sup>2</sup>) et 14 à 24% de ces enfants seraient plus sévèrement touchés (<5<sup>ème</sup> percentile). Les populations défavorisées seraient aussi plus à même de présenter des particularités motrices en comparaison aux enfants vivant dans des milieux socialement plus favorisés (Albaret *et al.*, 2019).

Le TDC se caractérise par une grande hétérogénéité symptomatologique en termes de niveau moteur, cognitif, affectif et de participation sociale. Les présentations cliniques diffèrent par l'âge d'apparition des troubles (très précocement dans le développement ou plus tardivement lorsque les exigences du milieu augmentent), par la sévérité des troubles et leur étendue, mais aussi par la présence ou non de troubles comorbides. Les cooccurrences avec d'autres troubles neurodéveloppementaux constituent la règle plus que l'exception : on retrouve une association fréquente du TDC avec le Trouble du Déficit de l'Attention avec ou sans Hyperactivité (TDA/H), les Troubles Spécifiques des Apprentissages (avec déficit de la lecture, de l'expression écrite et/ou du calcul), les troubles de la communication (Trouble du Langage Oral notamment) ou encore le Trouble du Spectre de l'Autisme (TSA) (Albaret, Scialom et Canchy-Giromini, 2018). Ainsi, les enfants qui ont des troubles associés sont généralement plus sévèrement impactés que ceux qui ont des difficultés motrices isolées, d'où l'importance de tenir compte du profil du patient dans sa globalité lors de sa prise en charge (Albaret *et al.*, 2019).

Généralement chez l'enfant, l'évolution du TDC implique des difficultés à la fois comportementales (refus ou évitement de certaines activités), scolaires, émotionnelles, sociales et affectives (victimisation, isolement, faible estime de soi...). A plus long terme, même si des compensations sont possibles, les difficultés semblent persister et se répercutent sur les activités de la vie quotidienne, sur le plan académique et professionnel (accès plus complexe aux études supérieures et aux métiers dits de haut niveau socio-économique) ainsi que sur le plan de l'intégration sociale (obtiennent moins facilement le permis de conduire) (Albaret *et al.*, 2018). Le dernier rapport de l'Inserm relate aussi que les sujets présentant un TDC sont plus à risque de développer secondairement des troubles psychopathologiques de type troubles anxieux, troubles émotionnels ou comportementaux, ou encore troubles dépressifs que les sujets de la population générale (Albaret *et al.*, 2019). Enfin, ils sont aussi plus vulnérables quant au surpoids et à l'obésité, même si à l'heure actuelle, ces résultats ne sont pas confirmés pour la population française.

Ainsi, la prise en charge des sujets porteurs d'un TDC s'avère indispensable au vu des nombreuses difficultés que ce trouble peut engendrer. Il faut tenir compte de la situation de handicap de ces

---

<sup>2</sup> M-ABC : Batterie d'Evaluation du Mouvement chez l'enfant

enfants dans le cadre scolaire mais aussi dans leur vie quotidienne et l'impact sur leur qualité de vie. C'est un enjeu de santé publique à l'heure actuelle ; il est important de poursuivre les recherches pour mieux comprendre ce trouble, le diagnostiquer plus précocement, mais aussi développer et valider des techniques de rééducation efficaces.

Actuellement, les dernières recommandations internationales de l'EACD<sup>3</sup> (Blank *et al.*, 2019) sur la prise en charge du TDC précisent l'efficacité de certaines méthodes thérapeutiques. On classe les interventions selon 3 types, en référence aux trois grands domaines retrouvés dans la CIF<sup>4</sup> (fonctions et structures corporelles, activités, participation). Tout d'abord, les approches orientées sur la fonction (« *body function and structure approach* », anciennement orientées sur le processus) cherchent, au travers d'activités diversifiées, à améliorer des fonctions sous-jacentes considérées comme déficitaires et à la base des problèmes moteurs. Elles seraient moins efficaces que les approches orientées sur l'activité ou la participation (Smits-Engelsman *et al.*, 2013). Ces dernières, anciennement retrouvées sous le terme commun d'approches orientées sur la tâche, utilisent l'activité pour améliorer la performance à cette activité mais aussi la participation à celle-ci dans la vie quotidienne. Elles sont actuellement recommandées et des méthodes sont validées : la NTT (Neuromotor Task Training) et la CO-OP (Cognitive Orientation to Occupational Performance). La technique d'Imagerie Motrice (IM), présentée ci-après, est aussi considérée comme étant prometteuse et à développer. C'est une approche cognitive élaborée par Wilson qui vise l'apprentissage d'une habileté précise que l'on veut faire émerger pour enrichir le répertoire moteur du sujet et développer les fonctions anticipatrices et prédictives du système nerveux (Wilson, Thomas et Maruff, 2002). Elle a fait l'objet de récentes études afin d'examiner son efficacité auprès des enfants porteurs d'un TDC. Les résultats (présentés en III.3. p.34) sont très encourageants. L'IM est une technique innovante, peu coûteuse, qu'il semble important de développer en psychomotricité.

---

<sup>3</sup> EACD : European Academy of Childhood Disability

<sup>4</sup> CIF : Classification Internationale du Fonctionnement, du Handicap et de la Santé

## **Présentation du sujet :**

Dans le cadre de ce mémoire, une réflexion théorico-clinique est ainsi menée sur la technique d'imagerie motrice. Au travers de l'étude de cas de deux patients présentant un TDC, nous nous demanderons comment implémenter cette méthode en pratique clinique lors de prises en charge en psychomotricité en cabinet libéral. Les deux cas étudiés n'échappant pas aux cooccurrences nombreuses et fréquentes avec le TDC, nous nous questionnerons sur la possibilité d'adapter la mise en place d'un protocole d'IM aux profils particuliers des patients afin qu'ils bénéficient au mieux des apports potentiels de cette technique.

Les questions auxquelles je tâcherai de répondre pourraient ainsi être formulées comme telles :

- **Quelle est, pour ces deux patients, l'efficacité d'un protocole d'imagerie motrice pour réduire leurs difficultés en motricité globale ?**
- **Quelles adaptations cliniques sont nécessaires à mettre en œuvre pour s'adapter au profil particulier du sujet pris en charge et tenir compte de ses troubles associés ?**

Dans une première partie théorique, nous nous intéresserons au concept d'imagerie motrice et aux théories des modèles internes du mouvement qui le sous-tendent. Nous présenterons ensuite l'utilisation de ce concept en pratique clinique dans différents champs et décrirons comment se déroule un protocole d'IM. Enfin, nous détaillerons les particularités d'IM retrouvées chez les sujets porteurs d'un TDC et explorerons l'hypothèse récente du déficit de représentation interne du mouvement dont ils pourraient faire preuve. Nous ferons également un état des lieux des connaissances sur l'efficacité de l'IM dans la prise en charge du TDC.

Dans un second temps, la partie pratique débutera par une présentation de la méthode choisie : les évaluations pré et post-tests utilisées ainsi que le protocole d'intervention. Ensuite, nous étudierons les dossiers des deux enfants pris en charge en psychomotricité puis la mise en place de la méthode auprès de ces deux enfants. Nous terminerons par une discussion autour des résultats obtenus, des adaptations mises en œuvre au cours du protocole et des avantages et limites de ce mémoire.

Compte tenu de la pandémie de Covid-19 et des mesures prises par le gouvernement français à partir du 12 mars 2020 (fermeture des universités), le contenu de ce mémoire a été impacté. La suspension des conventions de stage n'a pas permis la poursuite des séances de psychomotricité et donc de mener l'ensemble du protocole et des évaluations post-tests que je souhaitais réaliser. Néanmoins, pour pallier ces manques, j'ai adapté au mieux la méthodologie pour tirer le plus d'informations et d'analyses possibles des séances réalisées antérieurement.

# PARTIE THEORIQUE

## I) L'imagerie motrice et ses soubassements théoriques

### 1) Modèles internes du mouvement

#### a) La théorie des modèles internes

Chez l'Homme, les actions sont téléonomiques, c'est-à-dire dirigées vers un but. Selon Jeannerod (1994), nos actions motrices seraient avant tout guidées par la représentation de ce but que l'on souhaite atteindre. Le contrôle moteur permet d'avoir une action motrice à la fois intentionnelle, orientée vers un but, mais aussi adaptée aux contraintes environnementales. Cela n'est possible que si l'on est capable de se représenter l'état actuel dans lequel on se situe et l'état futur que l'on désire atteindre. C'est pourquoi, il est supposé que toute action réelle serait précédée d'une simulation de l'action qui permet d'anticiper les états à venir du corps (Guilbert, Jouen, Lehalle et Molina, 2013). La **théorie des modèles internes** découle de ce concept de contrôle moteur, des neurosciences computationnelles et des théories cognitives (Puyjarinet, 2015). Les modèles internes seraient des mécanismes neuronaux qui permettent à la fois d'anticiper les conséquences sensorielles d'un mouvement avant qu'il ne soit produit, mais aussi de transformer des informations sensorielles prédites en une commande motrice (Puyjarinet, 2016). Le terme de « modèle » suggère que le cerveau modélise les interactions entre les systèmes sensoriels, moteurs et l'environnement. Le terme « interne » sous-entend que cette modélisation est intériorisée dans le système nerveux central (SNC) (Lebon, Gueugneau et Papaxanthis, 2013).

Le cerveau simule les mouvements à effectuer à travers des représentations motrices pour planifier et pouvoir contrôler l'exécution motrice (Jeannerod in Guilbert *et al.*, 2013). Ces représentations motrices déterminent les buts de l'action, les moyens pour les atteindre ainsi que les conséquences de ces actions sur le sujet et sur l'environnement. Pour ce faire, notre cerveau disposerait de représentations simplifiées de l'état de notre système sensorimoteur, de connaissances intériorisées sur la biomécanique du corps et le monde physique (règles et régularités des événements de l'environnement que l'enfant apprend à connaître au cours de son développement) (Lebon *et al.*, 2013).

D'après la théorie des modèles internes, l'intention du sujet serait convertie en une commande motrice. Une copie de celle-ci, appelée copie d'efférence, serait générée avant que la commande motrice ne parvienne aux effecteurs musculaires et serait stockée dans le SNC. Il y a donc une

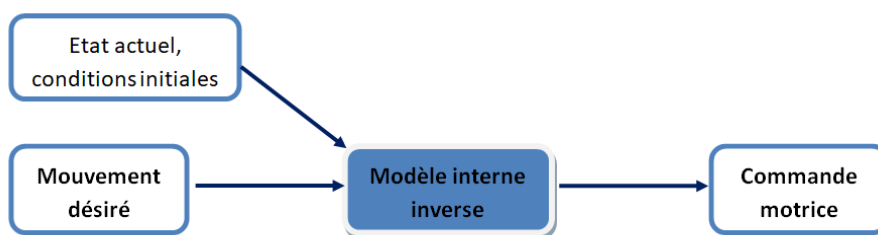


anticipation de l'action avant qu'elle ne soit réalisée : la copie d'efférence spécifie l'état futur du système et les conséquences sensorielles liées au mouvement. En cours et en fin de mouvement, une comparaison est effectuée entre les retours sensoriels, ce qui a été anticipé et l'intention de départ du sujet. Cela permet de corriger et d'ajuster, si besoin, l'action motrice (Jeannerod, 2009). Ce mécanisme permet un contrôle moteur sous-tendu par ces modèles internes.

Les modèles internes ne sont pas figés, ils peuvent être corrigés et doivent s'adapter continuellement aux interactions entre le corps et l'environnement (Lebon *et al.*, 2013). C'est pourquoi, multiplier les expériences motrices permet de construire, modifier ou réorganiser les modèles internes, ce qui est fondamental pour accéder à terme à un contrôle moteur prédictif efficace (Puyjarinet, 2016).

On identifie deux types de modèles internes : inverse et direct. Ci-après, je les présenterai d'abord séparément avant d'expliquer leur interaction.

- **Le modèle interne inverse :**



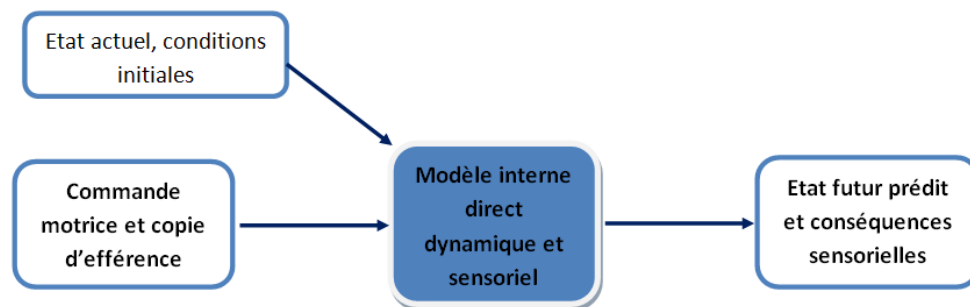
**Fig. 1 : Schéma du modèle interne inverse (inspiré de Lebon *et al.*, 2013)**

Le modèle interne inverse permet de « calculer » la commande motrice à partir du mouvement désiré par l'individu et de l'état actuel de son organisme (Lebon *et al.*, 2013). On parle de modèle inverse puisqu'on part de la sortie (les conséquences sensorielles attendues, prédites pour ce mouvement désiré) pour obtenir l'entrée (la commande motrice). Autrement dit, ce modèle recense donc les paramètres à modifier de l'état actuel de l'organisme pour atteindre les conséquences sensorielles souhaitées et il les intègre dans la commande motrice envoyée aux muscles (Adams, Steenbergen, Lust et Smits-Engelsman, 2016).

- **Le modèle interne direct ou prédictif :**

Le modèle interne direct (ou prédictif, « *forward model* »), quant à lui, va utiliser les copies de la commande motrice (copies d'efférence) et l'état actuel de l'organisme pour prédire les conséquences sensorielles d'un mouvement et l'état futur du système (Guilbert *et al.*, 2013). Lebon

*et al.* (2013) parlent de lien causal entre l'action et ses conséquences sensorielles et dynamiques. Ainsi, cette prédiction (la copie d'efférence) peut être comparée aux conséquences réelles obtenues lors de l'exécution motrice pour vérifier l'efficacité de la commande neuronale.



**Fig. 2 : Schéma du modèle interne direct (inspiré de Lebon *et al.*, 2013)**

Ce modèle direct se divise lui-même en 2 modèles complémentaires qui fonctionnent en série, l'un après l'autre (Lebon *et al.*, 2013) :

- Le **modèle direct dynamique** prédit, à partir de l'état actuel et de la copie d'efférence, l'état futur du système et notamment les paramètres de position et de vitesse.
- Le **modèle direct sensoriel** reçoit cette prédiction du système dynamique. Il va alors prédire les conséquences sensorielles qui correspondraient à cet état futur.

- **Deux modèles différents mais complémentaires :**

Les deux modèles internes (inverse et direct) ont donc des actions différentes mais ils sont complémentaires et interviennent dans le contrôle moteur (Lebon *et al.*, 2013).

Le modèle interne inverse génère une commande motrice en fonction du but, de l'état que souhaite atteindre le sujet. En parallèle, le modèle interne direct produit une copie d'efférence de la commande motrice et va comparer le mouvement prédit avec les conséquences sensorielles et dynamiques de l'action. La copie d'efférence est générée avant que les effecteurs ne reçoivent la commande motrice. Il y a donc une anticipation de l'action à venir et si l'exécution motrice s'écarte de ce qui est anticipé, la correction peut être immédiate (Jeannerod, 1994). On parle de contrôle en boucle ouverte (sans attendre les rétroactions sensorielles ou feedbacks). En plus de permettre une correction en cours du mouvement, le signal d'erreur sert à modifier, actualiser les modèles internes, de sorte qu'ils soient plus précis pour la prochaine réalisation de ce mouvement (Adams *et al.*, 2016).

Les deux modèles internes sont complémentaires aussi dans le cadre de l'apprentissage moteur. Le modèle direct précéderait le modèle inverse lors de l'apprentissage de gestes nouveaux et lors de

tâches au cours desquelles des adaptations sensorimotrices sont nécessaires. Il semblerait ainsi que les sujets apprendraient d'abord à prédire les conséquences de leurs actions avant d'apprendre à les contrôler (Lebon *et al.*, 2013). La complémentarité de ces deux modèles sous-tend l'efficacité du contrôle moteur.

#### b) Liens entre modèles internes et imagerie motrice

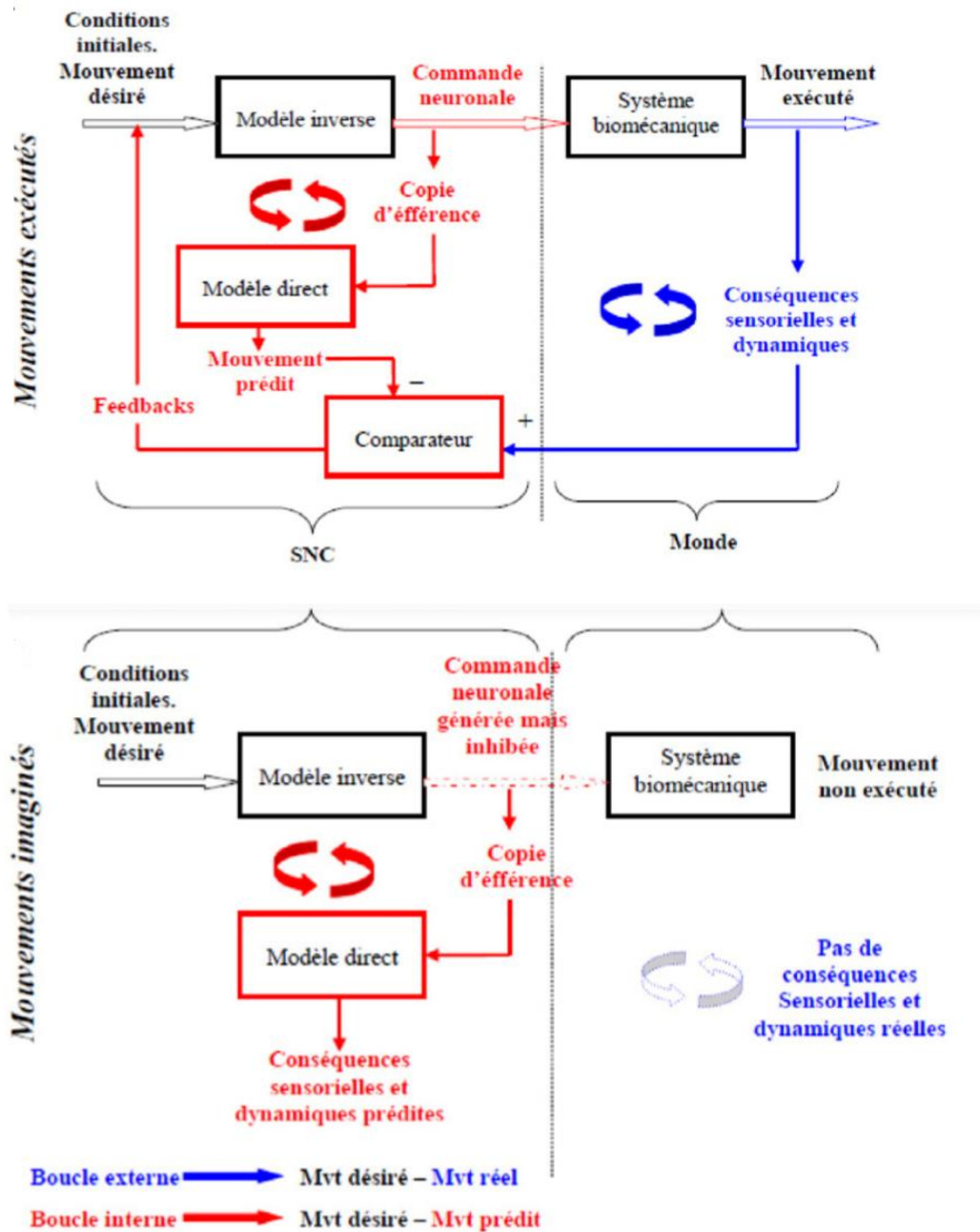
Le concept d'imagerie motrice (IM), qui sera présenté dans la partie I.2., découle de ce cadre théorique. En effet, pour plusieurs auteurs, les modèles internes constituent une base fondamentale à la compréhension des mécanismes d'IM, alors même que dans l'imagerie motrice, aucun mouvement n'est produit et qu'il n'y a donc aucun retour sensoriel (Lebon *et al.*, 2013).

Tout d'abord, modèles internes et IM ne sont pas en tous points semblables. En effet, les modèles internes impliqués dans la phase de préparation d'un mouvement échappent à la conscience du sujet. A l'inverse, les représentations motrices simulées sont accessibles à la conscience, tant que le mouvement n'est pas exécuté ou qu'il est inhibé (Jeannerod, 1994).

D'autre part, des ressemblances entre modèles internes et IM sont retrouvées. Il a été observé que les modèles internes se situent dans les régions du cortex pariétal et du cervelet (Lebon *et al.*, 2013). Ces régions sont aussi activées lors de l'IM (cf. I.2.c., p.12) ; certains supposent que l'IM reflèterait la capacité des sujets à générer des modèles internes (Guilbert *et al.*, 2013).

Le schéma ci-après illustre l'utilisation des modèles internes pour les mouvements exécutés et pour les mouvements imaginés. Lors d'un **mouvement exécuté**, le modèle inverse s'appuie sur le mouvement désiré et l'état actuel du sujet et de l'environnement pour produire une commande neuronale envoyée aux effecteurs. Cette commande génère une copie d'efférence et le modèle direct prédit les conséquences sensorielles qui devraient normalement se produire, ainsi que l'état futur du sujet. Un système comparateur confronte ce mouvement prédit avec les conséquences du mouvement exécuté et les feedbacks sensoriels permettront la correction des erreurs éventuelles (Lebon *et al.*, 2013). Le sujet doit avoir une connaissance implicite de son corps en mouvement, de son schéma corporel, pour pouvoir effectuer cette comparaison (Guilbert *et al.*, 2013).

Par ailleurs, dans les cas des **mouvements imaginés**, le modèle inverse produit là aussi une commande motrice selon le but à atteindre du sujet, mais cette commande ne parvient pas au système effecteur, elle est inhibée. Cependant, la copie d'efférence est quand même générée et le modèle direct permet d'estimer les conséquences sensorielles et dynamiques du mouvement. Ainsi les conséquences temporelles de l'action peuvent être prédites : l'équivalence temporelle retrouvée entre les mouvements réels et imaginés est alors considérée comme une preuve de l'existence et du bon fonctionnement de ces mécanismes de modèles internes (Lebon *et al.*, 2013).



**Fig. 3 : Schématisation d'un modèle de fonctionnement utilisant les modèles internes inverses et directs durant la pratique réelle et la pratique mentale (Lebon *et al.*, 2013)**

Ainsi, on pourrait tirer profit de la simulation d'un mouvement et de la prédiction de ses conséquences proprioceptives ou spatiotemporelles pour optimiser le contrôle moteur de ce mouvement (Puyjarinet, 2015). L'entraînement à l'imagerie motrice permettrait d'améliorer les prédictions, modifier et perfectionner les modèles internes et ainsi améliorer les performances réelles. Les mouvements seraient mieux représentés, mieux anticipés et ainsi mieux exécutés.

## 2) Présentation du concept d'imagerie motrice (IM)

### a) Définitions

La théorie des modèles internes forme le sous-bassement théorique sur lequel s'est appuyé le développement du concept d'imagerie motrice. L'**imagerie motrice (IM)** intéresse un nombre croissant de chercheurs et de praticiens, notamment depuis plus de deux décennies. La première définition de l'imagerie motrice est apparue en 1912 avec les travaux de Ribot : « en termes psychologiques, c'est la reviviscence spontanée ou provoquée de sensations kinesthésiques simples ou complexes éprouvées antérieurement. En termes physiologiques, c'est l'excitation des zones corticales (quelles qu'elles soient) où 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, p. 460). Dans les années 1990, Jean Decety et Marc Jeannerod ont beaucoup travaillé et apporté de nouvelles connaissances sur la simulation mentale des actions. Selon Jeannerod, l'être humain est un être capable de simulation mentale, en effet, « la représentation de l'action fait partie intégrante de l'action, elle est en continuité fonctionnelle avec l'exécution de l'action » (2009).

Actuellement, aucune définition ne fait consensus, mais il est admis que l'IM s'inscrit dans le cadre très large de la représentation mentale. Il s'agit d'un état cognitif dynamique qui permet l'accès à la conscience du déroulement d'une action et de ses caractéristiques (aspects spatiaux, temporels, proprioceptifs et kinesthésiques), sans qu'aucun mouvement ne soit réellement effectué. Jeannerod pense que l'IM serait donc le résultat de l'accès conscient à la représentation d'un mouvement intentionnel, qui est réalisée habituellement de manière non consciente pendant la phase préparatoire d'un mouvement (1994). Chaque mouvement est donc précédé d'une simulation des conséquences de ce mouvement mais la réciproque n'est pas vraie : une simulation ne s'accompagne pas obligatoirement d'une action réelle (Guillot et Collet, 2013).

Il existe de nombreux types d'imagerie : visuelle, tactile, olfactive, sonore, kinesthésique... On distingue l'imagerie mentale visuelle de l'IM par le fait que cette dernière est de nature plus implicite et moins facilement accessible et verbalisable (Jeannerod, 1994). L'imagerie visuelle correspond à la création d'images mentales visuelles qui « ont la propriété de préserver les caractéristiques spatiales et structurales de l'objet ou de la scène qu'elles représentent » (Mellet, Petit, Mazoyer, Denis et Tzourio, 1999).

Généralement, on différencie deux types d'imagerie motrice :

- L'**imagerie motrice visuelle**, à la **3<sup>ème</sup> personne** « il / elle », ou **imagerie externe**, est dite d'un point de vue allocentré. Le sujet est comme spectateur du mouvement, il en produit une image visuelle (Loison *et al.*, 2013). C'est comme s'il voit le déroulement d'une action à la **3<sup>ème</sup> personne**. Aucun ressenti proprioceptif ou kinesthésique n'est présent.

- L'**imagerie motrice kinesthésique**, à la 1<sup>ère</sup> personne « je », ou **imagerie interne**, est dite d'un point de vue égocentré. Le sujet s'imagine faire le mouvement. Il simule mentalement l'action et est alors acteur du mouvement ; il peut ressentir différentes caractéristiques du mouvement comme les sensations proprioceptives et kinesthésiques qu'il engendre ou le déroulement temporel de l'action (Lotze et Halsband, 2006).

Actuellement, lorsque l'on emploie le terme d'imagerie motrice, cela désigne généralement l'IM stricto-sensu c'est-à-dire la capacité du sujet à générer une image du soi en action (1<sup>ère</sup> personne) au cours de laquelle les sensations kinesthésiques sont ressenties, en dehors de toute exécution réelle. Réaliser ce type d'IM n'est pas aisé, souvent l'IM visuelle à la 3<sup>ème</sup> personne est plus facile d'accès (Loison *et al.*, 2013).

#### b) Caractéristiques des représentations mentales en IM

L'IM est une habileté difficile à étudier car elle n'est pas directement observable. Toutefois, les recherches ont permis de découvrir différentes caractéristiques des représentations motrices, apportant ainsi une meilleure compréhension du fonctionnement de l'IM.

Tout d'abord, il a été démontré à plusieurs reprises qu'en IM les **caractéristiques à la fois temporelles et biomécaniques** de l'action motrice réelle sont préservées. Ainsi, les performances motrices représentées mentalement seraient sujettes aux mêmes contraintes physiologiques et environnementales que les mouvements réels (Puyjarinet, 2015). Différents paradigmes ont révélé une **invariance temporelle** entre le temps du mouvement simulé et le temps de mouvement réel. Aussi, on sait que les mouvements réels suivent une loi de contrainte précision-vitesse (**loi de Fitts**) : la durée d'un mouvement est contrainte par la précision que requiert ce mouvement (Wilson, Maruff, Ives et Currie, 2001). Il a été prouvé que les actions simulées suivent elles-aussi cette loi de Fitts. Decety et Jeannerod le suggèrent au travers d'une expérience dans laquelle le sujet doit se déplacer en marchant jusqu'à une cible ou s'imaginer se déplacer en marchant jusqu'à cette cible. Le temps mis pour atteindre la cible est le même que le sujet se déplace réellement ou s' imagine en train de se déplacer (on parle d'isochronie temporelle). Lorsque l'on augmente la distance pour rejoindre la cible, on obtient une augmentation linéaire de la durée du mouvement à la fois réel et simulé en fonction de la distance (Guilbert *et al.*, 2013). Ces invariances suggèrent une base neurale similaire entre action réelle et IM. En effet, les études du SNC en imagerie fonctionnelle ont permis de voir que des **zones d'activations cérébrales sont communes** pour l'exécution de mouvements réels ou de mouvements en IM. Je reviendrais sur ce point dans la prochaine partie (cf. I.2.c., p.12).

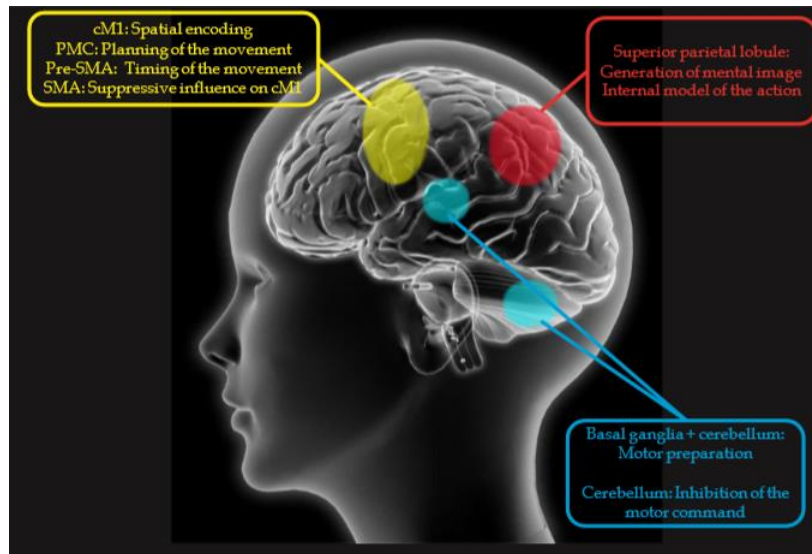
D'autre part, l'étude du système nerveux périphérique (SNP) peut aussi renseigner sur les caractéristiques de l'IM. L'électromyographie montre que l'IM à la 1<sup>ère</sup> personne entraîne une **activation musculaire** plus importante que l'IM à la 3<sup>ème</sup> personne. Plus l'effort imaginé est important, plus l'activité musculaire enregistrée lors de l'IM sera importante, mais tout en restant inférieure au seuil de déclenchement d'une contraction réelle (Collet, Di Rienzo, Hoyek et Guillot, 2013). Enfin, l'IM, de la même façon que les mouvements réels, entraîne l'**activation du système neurovégétatif**. Quand un sujet simule un mouvement, on peut retrouver des variations du rythme cardiaque et respiratoire comme pourrait l'induire le mouvement réel (Decety, Jeannerod, Germain et Pastene, 1991). Rulleau et Toussaint (2014) notent des corrélations au niveau de l'enregistrement de l'activité électrodermale et thermo-vasculaire entre IM et pratique physique. L'activation du système nerveux autonome (SNA) serait de plus faible amplitude en IM que lors des mouvements réels, mais cela permettrait de préparer l'organisme aux besoins énergétiques dont il aurait besoin si le mouvement était réalisé (Rulleau et Toussaint, 2014).

### c) Localisations neuroanatomiques

Recueillir l'activité du SNC lors de l'exécution de mouvements réels ou imaginés, par des techniques de neuroimagerie, telles que l'électroencéphalographie (EEG) ou l'Imagerie par Résonance Magnétique fonctionnelle (IRMf), aide à appréhender le fonctionnement de l'IM et évaluer la qualité des représentations motrices (Collet *et al.*, 2013). Les données enregistrées ont ainsi pu mettre en évidence une similarité des réseaux neuronaux qui sous-tendent l'IM et l'exécution réelle (Guillot, Di Rienzo et Collet, 2014), mais aussi une spécificité de ces réseaux en fonction du type d'IM réalisé ou des capacités individuelles des sujets (Collet *et al.*, 2013).

Le **continuum fonctionnel** entre mouvement réel et mouvement simulé est actuellement établi : préparer une action, simuler mentalement une action, observer une action et réaliser une action mettraient en jeu des structures cérébrales communes. Roland, Lassen et Skinhoj en 1980 ont réalisé une des premières études de l'IM en IRMf. L'activation de l'aire prémotrice et de l'aire motrice supplémentaire (AMS) a été mise en avant et sera confirmée par la suite (in Collet *et al.*, 2013). Les différentes études s'accordent maintenant sur l'activation du cortex prémoteur, du cortex moteur primaire (M1), de l'AMS, du cortex pariétal inférieur et supérieur, du précuneus, des noyaux gris centraux (notamment le putamen) mais aussi du cervelet (Guilbert *et al.*, 2013 ; Collet *et al.*, 2013 ; Guillot *et al.*, 2014). Certains auteurs ont réfléchi au rôle que pourraient avoir ces différentes zones d'activité cérébrale. Les régions pariétales seraient impliquées dans la genèse des représentations motrices, comme le confirme le fait que des lésions pariétales altèrent la capacité à se représenter l'action (Collet *et al.*, 2013). Selon Jeannerod, l'IM solliciterait donc les mêmes structures neuronales qu'un mouvement réel mais des mécanismes d'inhibition bloquerait l'exécution

(Guilbert *et al.*, 2013) ; la face postérieure du cervelet jouerait ce rôle inhibiteur d'après Lotze et Halsband (2006). Les chevauchements des structures cérébrales activées suggèrent pour Jeannerod des effets positifs d'un entraînement par IM dans l'apprentissage moteur (1994).



**Fig. 4 : Schématisation de l'activité cérébrale en IM et rôles possibles des régions motrices (Guillot *et al.*, 2014)**

D'autre part, malgré les similitudes, l'exécution réelle et la simulation motrice ne sollicitent pas strictement les mêmes réseaux (Collet *et al.*, 2013 ; Lotze et Halsband, 2006). Des **différences** sont retrouvées lorsque l'on compare les activations cérébrales selon la perspective ou la modalité d'IM utilisée, le niveau d'expertise des sujets et leurs capacités individuelles d'IM (Guillot *et al.*, 2014).

Comparaison des activations cérébrales	Zones d'activations cérébrales	
	IM visuelle	IM kinesthésique
IM visuelle / kinesthésique	Régions occipitales, lobe pariétal supérieur, précuneus (Guillot <i>et al.</i> , 2009 ; 2014)	Régions motrices corticales et sous-corticales (cortex moteur primaire, cortex prémoteur, AMS, cervelet, ganglions de la base), lobe pariétal inférieur (Guillot <i>et al.</i> , 2009 ; 2014)
IM à la 1 <sup>ère</sup> personne / 3 <sup>ème</sup> personne	<b>IM à la 1<sup>ère</sup> personne</b>	<b>IM à la 3<sup>ème</sup> personne</b>
	Lobe pariétal inférieur et cortex somatosensoriel	Précuneus davantage impliqué (Guillot <i>et al.</i> , 2014)
Mauvais imageur / bon imageur	<b>Mauvais imageur</b>	<b>Bon imageur</b>
	Circuits cortico-striatal et cortico-cérébelleux	Circuit cortico-striatal seulement (Collet <i>et al.</i> , 2013)
Niveau d'expertise débutant / expert	<b>Débutant</b>	<b>Expert</b>
	Activations de zones plus larges (Guillot <i>et al.</i> , 2014)	Activations de zones moins larges et davantage le lobe pariétal supérieur

**Fig 5 : Comparaison des activations cérébrales selon le type d'IM et les capacités individuelles**



#### d) Développement de l'imagerie motrice chez l'enfant

Les capacités d'imagerie motrice émergent progressivement chez l'enfant. Selon Molina, Tijus et Jouen (2008), elles apparaîtraient entre 5 et 7 ans, ne seraient pas matures immédiatement mais continueraient à se développer rapidement entre 7 et 12 ans puis plus lentement jusqu'à la fin de l'adolescence. Ainsi, Guilbert *et al.* (2013) repèrent 3 grandes phases dans le développement des capacités d'IM :

- Entre 5 et 7 ans : émergence des capacités d'IM.
- Entre 7 ans et 9-10 ans : les mouvements simulés respecteraient la loi de Fitts, les enfants seraient donc capables d'intégrer des contraintes externes à la tâche en imagerie motrice.
- Entre 10 ans et la fin de l'adolescence : poursuite plus progressive de la maturation des capacités d'IM.

Pour arriver à ces conclusions, différents paradigmes ont permis d'évaluer les capacités d'IM chez le jeune enfant. Tout d'abord, Molina *et al.* (2008) ont étudié l'invariance temporelle entre les mouvements en IM et les mouvements réels à travers une expérience dans laquelle les enfants doivent soit apporter une poupée dans une maison en marchant, soit s'imaginer apporter cette même poupée dans sa maison en restant au point de départ. Deux groupes ont été faits :

- un groupe contrôle qui ne reçoit pas d'informations supplémentaires
- un groupe expérimental à qui il est indiqué que la poupée est lourde (le poids de la poupée est identique pour les deux groupes).

Cette expérience a montré que chez les enfants de 7 ans dans le groupe expérimental uniquement, ils intègrent le fait que la poupée est lourde et mettent ainsi plus longtemps que le groupe contrôle à l'apporter dans la maison, à la fois en condition réelle et en simulation. Il y a pour eux une corrélation entre le temps pour apporter la poupée en marchant et le temps pour imaginer l'apporter. Cette corrélation est absente chez les enfants de 5 ans. Ainsi, pour Molina *et al.* (2008), l'IM ne serait pas accessible à 5 ans et serait possible à l'âge de 7 ans seulement si l'enfant est contraint de simuler les conséquences proprioceptives de ses actions (il doit prendre en compte le poids ici). Il y a donc un développement progressif de ces habiletés.

D'autres auteurs (Caeyenberghs, Wilson, Van Roon, Swinnen et Smits-Engelsman, 2009) ont évalué l'invariance temporelle et l'émergence du respect de la loi de Fitts à travers un autre paradigme : la Tâche Radiale de Fitts (une tâche de pointage rapide présentée dans la partie II.3.a., p.21). Ils ont proposé cette tâche à des enfants de 6 à 16 ans. La loi de Fitts est respectée à partir de 6 ans pour les mouvements en condition réelle mais n'est respectée qu'à partir de 9-10 ans en condition de simulation ; leurs capacités d'IM sont alors plus efficaces et ils peuvent intégrer les contraintes extérieures à la tâche.

Plusieurs facteurs entrent en jeu dans le développement de ces habiletés d'IM. Tout d'abord, leur émergence semble en lien avec la maturation cérébrale notamment des aires préfrontales et pariétales (Molina *et al.*, 2008) mais aussi l'apparition des fonctions exécutives et notamment de l'inhibition (donc l'IM serait difficilement utilisable avant 8 ans selon Wilson *et al.* (2016)). D'autre part, le développement de l'IM serait lié à la capacité des enfants à utiliser les modèles internes du mouvement pour contrôler leurs actions motrices (Guilbert *et al.*, 2013). Avant 7 ans, ces modèles internes sont peu élaborés, l'enfant utilise davantage les informations sensorielles (surtout visuelles) qui lui parviennent au cours du mouvement pour vérifier le bon déroulement de son action (pas d'automatisation des mouvements) et cela pourrait limiter le développement des capacités d'IM. Entre 7 et 10 ans, il deviendrait peu à peu capable d'utiliser un contrôle prédictif du mouvement et pourrait alors intégrer les contraintes externes à son action, ce qui serait concordant avec l'émergence de la loi de Fitts pour les mouvements imaginés vers 9 ans (Guilbert *et al.*, 2013). Enfin, l'évolution des capacités d'IM semble aussi liée au développement moteur et ce même jusqu'à l'adolescence (Puyjarinet, 2015). Les enfants de moins de 6 ans, selon Bideaud et Courbois (1998) auraient besoin d'exécuter une tâche motrice pour être capable de la simuler mentalement (in Guilbert *et al.*, 2013). Ce ne serait qu'à partir de 7 ans qu'ils pourraient s'en passer.

Ainsi, les processus qui entrent en jeu dans le développement des capacités d'imagerie motrice sont nombreux et se recoupent. La maturation de tous ces processus se fait au fur et à mesure de l'évolution de l'enfant.

En conclusion de cette première partie, l'imagerie motrice est un concept complexe sous-tendu par la théorie des modèles internes du mouvement. Les capacités d'IM semblent n'émerger qu'à partir de 5 ans chez les individus et se perfectionnent au cours du développement en lien avec la maturation cérébrale, le développement moteur, des fonctions cognitives ou encore des modèles internes. Les représentations motrices accessibles en IM partagent de nombreux points communs avec l'exécution motrice réelle. C'est pourquoi, il peut aisément être supposé qu'un entraînement de ces capacités d'IM pourrait avoir un impact sur les performances motrices.

Il s'avère donc intéressant de savoir comment utiliser concrètement cette méthode et dans quel cadre. Dans la partie suivante, je présenterai l'impact qu'un entraînement à l'IM peut avoir sur la plasticité cérébrale et dans quels contextes l'IM peut être utilisée en pratique, en terminant par la présentation d'un protocole d'IM utilisé dans le cadre du TDC.

## **II) Utilisation pratique de l'imagerie motrice**

L'imagerie motrice est donc une faculté que l'homme peut développer et utiliser à diverses fins. Une découverte considérable a été faite : l'IM peut améliorer les performances motrices. Le simple fait d'imaginer une action motrice a des conséquences sur la plasticité cérébrale et donc la réalisation effective de ce qui a été imaginé. Partant de ce fait, des chercheurs ont supposé que l'IM pourrait avoir des effets bénéfiques dans les domaines du sport, de l'apprentissage moteur et de la rééducation motrice. Ainsi, des recherches ont été menées afin de trouver comment se servir de cette technique dans différents domaines et d'apprécier son efficacité. Pour Paivio en 1985, l'utilisation de l'IM aurait deux fonctions : la première est de nature motivationnelle, entraînant une augmentation du sentiment de maîtrise et d'estime de soi ; la seconde de nature cognitive, au travers de l'utilisation de la stratégie de répétition mentale pour améliorer les habiletés motrices (in Scialom *et al.*, 2015).

L'IM représente donc une technique prometteuse, nécessitant peu de matériel et peu onéreuse. Elle requiert moins d'effort physique que la pratique réelle, les répétitions peuvent être ainsi plus nombreuses sans risque de blessures (pas de stress mécanique) (Charrier et Mangin, 2018).

### 1) Imagerie motrice et plasticité cérébrale

#### a) Effets bénéfiques de l'imagerie motrice sur la plasticité cérébrale

L'imagerie motrice tirerait son efficacité du fait qu'elle participe à la plasticité cérébrale, c'est-à-dire à la réorganisation neuronale.

Mêmes si les études sont encore peu nombreuses sur ce sujet, il peut être observé des modifications au niveau neuroanatomique suite à l'entraînement mental, qui sont comparables à celles induites par la pratique physique réelle. Collet *et al.* (2013) font état de cette plasticité induite par un travail mental via les résultats de plusieurs études en neuro-imagerie qui effectuent deux enregistrements entrecoupés d'un entraînement intensif en IM. Des changements au niveau des activations du cortex prémoteur, du cortex pariétal, du cervelet et des noyaux gris centraux ont été notamment repérés (Jackson, Lafleur, Malouin, Richards et Doyon, 2001).

Comme nous l'avons montré, la simulation mentale d'un geste et l'exécution réelle de ce geste activent des réseaux neuronaux semblables. Cela permet de comprendre pourquoi la simulation mentale peut faciliter les apprentissages et améliorer les performances motrices. La plasticité cérébrale présente lors d'un apprentissage moteur serait aussi observée lors de la simulation mentale de l'action (Jackson *et al.*, 2001).

Par un processus top-down, l'IM donne lieu à des remaniements cérébraux (Scialom *et al.*, 2015). C'est notamment pour cela que cette technique interpelle et est utilisée dans des champs et des disciplines de plus en plus variés.

#### b) Le rôle des neurones miroirs

Les neurones miroirs ont été découverts par Rizzolatti chez les singes. Il s'agirait d'une catégorie de neurones qui s'activent aussi bien lorsque le singe effectue une action spécifique ou qu'il observe un autre individu en train d'exécuter la même action (Rizzolatti, 2006). Ce système serait également présent chez l'Homme et impliqué dans divers processus comme l'imitation, l'apprentissage par observation, l'empathie.

Selon certains auteurs, les neurones miroirs interviendraient dans le processus d'imagerie motrice (Puyjarinet, 2015). Par le biais de l'observation et de l'imitation d'un modèle, les neurones miroirs faciliteraient la formation des représentations motrices. Pour Jeannerod (2009), il se passerait exactement la même chose au niveau cérébral lorsque l'on observe et lorsque l'on agit.

### 2) Cadres d'utilisation de l'imagerie motrice

L'IM a tout d'abord été beaucoup étudiée et utilisée chez des sujets sains (sportifs notamment) puis s'est développée par la suite dans le cadre pathologique (domaine de la rééducation) chez les enfants, adultes et même chez les personnes âgées. C'est une technique innovante en psychomotricité qui pourrait s'avérer efficace dans la rééducation de troubles psychomoteurs tels que la dysgraphie ou le TDC. C'est ce qui sera développé dans cette partie.

#### a) Cadre normal

L'IM peut être utilisée chez les sujets normo-typiques. Pour cela, les sujets doivent avoir une connaissance minimale des différentes composantes de la tâche motrice avant de pouvoir la pratiquer en IM. La technique est fréquemment testée chez les athlètes et les musiciens.

D'une part, la pratique d'entraînement par IM est fréquente chez les **sportifs** de haut niveau depuis les années 1980 : simple d'utilisation, pouvant être pratiquée avec ou sans supervision, elle améliore les performances motrices (Scialom *et al.*, 2015). Elle intéresse notamment tous les sports qui laissent peu de place aux corrections au cours du mouvement (par exemple, tir au golf, saut en longueur, pénalty, saltos, vrilles...). L'anticipation du mouvement est primordiale dans ces activités sportives. L'IM aurait des effets bénéfiques chez les athlètes car en répétant la simulation mentale, ils recrutent le réseau neuronal correspondant à la tâche motrice qu'ils souhaitent réaliser. Ainsi,

cela renforce la transmission synaptique au sein de ce réseau comme lors d'un entraînement réel mais en diminuant considérablement le niveau de fatigue engendré ou le risque de blessures (Lotze et Halsband, 2006). L'innocuité de cette méthode intéresse les professionnels davantage que les amateurs (Cumming et Hall, 2002 in Lotze et Halsband, 2006). Les effets principaux notés chez les athlètes sont : une amélioration des performances motrices, un gain de force musculaire, une vitesse d'exécution augmentée mais également une meilleure coordination segmentaire (Puyjarinet, 2016).

D'autre part, les **musiciens** sont aussi adeptes de l'IM. Imaginer leur performance musicale les aiderait à apprendre et mémoriser la pièce musicale et les séquences de mouvements, mais aussi à améliorer la gestuelle. Pendant leur pratique mentale, on mesure une augmentation de la tension dans les muscles cibles suffisamment importante pour qu'apparaissent des mouvements visibles (par exemple, mouvements des doigts chez les violonistes) (Lotze et Halsband, 2006).

#### b) Cadre pathologique

Au vu des bénéfices potentiels que peut apporter l'IM, le milieu de la rééducation s'en est par la suite emparé. Les multiples recherches effectuées ont montré que les capacités d'IM étaient altérées dans certains troubles neurologiques : paralysie cérébrale (Guilbert *et al.*, 2013), accident vasculaire cérébral (AVC) (Lotze et Halsband, 2006), lésions de la moelle épinière (Sabbah *et al.*, 2002).

Ainsi, l'IM est utilisée en réhabilitation fonctionnelle afin de rééduquer les fonctions anticipatrices et prédictives du système nerveux et améliorer les compétences motrices. La Haute Autorité de Santé (HAS ; 2012) recommande son utilisation dans la prise en charge de patients devenus hémiparétiques suite à un **AVC** lorsqu'ils sont en phase chronique, en l'associant à d'autres traitements de rééducation motrice. Page, Levine, Sisto et Johnston (2001, in Lotze et Halsband, 2006) ont comparé une intervention en kinésithérapie classique pour rééduquer le mouvement de la main chez des adultes post-AVC, avec cette même intervention associée à de l'IM. L'ajout de l'IM potentialise les résultats.

L'IM est aussi utilisée chez des **patients amputés** présentant des **douleurs du membre fantôme** en complémentarité avec les thérapies miroirs ; mais aussi chez les adultes souffrant d'un **syndrome douloureux régional complexe** (Scialom *et al.*, 2015 ; Rulleau et Toussaint, 2014).

Par ailleurs, la technique s'est aussi développée auprès des **personnes âgées** et permettrait alors d'améliorer l'équilibre mais aussi de diminuer le coût attentionnel dans les situations de double tâche (Hamel et Lajoie, 2005 in Puyjarinet, 2015). Elle serait également prometteuse dans le cadre des **pathologies neurodégénératives** telle que la maladie de Parkinson.

### c) Cadre des troubles psychomoteurs

Qu'en est-il dans le cadre des troubles psychomoteurs ? L'IM peut également intéresser les psychomotriciens. Selon Wilson *et al.* (2002), elle pourrait être utilisée pour apprendre de nouvelles coordinations motrices, améliorer les performances actuelles, maintenir la concentration, développer la confiance en soi, induire de la relaxation ou encore favoriser la motivation. Ces domaines sont souvent la cible des rééducations psychomotrices. Différents troubles psychomoteurs ont fait l'objet d'études afin de voir si l'IM pourrait être bénéfique : la dystonie, la crampe de l'écrivain, le TDC mais aussi la dysgraphie.

Les sujets porteurs d'une **crampe de l'écrivain** présentent des particularités au niveau de leurs capacités d'IM : leurs représentations motrices ne suivent pas la loi de Fitts. Ainsi, cette forme de dystonie impliquerait des déficits de planification du geste graphique au niveau du SNC (Tumas et Sakamoto in Puyjarinet, 2015). L'entraînement par IM pourrait alors avoir un impact sur la prédiction de ce geste graphique.

Par ailleurs, Puyjarinet (2015) a mené une étude auprès d'enfants d'âge scolaire, pour comparer un protocole de rééducation basé sur la technique d'IM avec une approche métacognitive dans le cadre de la **dysgraphie**. Trois groupes ont été constitués : un qui a bénéficié d'un protocole d'IM, un autre bénéficiant de l'approche métacognitive et un groupe contrôle sans traitement. Les enfants ont eu une séance hebdomadaire pendant 12 semaines. Les auteurs sont partis du postulat que la production mentale du geste d'écriture pourrait mettre en jeu les modèles internes nécessaires à ce mouvement ; et l'amélioration de ces modèles par l'entraînement mental contribuerait à l'amélioration de certaines caractéristiques de l'écriture. Il est supposé que l'anticipation des paramètres spatiaux, kinesthésiques et temporels du geste graphique optimiserait le contrôle moteur proactif (prédictif). Les résultats montrent un effet positif et semblable des 2 techniques utilisées. Les enfants du groupe contrôle, quant à eux, n'améliorent pas spontanément leur écriture. Ainsi, l'IM semble efficiente dans la rééducation de l'écriture ; elle serait aussi efficace que l'approche métacognitive précédemment validée. Dans le cadre de cette étude, le groupe IM n'a pas beaucoup écrit pendant les séances et la rééducation s'est faite sans l'apport de feedbacks de la part du thérapeute sur la qualité de l'écriture. Ainsi, l'amélioration ne dépend pas de la répétition ou de l'apport d'analyses verbales du thérapeute. Par conséquent, l'IM semble prometteuse dans ce domaine et peut être un nouvel outil de rééducation de l'écriture à disposition du psychomotricien.

D'autre part, l'IM pourrait être utilisée auprès des enfants porteurs d'un **TDC**. Une amélioration des performances motrices a été montrée par l'utilisation de cette technique (Wilson *et al.*, 2002).

L'hypothèse d'un déficit en modèles internes est mise en avant dans cette population et serait à mettre en lien avec leurs difficultés motrices. Par conséquent, l'entraînement à l'IM viserait l'amélioration de l'anticipation des mouvements et ainsi pourrait être efficace pour normaliser la motricité de ces enfants (Puyjarinet, 2015). Cela sera davantage développé dans la suite de ce mémoire.

### 3) Protocole d'imagerie motrice dans la rééducation du TDC

L'imagerie motrice fait donc, de plus en plus, l'objet d'études et son utilisation, en tant que technique pour améliorer les performances dans divers domaines, ne fait que croître. Nous allons maintenant nous intéresser plus particulièrement à son utilisation en tant que technique de rééducation dans le cadre du TDC. Comment l'implémenter concrètement dans une prise en charge ? Comment se déroule un protocole ? Quels exercices doivent être réalisés ? Comment évaluer son efficacité ? Quels facteurs sont à prendre en compte pour potentialiser les effets de la technique ? ... Tant de questions auxquelles nous tenterons de répondre dans cette partie.

#### a) Evaluation des capacités d'imagerie motrice

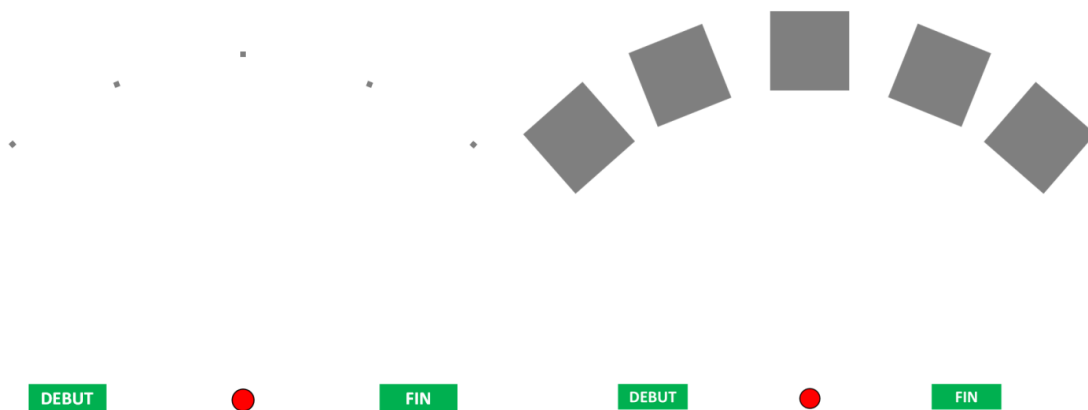
Afin de savoir auprès de quels patients nous pouvons utiliser cette technique et afin d'évaluer l'efficacité d'un entraînement par IM, il est important d'avoir des moyens d'évaluation des capacités d'IM des patients. Martini, Carter, Yoxon, Cumming et Ste-Marie (2016) indiquent l'importance de multiplier les évaluations pour voir si l'enfant peut avoir accès un minimum à l'IM et pourrait alors bénéficier d'une rééducation basée sur cette technique. En effet, il semblerait nécessaire que l'enfant ait une capacité minimale d'accès à l'IM, que ses capacités cognitives et attentionnelles soient suffisamment développées pour qu'il comprenne ce que l'on attend de lui et que l'utilisation de la technique soit possible. Toutefois, bien qu'il existe des tests pour l'évaluation de l'IM chez l'adulte, aucun n'est pour l'instant établi chez l'enfant. Le rapport d'expertise collective de l'Inserm sur le TDC (Albaret *et al.*, 2019, p. 105) indique que « le groupe d'experts recommande de soutenir un travail de recherche développementale pour construire (puis étalonner et valider) des outils d'évaluation des modèles internes en s'inspirant des tests existants déjà pour l'adulte ». Puyjarinet et ses collaborateurs ont commencé l'étalonnage auprès d'enfants de 7 à 11 ans de deux tests souvent utilisés dans le domaine expérimental : la Tâche Radiale de Fitts (Puyjarinet, Connan et Soppelsa (en préparation)) et le Test d'Imagerie Motrice Implicite (Puyjarinet, Connan et Soppelsa (soumis)), afin que ces deux outils puissent par la suite être utilisés par différents praticiens.

Dans le cadre de ce mémoire, j'ai pu avoir accès au matériel de ces 2 tests. Etant récents et encore peu connus, il me semble intéressant de les décrire de façon précise dans cette partie pour faciliter la compréhension de la suite de ce mémoire. Du fait de la complexité du concept d'imagerie motrice, les outils présentés ci-après permettront d'évaluer certaines dimensions précises de l'IM. Ce sont des paradigmes et questionnaires majoritairement utilisés dans la littérature mais qui peuvent quelque peu varier dans la forme selon les études.

- **Epreuve de chronométrie mentale : le Test de la Tâche Radiale de Fitts :**

Pour évaluer les capacités d'IM, un paradigme de chronométrie mentale est souvent utilisé.

L'épreuve se compose d'un matériel simple : 20 planches A4 constituées chacune d'une case de « début » et d'une case de « fin », d'un point rouge central et de 5 cibles grises de forme carré, situées en arc de cercle par rapport au point central rouge. La taille des cibles varie selon les planches, il existe cinq largeurs différentes : 2,5 mm, 5 mm, 10 mm, 20 mm et 40 mm (cf. Fig. 6). L'enfant est assis et tient dans sa main un crayon sans mine.



**Fig. 6 : Exemple de planches de la Tâche Radiale de Fitts (planche des cibles de 2,5mm à gauche, planche de 40mm à droite) (Puyjarinet, Connan et Soppelsa (en préparation))**

La tâche est divisée en 2 conditions :

- Une **condition réelle** qui consiste à pointer la case de « départ » puis pointer le rond rouge central avec le crayon (ce mouvement entraîne le déclenchement du chronomètre) et effectuer des allers-retours successifs entre ce point rouge et les 5 cibles de gauche à droite. Le sujet place ensuite son crayon sur la case « fin » et le chronomètre est arrêté.
- Une **condition simulée** (IM) qui consiste à pointer la case de « départ » puis le rond rouge central. Mais cette fois-ci le sujet doit garder son crayon sur ce rond rouge et imaginer les allers-retours successifs de son bras, sa main et son crayon entre les différentes cibles grises (il



ne doit alors effectuer aucun mouvement). Une fois que la tâche est réalisée mentalement, il peut placer son crayon sur la case de « fin » pour indiquer à l'évaluateur qu'il a terminé la simulation. Cela doit se faire en gardant les yeux ouverts car il faut que le sujet imagine que son crayon vienne bien pointer l'intérieur des cibles et du rond rouge. Ce test permet donc l'évaluation des capacités d'IM explicites. En effet, on demande explicitement au sujet de se représenter mentalement son bras et son crayon et d'essayer de le voir se déplacer mentalement entre les cibles (c'est l'IM à la 1<sup>ère</sup> personne qui est sollicitée).

L'évaluateur indique au sujet d'être précis en visant correctement les cibles et d'aller le plus vite possible. Le test débute par une démonstration et un essai d'entraînement pour les 2 conditions. Ensuite, on lui propose les 20 planches dans un ordre prédéterminé dont les largeurs de cibles suivent un ordre aléatoire ; une planche sur 2 va être réalisée en condition réelle et en condition simulée (Puyjarinet, Connan et Soppelsa (en préparation)).

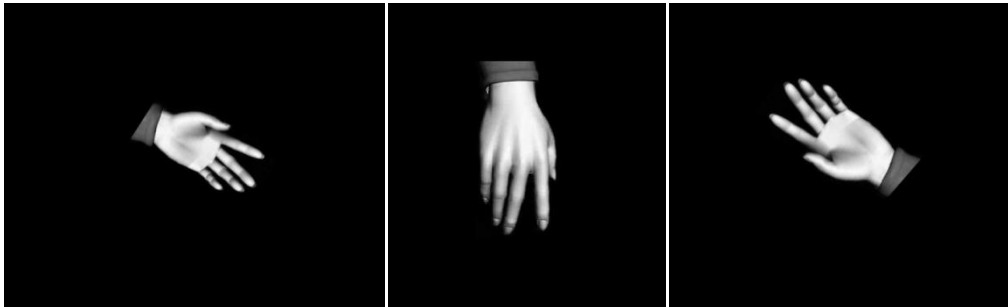
L'évaluateur va étudier les corrélations entre le temps que met le sujet pour effectuer mentalement les mouvements et le temps nécessaire pour les exécuter réellement. Les résultats allant dans le sens de bonnes capacités d'IM sont les suivants : une isochronie temporelle est censée être retrouvée pour les 2 conditions (réelle et imaginée) d'une même taille de cible. Aussi, plus la largeur de la cible est petite, plus il faut être précis donc plus le temps pour effectuer la tâche croît (loi de Fitts). Nous verrons dans la prochaine partie que chez les sujets TDC, ce type d'épreuve peut révéler un déficit dans les capacités d'IM explicites (Wilson *et al.*, 2001). Ainsi, l'utilisation de ce test peut s'avérer utile pour à la fois connaître le niveau de départ du sujet mais également apprécier l'évolution probable suite à un entraînement en IM.

- **Epreuve de rotation mentale : le Test d'Imagerie Motrice Implicite (TIMI-1) :**

Les représentations mentales en IM conserveraient les caractéristiques biomécaniques de l'action réelle, donc respecteraient les possibilités anatomiques du corps (cf. I.2.b. p.11). Par le biais de la rotation mentale, les sujets vont devoir dans cette épreuve juger de la latéralité de mains présentées sur des photographies dans différentes orientations.

L'épreuve est effectuée via l'utilisation d'un ordinateur placé devant l'enfant. L'évaluateur doit se placer en retrait par rapport à l'enfant de sorte à ne pas créer d'interférences dans son champ visuel. 48 planches de stimuli vont apparaître une à une sur l'ordinateur. Sur chaque planche, une main est présentée dans une orientation particulière (cf. Fig.7). Il y a 6 orientations angulaires possibles pour chaque main soit 12 stimuli possibles. Chaque stimulus est donc répété 4 fois pendant l'épreuve et

les planches sont présentées dans un ordre prédéfini aléatoire (Puyjarinet, Connan et Soppelsa (soumis)).



**Fig. 7 : Exemples de planches du Test d’Imagerie Motrice Implicite (Puyjarinet, Connan et Soppelsa (soumis))**

Le sujet a pour consigne de déterminer le plus rapidement possible s’il s’agit d’une main droite ou d’une main gauche. Il doit être installé de sorte que ses mains soient cachées sous la table et posées sur ses genoux. Il lui est indiqué de ne pas chercher à observer ses mains et de n’effectuer aucun mouvement de celles-ci. Pour donner sa réponse, il devra uniquement lever sa main droite s’il estime que c’est une main droite qui est représentée et inversement. Le chronomètre est déclenché quand la main apparaît et arrêté lorsque le sujet lève une de ses mains en guise de réponse. Seule la première réponse est prise en compte dans la notation. Deux exemples sont réalisés avant la passation des 48 stimuli.

Via cette épreuve, l’évaluateur cherche à faire appel à l’utilisation de l’IM de façon implicite. Dans la littérature, l’utilisation de ce type de test de jugement de latéralité manuelle peut être faite en demandant de façon explicite aux sujets de faire appel à l’IM. Dans cette version récente du TIMI-1 (Puyjarinet, Connan et Soppelsa (soumis)), il n’est pas indiqué aux sujets d’imaginer leurs propres mains effectuer des rotations, toutefois il est estimé que c’est ce mécanisme qui sera sollicité (IM d’un point de vue égocentré). Le temps de réaction avant la réponse serait alors censé refléter le temps nécessaire pour simuler le mouvement de rotation de sa propre main pour atteindre la position de la main cible. De cette manière, plus la rotation à effectuer est longue, plus le temps de réaction est allongé. Aussi, si la simulation mentale respecte bien les contraintes biomécaniques du corps, alors les orientations anatomiquement plus difficiles à atteindre demandent plus de temps au sujet pour donner sa réponse (Rulleau et Toussaint, 2014 ; Wilson *et al.*, 2004).

- **Questionnaires d’auto-évaluation :**

Les questionnaires d’auto-évaluation des capacités d’IM sont des méthodes subjectives d’évaluation. Pour le sujet, il peut être complexe d’accéder à cette capacité d’auto-observation,

d'auto-évaluation et de retranscrire les caractéristiques de ses représentations mentales. C'est pourquoi ces questionnaires sont majoritairement utilisés chez l'adulte. Il en existe plusieurs, on peut citer : le KVIQ (*Kinesthetic and visual imagery questionnaire*, pour les personnes présentant un déficit moteur) (Malouin *et al.*, 2007), le VMIQ (*Vividness of Motor Imagery Questionnaire*) (Isaac, Marks et Russell, 1986) ou encore le MIQ-RS (*Movement Imagery Questionnaire-Revised 2<sup>nd</sup> version*) que j'ai décidé de décrire plus précisément.

Ce dernier, le **MIQ-RS**, élaboré par Gregg, Hall et Butler (2010 in Loison *et al.*, 2013) semble être un des plus utilisés. C'est une version révisée du MIQ-R (les mouvements à effectuer ont été simplifiés) et traduite en français par Loison *et al.* (2013). Ce questionnaire comprend 14 items. Pour la passation, l'évaluateur lit une action au sujet qui doit l'effectuer. Il s'agit d'un mouvement simple à réaliser concernant les membres supérieurs ou inférieurs, le corps dans son ensemble ou encore une activité de la vie quotidienne (par exemple, en position debout lever un genou le plus haut possible puis reposer la jambe, ou encore en position assise, s'incliner vers l'avant et faire semblant d'attraper un verre et le reposer). Une fois l'action réalisée, le sujet doit se remettre en position de départ et doit réaliser le mouvement en imagerie : soit il lui est demandé de s'imaginer se sentir en train de faire le mouvement, soit de se voir en train de le faire. De cette manière, deux échelles vont pouvoir être remplies selon la consigne donnée : une échelle d'imagerie visuelle et une échelle d'imagerie kinesthésique (cf. Fig. 8). Elles comprennent 7 modalités de réponse selon s'il a été facile ou plus difficile de visualiser ou sentir la tâche en imagerie.

**Échelle d'imagerie visuelle**

Très difficile à visualiser	Difficile à visualiser	Assez difficile à visualiser	Neutre (ni facile ni difficile)	Assez facile à visualiser	Facile à visualiser	Très facile à visualiser

**Échelle d'imagerie kinesthésique**

Très difficile à sentir	Difficile à sentir	Assez difficile à sentir	Neutre (ni facile ni difficile)	Assez facile à sentir	Facile à sentir	Très facile à sentir

**Fig. 8 : Les deux échelles du MIQ-RS version française à remplir par le sujet pour chacun des items (Loison *et al.*, 2013)**

Des scores sont calculés par rapport aux réponses du sujet et permettent d'apprécier ses capacités d'IM, savoir s'il est aisé pour lui d'y accéder mais aussi quelle modalité d'imagerie lui est la plus accessible : kinesthésique ou visuelle. Si un entraînement en IM lui est ensuite proposé, le thérapeute pourra guider le patient de façon plus adaptée en s'appuyant sur l'une de ces modalités.

Des auteurs (Martini *et al.*, 2016) ont cherché à adapter la version du MIQ pour des enfants de 7 à 12 ans pour obtenir plus d'informations sur les caractéristiques de l'imagerie utilisée (la perspective, la modalité visuelle ou kinesthésique). Ils ont ainsi simplifié le langage et les consignes, ainsi que l'échelle. Un évaluateur administre le questionnaire pour s'assurer de la compréhension et pour poser davantage de questions pour obtenir des précisions.

Un autre questionnaire pouvant être utilisé chez les sujets TDC est le **Praxis Imagery Questionnaire**. Il n'a pas été traduit en français mais utilisé par Wilson *et al.* (2001). Il s'agit d'un questionnaire adapté du *Florida Praxis Questionnaire* pour être utilisé auprès des enfants. Il y a 12 items correspondant à 12 activités de la vie quotidienne. Ces items sont répartis dans 4 échelles permettant d'évaluer 4 dimensions de l'imagerie : échelle kinesthésique, position du corps, action, objet (Wilson *et al.*, 2001).

#### b) Les différentes étapes d'un protocole d'imagerie motrice

La littérature est encore pauvre en descriptions précises des contenus des protocoles d'IM et du cadre des séances d'IM. Braun *et al.* (in Rulleau et Toussaint, 2014) proposent un cadre général d'utilisation de cette technique : débiter par une évaluation des capacités du patient à suivre un programme d'IM, puis expliquer et enseigner la technique d'IM au patient en l'intégrant à la prise en charge. Enfin, ils préconisent de développer chez le patient une capacité à auto-générer son traitement, en s'appropriant la technique et en élargissant son utilisation hors du cadre des séances par exemple.

Les premiers à développer un protocole spécifique à la rééducation de la motricité chez les enfants porteurs d'un TDC sont Wilson *et al.* (2002). Leur protocole dure 5 semaines à raison d'une séance hebdomadaire d'une heure qui se décompose en 6 étapes :

1 : **Exercices d'imagerie visuelle de type anticipation-coïncidence** afin d'améliorer la précision des images mentales et le timing prédictif qui est une fonction permettant de prédire à quel moment un évènement va se dérouler. Le sujet doit prévoir le déplacement d'un objet et le moment où il parvient à un endroit déterminé alors qu'une partie de la trajectoire est cachée. Ils utilisent pour cela une tâche de prédiction sur ordinateur.

2 : **Exercices de relaxation et de préparation mentale** afin de réduire les tensions musculaires, améliorer la perception kinesthésique et l'efficacité de l'IM (par le biais de l'utilisation de la méthode Jacobson, l'imitation de postures et mouvements simples en imagination...).

3 : **Modèle visuel d'habiletés motrices via l'observation de vidéos** d'un modèle opérant réalisant des habiletés motrices telles que des lancers, réceptions de balles, shoot au pied, sauts,

lancers avec batte de baseball, corde à sauter, courses... (Wilson *et al.*, 2002 ; 2016 ; Adams *et al.*, 2017). Pendant cette étape, il doit observer les étapes de la coordination en statique (photos) puis dynamique (vidéos) sous différents angles de vue, à vitesse normale ou ralentie.

4 : **Répétition mentale d'un point de vue externe** (à la 3<sup>ème</sup> personne) : il est demandé à l'enfant de s'imaginer en train de réaliser cette activité motrice d'un point de vue externe.

5 : **Répétition mentale d'un point de vue interne** (à la 1<sup>ère</sup> personne)

6 : **Pratique motrice réelle** : Le sujet peut alors exécuter réellement l'habileté. Entre les essais il est convié à pratiquer de la répétition mentale en IM en tentant de ressentir les sensations proprioceptives et kinesthésiques associées au mouvement.

Par la suite, s'inspirant des travaux de Wilson *et al.*, Puyjarinet développe en 2015 un protocole d'IM pour la rééducation de la dysgraphie en reprenant ces différentes étapes et en fusionnant les étapes 4 et 5. Il réalise le temps de relaxation plutôt au travers d'exercices de pleine conscience. Les séances durent moins longtemps (environ 20-25 minutes pour réaliser l'ensemble du protocole). Adams *et al.* (2016 ; 2017), quant à eux, n'effectuent pas les exercices d'entraînement au timing prédictif ni la relaxation mais donnent aux participants un travail à effectuer à la maison entre chaque séance hebdomadaire et débutent ainsi leurs séances par un retour sur ce travail personnel avant de décrire l'objectif de la séance du jour et commencer le visionnage des vidéos.

#### c) Conditions de bonnes pratiques pour l'utilisation d'un protocole d'IM

Des recherches ont été effectuées afin de trouver ce qui serait le plus efficient dans un protocole d'IM. Un modèle a également été créé pour fournir des directives pour augmenter la qualité et l'impact des séances d'IM : il s'agit du modèle PETTLEP.

- **Modèle PETTLEP :**

Le modèle PETTLEP a été créé par Holmes et Collins (2001) et est basé sur des études en neurosciences et psychologie du sport. PETTLEP est l'acronyme des 7 composants importants à implémenter lorsque l'on met en place une intervention utilisant la technique d'IM :

- **Physique** (*physical*) : L'IM semble mieux fonctionner quand le sujet essaie de ressentir le plus de sensations kinesthésiques et proprioceptives. Des ébauches de mouvement en IM pourraient faciliter le ressenti des sensations (Puyjarinet, 2016). Aussi, la position dans laquelle l'IM est réalisée doit être prise en compte.
- **Environnement** (*environment*) : L'environnement dans lequel se déroule la séance d'IM doit être le même que celui représenté sur les vidéos (même matériel, même salle, même

environnement d'entraînement ou de compétition pour les sportifs) afin de faciliter l'accès à une représentation (Adams *et al.*, 2016).

- **Tâche** (*task*) : La tâche imaginée doit être similaire à la tâche visée (même gestuelle, même position) (Charrier et Mangin, 2018). La tâche peut aussi être manipulée à 3 niveaux : connaissance de la tâche, apprentissage du geste, perspective présentée (Puyjarinet, 2016). Ainsi si le guidage du geste appris est externe (comme pour les lancers et réceptions de balles) alors un travail à partir d'une vidéo en point de vue allocentré est utilisé. Au contraire si c'est une tâche requérant un guidage interne du mouvement (comme l'écriture), on privilégie un travail d'observation d'un point de vue égocentré.
- **Timing** (*timing*) : Systématiquement, il faut rechercher une équivalence temporelle entre mouvement réel et imaginé. La vitesse de visualisation doit être identique à la vitesse de production.
- **Apprentissage** (*learning*) : Les exercices travaillés en IM doivent être de complexité croissante, tenant compte des progrès du sujet. Il faut chercher à ce que l'IM soit de plus en plus précise également (Charrier et Mangin, 2018).
- **Emotion** (*emotion*) : Il est nécessaire de prendre en compte l'état émotionnel initial du sujet ainsi que les émotions qui peuvent être suscitées par l'IM. En effet, l'excitation, les pensées négatives, l'inattention altèrent la création des images motrices (Puyjarinet, 2016).
- **Perspective** (*perspective*) : La perspective à la 3<sup>ème</sup> personne semble être plus efficace au départ pour comprendre le mouvement et la position des membres dans l'espace. L'utilisation de la perspective égocentrée pourrait par la suite aider au ressenti des sensations associées au mouvement. Parfois, combiner les deux perspectives peut être encore plus efficace.

Ainsi, ce modèle peut servir aux psychomotriciens qui souhaitent utiliser la technique de l'IM, il permet de guider la pratique pour en tirer le maximum de bénéfices.

- **Conditions de bonnes pratiques :**

D'autres auteurs, Schuster *et al.* (2011), ont fait une revue de littérature afin d'identifier d'autres caractéristiques des séances d'IM qui seraient fructueuses. Les interventions en IM étant très hétérogènes, les cliniciens ont souvent du mal à savoir quels éléments caractérisent une séance d'entraînement par IM optimale. Cette méta-analyse a donc identifié les différences entre les études qui obtiennent des résultats positifs et celles qui n'obtiennent aucun changement ou des résultats négatifs dans différents domaines.

Les éléments qui ressortent comme potentiellement fonctionnels sont notamment :

- Le fait de faire des séances d'IM individuelles, supervisées mais non directives
- D'alterner l'IM avec la pratique réelle
- Effectuer les temps d'IM les yeux fermés
- Ne pas réaliser plus de 2 essais d'IM par minute et limiter le nombre d'essais d'IM par séance

D'autres auteurs rajouteront par la suite des éléments :

- Une disponibilité attentionnelle semble primordiale
- Limiter le temps à 20 minutes de pratique par session (Puyjarinet, 2016)
- Ralentir la visualisation pour insister sur certains passages difficiles de l'action à réaliser serait efficace (Rulleau et Toussaint, 2014)
- Combiner l'IM avec des phases d'observation de démonstrations ou vidéos de l'action à réaliser, en tâchant à ce que le modèle soit dans le même contexte avec le même matériel

Ces données sont à prendre en compte avant la mise en place d'un protocole d'IM en rééducation. Elles peuvent guider le praticien, tout en cherchant à rendre la technique la plus optimale possible.

En synthèse de cette partie sur l'utilisation pratique de l'IM, il est à noter que :

- L'IM est une technique prometteuse en rééducation car elle met en jeu des processus de plasticité cérébrale
- La technique est utilisée dans des champs variés auprès de sportifs, musiciens, mais également en rééducation neurologique et psychomotrice
- L'évaluation des capacités d'IM des sujets est indispensable avant de débiter tout protocole, de nombreux tests et questionnaires sont retrouvés dans la littérature
- Wilson *et al.* (2002) sont les premiers à avoir développé un protocole d'IM pour la rééducation d'enfants porteurs d'un TDC
- Les cliniciens peuvent s'appuyer sur les conditions de bonne pratique issues des différentes études sur le sujet ainsi que sur le modèle PETTLEP afin de guider leur pratique

### **III) TDC et imagerie motrice**

Comme nous l'avons noté dans l'introduction, le TDC est avant tout un problème de coordination motrice. Cependant, de nombreuses études ont été menées auprès des sujets porteurs d'un TDC afin d'apprécier leurs capacités d'IM et il se trouve que des anomalies et des difficultés d'accès à l'IM sont présentes chez la plupart de ces sujets (Albaret *et al.*, 2019). Elles seraient selon plusieurs auteurs, le signe d'un déficit au niveau des modèles internes. Ceci sera présenté dans cette partie et

je terminerai par un état des lieux des études portant sur l'efficacité de l'IM en tant que technique de rééducation dans le cadre du TDC.

### 1) Anomalies d'imagerie motrice chez le sujet TDC

Les paradigmes d'évaluation des capacités d'IM ont été repris par différents auteurs dans le cadre d'études pour rechercher d'éventuelles anomalies dans les capacités d'IM chez les sujets TDC.

- Questionnaires : Praxis Imagery Questionnaire :

Tout d'abord, Wilson *et al.*, (2001) ont montré que les déficits d'imagerie chez les sujets TDC portent principalement sur l'imagerie motrice kinesthésique ; l'imagerie visuelle étant préservée. En effet, lors de la passation du Praxis Imagery Questionnaire, ces sujets sont légèrement mais significativement plus en difficulté que les sujets contrôles pour répondre aux questions de l'échelle kinesthésique uniquement. Cela ne serait pas lié à un manque d'expérience, des difficultés pour réaliser la tâche, des problèmes de mémoire ou d'accès à l'imagerie, car ils sont capables de répondre aux questions des 3 autres échelles pour les mêmes gestes.

- Chronométrie mentale et loi de Fitts :

Par ailleurs, il n'est pas retrouvé d'équivalence temporelle entre les mouvements réels et imaginés chez les sujets TDC. Généralement la durée des mouvements imaginés est plus courte que la durée des mouvements réels (Wilson *et al.*, 2001).

D'après Maruff, Wilson, Trebilcock et Currie (1999), chez les enfants TDC, contrairement à des sujets contrôles, seuls les mouvements réels se conforment à la loi de Fitts. Les mouvements imaginés ne suivent pas cette loi, ils ne sont pas contraints par les mêmes facteurs biomécaniques et environnementaux que les mouvements réels.

Wilson *et al.*, 2001 ont évalué un groupe contrôle et un groupe d'enfants TDC sur l'épreuve de la VGPT (Visual Guided Pointed Task). Il s'agit d'une tâche de pointage se rapprochant de la tâche radiale de Fitts que nous avons présentée. Les résultats sont semblables à ceux retrouvés par Maruff *et al.*, (1999). Ils ont ajouté une condition : la tâche est effectuée avec un stylo qui a été lesté. L'effet de l'ajout du poids diffère selon les groupes. Pour les mouvements réels, aucun changement de durée n'est noté pour les 2 groupes (ils ont généré plus de force). A l'inverse, pour les mouvements imaginés, les sujets du groupe contrôle mettent plus de temps pour réaliser la tâche, ce n'est pas le cas des sujets TDC pour qui l'addition du poids ne ralentit pas les mouvements imaginés (loi de Fitts non respectée). Ils présentent donc un déficit pour se représenter à la fois les composantes de force et de timing des mouvements imaginés.



- Jugement de latéralité manuelle :

Selon Wilson *et al.*, (2004), les sujets TDC ont tendance à répondre plus rapidement que le groupe contrôle lorsque la rotation à réaliser augmente, cela ne respecte pas les contraintes biomécaniques du corps. Les auteurs pensent que les sujets utiliseraient une stratégie alternative basée sur la rotation mentale d'objet (en considérant la main présentée comme un objet) plutôt que la simulation de la rotation de leur propre main. Cela suggère des difficultés à imaginer des mouvements depuis une perspective égocentrée.

A l'inverse, plus récemment, Barhoun *et al.*, (2019) ont réalisé une méta-analyse portant sur la performance des enfants TDC aux tâches de rotation mentale et jugement de latéralité manuelle. Globalement, les résultats évoquent une mise en jeu des processus d'IM par tous les sujets. Ils notent tout de même des particularités : les sujets TDC ont un temps de réaction plus long que les sujets contrôles et ils commettent plus d'erreurs.

Les résultats diffèrent selon les études, il convient de rester prudent quant à l'interprétation, d'autant que les modalités de cette épreuve peuvent varier.

## 2) Hypothèse du déficit de représentation interne chez le sujet TDC

### a) Hypothèse du déficit de modèles internes

Depuis quelques années maintenant, les anomalies repérées dans les capacités d'IM des sujets TDC sont expliquées par l'hypothèse d'un déficit à utiliser les modèles internes du contrôle moteur. Il s'agit d'une des hypothèses étiologiques dans le cadre du TDC. Le déficit en modèles internes, et donc en contrôle moteur, serait en lien avec les difficultés motrices.

Wilson *et al.* (2013) ont réalisé une méta-analyse dans le but de recenser les principaux déficits cognitifs et les déficits en contrôle moteur repérés chez les sujets TDC dans la littérature. Plusieurs déficits sont notés : en coordination rythmique, contrôle de la posture et de la marche, actions d'interception ; mais également des déficits cognitifs au niveau des fonctions exécutives (notamment en mémoire de travail, attention, planification et inhibition).

Par ailleurs, les sujets présentant un TDC auraient plus de mal que leurs pairs à utiliser un modèle prédictif de l'action (modèle interne direct), à anticiper. Or, les modèles internes servent à assurer la stabilité du système via des corrections rapides au cours du mouvement, avant même qu'un feedback sensorimoteur lent ne soit disponible (contrôle en boucle ouverte) (Adams, Lust, Wilson et Steenbergen, 2014). Le déficit en modèle interne prédictif chez les TDC compromettrait à la fois

la stabilité de leur système moteur mais aussi leurs capacités d'apprentissages moteurs (apprentissage de nouveaux modèles internes ou modifications des modèles préexistants par le biais de la répétition).

L'hypothèse du déficit des modèles internes (DMI) se traduirait par une difficulté à générer une copie d'efférence efficace (Wilson *et al.*, 2001). La copie d'efférence permet normalement de pallier les faiblesses d'un contrôle moteur en boucle fermée pour lequel l'attente d'un feedback lent est nécessaire afin de réaliser une correction. Le déficit en copie d'efférence et l'utilisation majoritaire du contrôle en boucle fermée chez les sujets TDC expliqueraient leur lenteur motrice, les erreurs possibles au cours des mouvements (variabilité importante), ainsi que leur dépendance aux feedbacks visuels (Adams *et al.*, 2017). Si nous prenons l'exemple d'un mouvement nécessitant deux étapes, il faut tenir compte des erreurs lors du premier mouvement pour corriger la commande motrice du 2<sup>nd</sup> mouvement afin qu'il atteigne le but désiré. Si la copie d'efférence n'est pas performante, que les erreurs ne sont pas prises en compte et que les rétroactions du premier mouvement sont trop lentes pour pouvoir être utilisées, alors le 2<sup>nd</sup> mouvement sera lancé avec une erreur dans la commande motrice et le but ne sera pas atteint. De fait, le nombre d'erreurs de planification augmente proportionnellement à la complexité d'une tâche (du nombre d'étapes). Cela explique aussi pourquoi, dans les environnements complexes et changeants, les sujets TDC se retrouvent en difficulté (Geuze, 2005).

Les répétitions d'une même tâche par un enfant présentant un TDC ne sont jamais identiques. Cette variabilité importante retrouvée dans le TDC renvoie à la notion de bruit neuromoteur qui correspond aux fluctuations et perturbations contaminant constamment notre système moteur. Plus une tâche est complexe, plus le bruit peut s'avérer important (Smits-Engelsman et Wilson, 2013). Dans le développement normal, le bruit diminue avec la pratique répétée du mouvement, les modèles internes deviennent de plus en plus précis. Toutefois, dans le TDC, le bruit n'est pas diminué par la répétition, la mise à jour des modèles est altérée. Un travail d'amélioration du contrôle moteur prédictif permettrait de réduire ce bruit neuromoteur et donc la variabilité comportementale retrouvée dans le TDC (Puyjarinet, 2019).

#### b) Preuves actuelles de ce déficit de modèles internes (DMI)

Plusieurs études ont tenté de vérifier cette hypothèse de DMI. A l'heure actuelle, plusieurs preuves vont dans le sens de ce déficit en modèles internes.

Tout d'abord, une altération de la capacité à générer des copies d'efférence performantes pourrait constituer une preuve de ce DMI. Wilson *et al.* (2001) ont testé cela par le biais de la Double-Step Saccade Task (DSST). Il est demandé au sujet de fixer visuellement un point central. Deux cibles visuelles apparaissent successivement. La deuxième saccade oculaire doit être programmée en se basant sur le point d'arrivée prédit de la 1<sup>ère</sup> saccade. Il faut alors utiliser la copie d'efférence du mouvement de la 1<sup>ère</sup> saccade. Des difficultés sont relevées sur cette tâche pour les enfants TDC : le point d'arrivée de leur 2<sup>ème</sup> saccade oculaire est moins précis que pour les sujets contrôles. Cela va dans le sens de l'hypothèse de déficit dans le processus de copie d'efférence qui sous-tendrait la faiblesse des performances motrices des sujets TDC.

Adams *et al.*, en 2014, ont réalisé une méta-analyse regroupant 48 articles testant l'hypothèse de DMI. Le développement des modèles internes étant spécifique au système effecteur concerné, ils ont tenté de voir si le déficit en modèles internes dans le TDC concerne un système particulier. Les résultats sont ainsi donnés pour trois domaines qui impliquent la génération de modèles internes :

- Attention visuospatiale et contrôle oculomoteur : Les enfants TDC présentent un déficit de contrôle prédictif et de planification des mouvements des yeux, le suivi de cible est souvent compliqué. En IM, ils présentent souvent un déficit de contrôle attentionnel endogène.
- Contrôle des actions manuelles : Dans ce domaine, leurs performances sont plus lentes, plus variables, moins précises que des sujets contrôles et ce d'autant plus que la tâche est complexe. Ils ont du mal à adapter leurs mouvements aux contraintes extérieures. En IM, pour ce type de tâche, les mouvements simulés ne suivent pas la loi de Fitts et ils présentent des difficultés importantes pour mettre en jeu un contrôle moteur prédictif.
- Contrôle postural dynamique : Les ajustements posturaux anticipés dans le TDC seraient moins efficaces et retardés par rapport à des sujets contrôles. Il y aurait peu de stabilité posturale et une altération des modèles prédictifs des ajustements posturaux.

Le DMI se retrouve ainsi dans plusieurs systèmes de contrôle moteur (oculomoteur, manuel, postural).

Plus récemment, Wilson *et al.*, (2017) ont aussi réalisé une méta-analyse regroupant 91 études présentant d'autres preuves de ce DMI. Les études en neuroimagerie incluses ont montré des différences à la fois structurales et fonctionnelles chez les sujets TDC par rapport aux enfants ayant un développement normal. Ces différences altèreraient la capacité à utiliser des modèles internes efficaces et réduiraient les possibilités d'automatisation des compétences motrices. Les difficultés sont surtout présentes en double tâche, pour les tâches qui requièrent une planification en amont ou des ajustements et adaptations au cours de l'exécution.

L'ensemble de ces travaux convergent ainsi vers une validation de l'hypothèse du déficit en modèles internes chez les TDC.

c) Liens entre déficit de modèles internes et difficultés motrices chez le sujet TDC

La présence d'un déficit des capacités d'IM, qui rend compte de l'intégrité des modèles internes, varierait selon le degré de sévérité du TDC ainsi que la complexité de la tâche. Williams, Thomas, Maruff et Wilson (2008) ont mené une étude pour apprécier d'éventuelles différences en fonction du degré de sévérité du TDC. Ils ont montré que les enfants avec un TDC sévère (score inférieur au percentile 5 au M-ABC) sont en difficulté sur la tâche de rotation mentale proposée, quelle que soit la complexité de la tâche. Toutefois, les enfants avec un TDC léger (score entre le percentile 6 et 15) seraient plutôt en difficulté lorsque la complexité de la tâche augmente. Les tâches motrices simples seraient réussies.

Néanmoins, les déficits sont très hétérogènes en fonction des enfants TDC. D'après Geuze (2005), il y aurait 2 enfants TAC sur 3 qui auraient un déficit de modélisation interne. De même, le déficit d'IM est évident chez la plupart, mais pas tous les enfants présentant un TDC (Wilson *et al.*, 2001). D'autres facteurs pourraient alors entraver les performances motrices des sujets.

Une question reste en suspens, il s'agit de savoir si le DMI prédictif explique les difficultés motrices dans le TDC, ou si le DMI serait un des signes entrant dans la sémiologie du TDC.

Pour conclure, les déficits d'IM sont fréquents dans le TDC et ils seraient liés à un déficit de modélisation interne. Cela impacterait les performances motrices des sujets qui présentent des difficultés à utiliser un contrôle moteur prédictif. Un travail via l'utilisation de l'IM pour la rééducation du TDC est intéressant pour améliorer à la fois les modèles internes et la motricité (Albaret *et al.*, 2019).

L'évaluation des capacités d'IM permettrait d'apprécier la qualité des modèles internes. Lors d'une suspicion d'un TDC chez un enfant, en cas de déficit d'IM, on suppose un déficit des modèles internes et du contrôle moteur et cela peut donc être pris comme une information supplémentaire allant dans le sens d'un diagnostic probable de TDC. En plus d'aider sur le plan du diagnostic, l'évaluation des capacités d'IM permettrait de prédire les chances de réussite d'une approche basée sur l'IM (Puyjarinet, 2019). Si le sujet est déjà performant, cela signifierait qu'il ne présente pas de difficulté pour mettre en jeu des modèles internes efficaces. Ses problèmes de coordination pourraient alors avoir une autre étiologie que celle du DMI.

### 3) Efficacité des interventions en IM auprès des sujets TDC

Il existe encore peu d'études qui ont évaluées les effets de l'entraînement à l'IM sur le fonctionnement psychomoteur dans le TDC. Je vais présenter brièvement les résultats prometteurs des études existantes.

- Wilson *et al.* (2002 ; 2016) :

L'étude de Wilson *et al.* (2002) a été étendue et répliquée en 2016. Cette étude regroupe des enfants de 7 à 12 ans qui présentent tous les critères diagnostiques du TDC du DSM-V (à la différence de l'étude réalisée en 2002). Leur score au M-ABC est inférieur au percentile 10. Les enfants ont été répartis en 3 groupes : un qui reçoit un entraînement par IM, un autre qui bénéficie d'une rééducation perceptivo-motrice traditionnelle, ainsi qu'un groupe contrôle. Les interventions sont courtes : 1 heure hebdomadaire pendant 5 semaines.

Des résultats similaires à l'étude de 2002 ont été retrouvés et montrent que le protocole d'IM s'avère aussi efficace que l'entraînement perceptivo-moteur traditionnel sur les performances motrices. Les scores aux M-ABC s'améliorent pour ces 2 groupes, mais pas dans le groupe contrôle dans lequel certains enfants ont même des scores en régression.

Les tailles d'effet ont aussi été calculées :

- Taille d'effet pour le groupe bénéficiant du protocole d'IM : 0.84 (élevé)
- Taille d'effet pour le groupe entraînement perceptivo-moteur traditionnel : 0.70 (élevé)
- Taille d'effet pour le groupe contrôle : 0.14 (faible)

Les chercheurs ne notent pas de différence significative entre le groupe IM et rééducation traditionnelle. Même si le protocole d'IM repose largement sur de la pratique mentale, les effets sont les mêmes que pour un entraînement perceptivo-moteur traditionnel basé surtout sur de la pratique réelle. En revanche, dans cette étude, les enfants présentant un TDC sévère (score inférieur au percentile 1) sont ceux pour lesquels l'IM a été la technique la plus profitable. L'IM semble donc efficace pour les coordinations générales qui impliquent l'ensemble des parties du corps.

- Adams *et al.* (2016 ; 2017) :

Adams *et al.* ont eux aussi essayé d'apporter des preuves d'efficacité de l'IM auprès d'enfants TDC de 7 à 12 ans. Les enfants sont répartis en 2 groupes : un groupe qui suit un protocole d'IM et un groupe qui bénéficie de l'approche CO-OP. Les interventions durent 9 semaines (45min/semaine). Les résultats (Adams *et al.*, 2017) sont là aussi positifs, 2 enfants du groupe IM et 3 enfants du groupe CO-OP augmentent leurs scores de façon significative de plus de 2 déviations standard au

M-ABC. Par ailleurs, tous les parents des enfants notent des améliorations dans les performances motrices après les interventions.

- Puyjarinet (2015, 2016) :

Puyjarinet a mené une étude auprès d'enfants TDC dans le cadre non plus de la rééducation des coordinations générales mais de la dysgraphie. Cette étude a été présentée dans la partie II.2.c., p.19. La taille d'effet du protocole d'IM est ici de 0.80 (élevée) (Puyjarinet, 2019). Les enfants les plus en difficulté bénéficient davantage de l'approche IM que de l'approche CO-OP pour l'écriture. Après 12 semaines de rééducation, les mécanismes des modèles internes semblent sensibles à l'entraînement. L'IM faciliterait l'émergence d'un contrôle prédictif du mouvement qui pourrait remplacer un contrôle moteur en boucle fermée, plus coûteux sur le plan attentionnel et majoritairement basé sur la vision. Des études de neuro-imagerie apporteraient de plus amples éléments sur les mécanismes cérébraux mis en jeu lors de rééducations utilisant l'IM.

- Smits-Engelsman *et al.* (2013) :

Ils ont effectué une méta-analyse afin d'évaluer l'efficacité des différentes interventions existantes dans le cadre du TDC. Les résultats obtenus montrent une taille d'effet importante (0.89) pour les interventions orientées sur la tâche (NTT, CO-OP, IM) et les interventions traditionnelles (0.83) qui consistent en un entraînement aux habiletés motrices de base qui semblent indispensables au développement d'autres compétences motrices. En revanche, les interventions orientées sur les processus ne sont pas recommandées et ont une taille d'effet faible (0.12). Ces résultats positifs et favorables aux interventions orientées sur la tâche sont retrouvés par la suite dans d'autres études (Preston *et al.*, 2017 ; Smits-Engelsman *et al.*, 2018).

De fait, toutes les revues s'accordent sur l'efficacité thérapeutique de l'IM à partir du moment où la pratique mentale est associée à un temps de pratique réelle. L'IM pourrait donc être une technique complémentaire ou une alternative intéressante aux approches déjà validées. Néanmoins, l'absence d'étude longitudinale ne permet pas de savoir si les effets positifs retrouvés se maintiennent sur le long terme (Wilson *et al.*, 2016). De plus, il semblerait que l'IM améliore la qualité des tâches spécifiques qui ont été observées et imaginées mais on ne sait pas si l'amélioration des performances se transfère et se généralise à d'autres tâches. Enfin, l'IM, en tant qu'entraînement cognitif, paraît améliorer les fonctions exécutives notamment l'attention et la mémoire de travail ; de plus amples recherches seraient nécessaires pour approfondir ces différents points.

# PARTIE PRATIQUE

## Présentation de la problématique :

Toutes les données reportées dans la partie théorique convergent vers le fait que l'IM est une technique à développer en psychomotricité dans le cadre du TDC. La littérature en est à ses débuts concernant les descriptions précises des protocoles. Les cliniciens manquent de réponses pour savoir comment appliquer concrètement l'IM au sein d'une prise en charge d'enfants présentant diverses difficultés associées à leurs difficultés motrices, quels impacts peuvent avoir ces troubles associés sur le bon déroulé du protocole et sur les effets potentiels de la méthode.

Ainsi, j'ai rencontré au cours de mon stage de 3<sup>ème</sup> année en cabinet libéral deux enfants présentant un TDC : Léo et Soan<sup>5</sup> (respectivement 9 et 11 ans) dont les difficultés motrices impactent le quotidien (maladresses, difficultés dans les praxies de la vie quotidienne, en sport à l'école ou encore dans les activités de loisirs extrascolaires). Il m'a semblé intéressant de mettre en place cette technique récente afin d'éprouver les difficultés auxquelles un thérapeute peut être confronté en l'utilisant. Un protocole d'IM a ainsi été mis en place auprès de ces deux enfants et une étude clinique de leur évolution est réalisée pour tenter de répondre aux deux questions suivantes :

- **Quelle est, pour ces deux patients, l'efficacité d'un protocole d'imagerie motrice pour réduire leurs difficultés en motricité globale ?**
- **Quelles adaptations cliniques sont nécessaires à mettre en œuvre pour s'adapter à leur profil particulier et tenir compte de leurs troubles associés ?**

Au vu de la situation liée au Covid-19 et l'arrêt prématuré des prises en charge, le projet n'a pas pu être mené comme prévu. Je décrirai comment la méthodologie a été repensée pour permettre d'analyser et d'exposer des observations finales.

Cette partie pratique permettra dans un premier temps de présenter la méthodologie choisie pour tenter de répondre aux deux questions (méthode pré/post-test, protocole choisi). Puis, nous étudierons les dossiers de Léo et Soan qui ont bénéficié de la prise en charge et la mise en œuvre de la méthode choisie auprès d'eux. Le déroulement des séances, les adaptations mises en place et les résultats observés seront décrits. Nous terminerons par une discussion autour de l'efficacité de l'intervention auprès de ces deux enfants, des adaptations du protocole et des avantages et limites de ce mémoire.

---

<sup>5</sup> Les noms des enfants ont été modifiés

## I) Choix de la méthode pour tester les effets et adaptations du protocole d'IM de Wilson *et al.* (2002) en psychomotricité avec des enfants ayant un TDC

Une méthode pré/post-test a été utilisée dans ce mémoire pour tenter de répondre à la problématique. Les pré-tests permettent d'apprécier les capacités initiales de l'enfant. Ils sont suivis par la mise en place du protocole de rééducation. Enfin, les post-tests permettent d'évaluer les éventuels effets du protocole (améliorations, difficultés persistantes).

### 1) Pré-tests

A l'issue de l'étude des dossiers des deux enfants (qui sera présentée en II.), j'ai supposé qu'ils pourraient tous les deux bénéficier d'une approche par IM, c'est pourquoi j'ai évalué leurs capacités d'IM pour m'en assurer.

Les tests d'IM en cours d'étalonnage ont été utilisés : la **Tâche Radiale de Fitts** et le **Test d'Imagerie Motrice Implicite (TIMI-1)**. Il a aussi paru intéressant d'en savoir davantage sur la qualité des représentations motrices des enfants, savoir s'ils peuvent avoir accès à des sensations proprioceptives ou kinesthésiques ou si leurs images sont essentiellement visuelles. Pour cela, l'utilisation d'un questionnaire apparaissait pertinente mais le MIQ-RS semblait compliqué à mettre en œuvre auprès d'enfants, notamment du fait des 7 modalités de réponse aux échelles dont il est difficile de comprendre et s'approprier les nuances. Ainsi, j'ai préféré m'inspirer du **Praxis Imagery Questionnaire** (utilisé par Wilson *et al.*, 2001) (cf. Annexe A), le traduire en français et réduire le nombre d'items de 12 à 6 pour limiter la durée de la passation. En effet, étant dans un cadre libéral, le parti pris a été de ne pas multiplier ou faire durer les évaluations sur de nombreuses séances, tout en essayant d'obtenir suffisamment d'informations nécessaires à la mise en place du protocole. Le questionnaire consiste à répondre à des questions sur des activités quotidiennes que l'enfant doit imaginer sans effectuer aucun mouvement (utiliser des ciseaux, écrire, se laver les dents, manger à la cuillère, utiliser un taille-crayon et fermer le zip d'une veste).

Ensuite, des fonctions motrices (régulation tonique, ajustements posturaux, coordination haut-bas du corps, contrôle visuomoteur, équilibre unipodal) ont été évaluées avec le **M-ABC-1** utilisé sur mon lieu de stage. Il a semblé judicieux de proposer également aux parents de remplir le **questionnaire de motricité du M-ABC-2** afin de mieux cerner les difficultés rencontrées dans les situations écologiques.



## 2) Le protocole d'IM

Après avoir vérifié leurs capacités en IM et leurs fonctions motrices, j'ai imaginé un protocole d'IM en 8 séances qui s'inspire de celui de Wilson *et al.* (2002 ; 2016).

### a) Choix des coordinations motrices

Au vu des difficultés motrices présentées par les deux patients, le protocole se centre sur les coordinations dynamiques générales et les coordinations oculomotrices qui sont recensées dans le tableau ci-dessous.

**Fig. 9 : Coordinations travaillées en IM avec Léo et Soan**

	<b>Léo</b>	<b>Soan</b>
<b>Séance 1</b>	Sauter pieds joints-écartés-joints-écartés... en avançant, avec mains sur les hanches (avec cerceaux au sol)	Sauter pieds joints-écartés-joints-écartés... en avançant, avec mains sur les hanches (avec cerceaux au sol)
<b>Séance 2</b>	Même exercice avec clap des mains en l'air lorsque les pieds sont écartés (avec cerceaux)	Même exercice avec clap des mains en l'air lorsque les pieds sont écartés (avec cerceaux)
<b>Séance 3</b>	Saut d'un pied sur l'autre latéralement avec aide du bras opposé à la jambe d'appui (comme en roller)	Saut en longueur : course d'élan, impulsion sur un pied et réception pieds joints
<b>Séance 4</b>	Même exercice mais en avançant (avec cerceaux au sol)	Saut en longueur
<b>Séance 5</b>	Dribbler en restant statique (sur place)	Dribbler en marchant
<b>Séance 6</b>	Dribbler en marchant	Dribbler, s'arrêter, passer le ballon dans le dos et repartir en dribblant
<b>Séance 7</b>	Dribbler en slalomant autour d'obstacles	<i>Non effectuée</i>
<b>Séance 8</b>	Dribbler, s'arrêter, passer le ballon dans le dos et repartir en dribblant	<i>Non effectuée</i>

Les 4 premières séances sont dédiées à un travail autour des coordinations générales avec le travail des sauts, les 4 séances suivantes aux coordinations oculomotrices avec le travail du dribble.

- Pour **Léo**, le but est d'améliorer le recrutement tonique lors des sauts, la dissociation membres supérieurs/inférieurs. Les coordinations des séances 3 et 4 permettent de travailler l'équilibre unipodal déficitaire chez Léo, renforcer son contrôle postural et ses faibles ajustements posturaux pouvant être liés à un déficit de modèles internes (Adams *et al.*, 2014). L'activité de dribble est une activité qu'il souhaite apprendre. Il se sait en très grande difficulté sur cette tâche, n'arrive pas à réguler sa force, garder le contrôle du ballon, gérer l'ensemble des paramètres nécessaires à cette coordination visuomotrice.

- Pour **Soan**, les objectifs, à travers les coordinations proposées, sont de travailler sur la régulation tonique (hypertonie d'action importante et ajustements posturaux rigides), l'accès à un rebond et une réception souples mais aussi de permettre la coordination membres supérieurs/inférieurs pendant les sauts ou les courses d'élan. En sport au collège, Soan fait du saut en longueur et a été d'accord pour intégrer cette coordination au protocole. Le dribble oblige à dissocier le haut et le bas du corps, à avoir un bon contrôle visuomoteur et à réguler son tonus pour ajuster la force de frappe sur le ballon.

#### b) Description des exercices proposés

Chaque séance de prise en charge reprend les cinq phases suivantes.

- **Entraînement au timing prédictif** : (environ 3-5 minutes)

Trois types d'exercices ont été utilisés en fonction de la séance :

- **Voiture à friction derrière un tapis** : Faire rouler une voiture à friction au sol (en partant toujours du même point afin d'avoir une stabilité dans la vitesse de déplacement de la voiture et dans la longueur du trajet). L'enfant observe le déplacement deux fois puis on place un tapis devant pour cacher une partie de la trajectoire de la voiture. Il observe à nouveau la voiture passer derrière ce cache. Puis, il doit fermer les yeux et un signal de départ de la voiture lui est indiqué, il doit estimer le moment lors duquel la voiture ressort du cache.
- **Balle sur plan incliné** : Lâcher une balle depuis le haut d'un plan incliné et mettre un marquage au sol pour indiquer une ligne de passage. L'enfant observe 3 fois la descente de la balle puis ferme les yeux. Un top départ lui est indiqué lorsqu'on lâche la balle et il doit imaginer la trajectoire de celle-ci et dire « stop » lorsqu'il estime que la balle passe au niveau du marquage au sol. La balle choisie ne doit pas faire trop de bruit au contact du tapis.
- **Vidéos de trajectoires de billes** : Cet exercice est directement inspiré du jeu des « Abeilles » du logiciel T.V neurones utilisé par Puyjarinet (2015) dans son protocole. Les vidéos correspondent au film d'une feuille blanche sur laquelle se déplace une bille métallique. Le mouvement de la bille provient d'un aimant placé sous la feuille qui permet ainsi de déplacer la bille dans toutes sortes de trajectoires et au rythme souhaité. Différentes formes ont été filmées, à des vitesses constantes ou aléatoires (cf. Annexe B). L'enfant observe le déplacement de la bille puis on lui propose trois cartes devant lui sur lesquelles sont dessinés 3 trajets différents (cf. Annexe C). Il doit retrouver le trajet fait par la bille sur la vidéo parmi 2 distracteurs. L'enfant visionne encore 2 ou 3 fois la trajectoire avant de fermer les yeux et la visualiser mentalement. Un signal de

départ lui est donné lors du déclenchement du déplacement de la bille. Il doit donner un signal verbal de fin lorsqu'il estime que la bille a fini son trajet.

Pour chacun de ces exercices, un feedback est donné à l'enfant sur sa réponse pour qu'il sache s'il l'a donnée trop tôt, trop tard ou au bon moment et qu'il puisse ajuster sa vitesse mentale de déplacement. En cas de décalage, jusqu'à 3 essais sont effectués. Entre 2 et 4 exercices de ce type sont réalisés à chaque début de séance.

- **Relaxation et préparation mentale** : (environ 5 minutes)

Après avoir proposé de faire un temps de pleine conscience soit avec CD soit avec un guidage de ma part, les deux enfants ont choisi le support du CD. Les enregistrements audio du livre Calme et attentif comme une grenouille d'Eline Snel (2017) sont utilisés et différents à chaque séance. Le but est de préparer l'enfant à se centrer sur ses sensations corporelles et à être plus disponible pour la poursuite de la séance.

- **Observation et analyse de vidéos** : (environ 5 minutes)

L'étape suivante consiste à observer des vidéos de la coordination motrice à apprendre. L'enfant qui a servi de modèle a été filmé sous différents angles de vue (face, dos, latéral, égocentré, cf. Annexe D) et les vidéos sont mises à vitesse réelle, faible ralenti ou ralenti important (pour faciliter l'analyse perceptive). Le patient visionne d'abord les vidéos à vitesse réelle afin d'avoir une connaissance minimale de la tâche à accomplir. Puis à l'aide des vidéos ralenties, j'oriente son attention sur les aspects importants et problématiques de la coordination (position et mouvements des différentes parties du corps, rythme, durée du mouvement, fluidité...).

- **Imagerie motrice, répétition mentale et pratique réelle** : (environ 10-12 minutes)

Il est ensuite demandé à l'enfant de se mettre dans la position de départ pour la coordination travaillée et de fermer les yeux pour se créer d'abord une image mentale de la situation dans laquelle il se trouve (salle, matériel, ressentir les sensations en lien avec la posture de départ) puis effectuer le mouvement en IM. Le premier temps d'IM est guidé verbalement à l'aide d'informations succinctes notamment sur les différentes phases de la coordination, les sensations corporelles, les points importants recensés lors de l'analyse de vidéos. Deux autres temps d'IM sont ensuite réalisés sans instruction. Ensuite, l'enfant essaie la coordination réellement.

Même si dans les protocoles utilisés dans les études expérimentales, il n'y a pas d'analyses verbales systématiques des productions réelles, j'ai pris le parti de donner des feedbacks qualitatifs à l'enfant (une connaissance des résultats) afin d'optimiser ses chances de progrès. Là encore, les feedbacks

sont donnés avec parcimonie pour ne pas saturer en informations verbales. Des temps d'IM sont réalisés en alternance avec la pratique réelle et il est demandé à l'enfant de prendre en compte le feedback dans sa visualisation en IM pour se concentrer sur la difficulté rencontrée.

- **Auto-évaluation :**

Pour finir, j'ai mis en place un temps d'auto-évaluation comprenant 3 axes principaux :

- **Point de vue en IM :** Je demande à l'enfant de décrire ce qu'il a pu imaginer afin de comprendre quel point de vue d'IM a été utilisé (est-ce qu'il se voit lui-même depuis un point de vue égocentré ou allocentré, est-ce qu'il voit l'enfant de la vidéo...)
- **Qualité de l'image mentale :** A l'aide de 4 photos dont la netteté est décroissante (cf. Annexe E), il leur est demandé d'auto-évaluer la qualité de leur image mentale en fonction de la facilité à voir l'image du mouvement dans leur tête. Un support sans code couleur (vert/rouge) a été préféré pour diminuer un éventuel biais de jugement positif/négatif.
- **Ressentis lors de l'IM :** Je leur présente aussi différents bonhommes (cf. Annexe F), avec seulement une partie du corps coloriée (tête, buste, bras, jambes ou pieds) et il leur est demandé s'ils ont ressenti des choses dans ces différentes parties du corps.

Tous ces outils servent avant tout de support à la discussion.

Ainsi l'ensemble du protocole dure en moyenne 25-30 minutes au total. Sur la seconde partie de la séance de psychomotricité, d'autres exercices sont réalisés en fonction des autres axes thérapeutiques du patient.

c) Intégration du modèle PETTLEP au protocole

Il a semblé intéressant de se questionner sur l'intégration au protocole des conditions de bonnes pratiques repérées dans la littérature et du modèle PETTLEP. Ainsi, comme le préconisent Schuster *et al.* (2011), j'ai veillé à ce que l'enfant ne réalise pas plus de deux essais d'IM par minute et comme il s'agit d'un processus coûteux, je limitais les temps d'IM par séance.

Reprenons les différents points du modèle PETTLEP ayant été intégrés au protocole :

- **Physique :** Les temps d'IM sont réalisés dans la position de départ de l'habileté travaillée et non pas assis, pour permettre à l'enfant de déjà ressentir les sensations proprioceptives de la posture de départ. Aussi, j'ai pu leur proposer de faire des ébauches de mouvements pendant l'IM afin de les aider à ressentir les sensations kinesthésiques (pour le dribble, l'enfant a pu par exemple effectuer seulement le mouvement du bras et de la main qui repoussent la balle vers le sol).

- *Environnement* : Les vidéos présentées aux patients montrent un garçon de 10 ans morphologiquement proche des deux patients, considéré comme « expert » dans les coordinations filmées, dans la même salle et avec le même matériel qu'en séance pour faciliter l'accès à la représentation.
- *Timing* : A chaque fois, je demandais à l'enfant de dire « top » lorsqu'il commence à imaginer et « top » lorsqu'il termine, afin de contrôler les temps d'IM qui doivent être similaires aux temps de réalisation effective du mouvement.
- *Apprentissage* : Les coordinations travaillées tiennent compte des progrès de l'enfant. Une coordination par séance est travaillée, la complexité est croissante, donc si des difficultés persistent à la fin de la séance, la coordination peut être à nouveau travaillée la semaine suivante (comme cela a été le cas pour le « saut en longueur » avec Soan).
- *Emotion* : J'ai tenu compte de la disponibilité des enfants et ai pu rallonger les temps de relaxation lorsqu'ils arrivaient en séance angoissés ou difficilement attentifs.
- *Perspective* : Comme les coordinations engagent l'ensemble du corps, la perspective à la 3<sup>ème</sup> personne a surtout été utilisée. Toutefois, des vidéos en perspective égocentrée ont aussi été réalisées et ont permis aux enfants de mieux comprendre la distinction entre les deux perspectives et essayer d'imaginer de cette façon.

### 3) Post-tests

La crise sanitaire n'a pas permis de réaliser les évaluations post-tests à l'aide des tests et questionnaires utilisés en pré-tests. Ainsi, ces post-tests ont été réorientés vers une analyse clinique sur la base de toutes les observations réalisées pendant la mise en œuvre du protocole.

Afin d'évaluer d'éventuels changements suite au protocole, j'ai repris les principales dimensions d'IM et les fonctions motrices évaluées au travers des pré-tests et je les ai analysées cliniquement plutôt que quantitativement grâce aux observations des dernières séances du protocole. Ces éléments observés sont répertoriés dans le tableau ci-dessous :

DIMENSIONS D'IM	FONCTIONS MOTRICES
Timing prédictif	Régulation tonique
Isochronie temporelle entre mouvement réel et imaginé	Ajustements posturaux
	Coordination haut-bas du corps
Imagerie motrice visuelle / kinesthésique	Contrôle visuomoteur
	Equilibre unipodal

**Fig. 10 : Eléments observés lors des post-tests**

Léo trouve cette épreuve longue et fastidieuse, il s'agite sur sa chaise et une impulsivité est très marquée tout au long du test. Il répond vite et s'auto-corrige souvent après avoir donné sa 1<sup>ère</sup> réponse. Une pause est effectuée à la moitié de l'épreuve pour réaliser une activité motrice dans la salle, il saura me dire qu'il se sent mieux et prêt à se concentrer à nouveau pour continuer l'épreuve. Les temps de réponse sont très courts. La variabilité des temps de réaction est d'autant plus marquée que les orientations sont complexes à atteindre d'un point de vue biomécanique. Les erreurs sont d'ailleurs fréquentes pour ces orientations. Léo dira en fin de test avoir imaginé ses mains tourner dans sa tête pour trouver les solutions. Il semble donc avoir mis en place une stratégie de résolution par utilisation de l'IM, mais cette épreuve est coûteuse et fait ressortir une impulsivité.

Praxis Imagery Questionnaire adapté (cf. Annexe A) : Léo apprécie ce questionnaire, il garde les yeux fermés et dit « adorer imaginer des choses dans [sa] tête ». Il répond très facilement aux questions de l'échelle *objet* mettant en jeu l'imagerie visuelle. Il prend plus le temps de réfléchir pour les autres échelles et fait quelques erreurs notamment sur l'activité d'écriture.

- **Fonctions motrices :**

M-ABC (tranche d'âge 9-10 ans)			
DM	DM1	1	
	DM2	0	
	DM3	1	
	TOTAL	2	>15 <sup>ème</sup> percentile
MB	MB1	5	
	MB2	3	
	TOTAL	8	<5 <sup>ème</sup> percentile
EQ	EQ1	5	
	EQ2	4	
	EQ3	5	
	TOTAL	14	<5 <sup>ème</sup> percentile

QUESTIONNAIRE DU M-ABC-2		
PARTIE A	A.1 (habiletés dans les soins personnels)	6
	A.2 (habiletés observables en classe)	6
	A.3 (habiletés observables en éducation physique ou dans la récréation)	8
	TOTAL	20
PARTIE B	B.1 (habiletés dans les soins personnels / observables en classe)	2
	B.2 (gestion de balles)	13
	B.3 (habiletés observables en éducation physique ou pendant la récréation)	2
	TOTAL	17
A+B	NOTE TOTALE DE MOTRICITE = 37 → <b>Zone rouge</b>	
PARTIE C	Facteurs non moteurs pouvant affecter le mouvement : Désorganisé / Hésitant , distrait / Passif / Anxieux / Impulsif / Distrait / Hyperactif / Sous-estime ses capacités / Manque de persévérance / Bouleversé par l'échec	

**Fig. 13 : Scores obtenus par Léo au M-ABC-1 et au questionnaire du M-ABC-2 lors des pré-tests**

Sur le plan moteur, les coordinations oculomotrices et les équilibres (statiques et dynamiques) posent problème à Léo (cf. Fig. 13). Il n'arrive pas à prendre en compte les paramètres nécessaires

pour attraper à deux mains, ni jeter le sac lesté dans la boîte. Les sauts cloche-pied sont échoués. L'équilibre unipodal sur une planche est très compliqué à tenir, les ajustements posturaux sont faibles et Léo présente une hypotonie importante de l'axe qui semble parasiter ses compétences. La dissociation membres supérieurs/inférieurs s'avère inefficace sur l'épreuve où il doit marcher en tenant une balle en équilibre sur un plateau.

Ces difficultés se répercutent sur son quotidien, la note totale au questionnaire du M-ABC-2 le place dans la zone rouge (score pathologique). Il ressort nettement de ce questionnaire que les activités qui le gênent sont l'habillage (lorsqu'il doit mettre en jeu des processus d'équilibration), la gestion de balles (attraper, dribbler, lancer avec une raquette...) ainsi que les sauts.

- **Conclusions et choix de l'IM pour Léo :**

Dans le cadre de son TDC, j'ai choisi d'utiliser la technique d'IM avec Léo pour diverses raisons. Tout d'abord, les résultats des tests d'IM suggèrent que Léo peut avoir accès à l'IM, néanmoins, ses capacités sont à développer pour renforcer les prédictions temporelles des mouvements et lui permettre de développer la perception de sensations kinesthésiques en IM. Par ailleurs, Léo apprécie imaginer des histoires, des personnages dans sa tête, ainsi, lui permettre d'imaginer des coordinations motrices en séance pourrait l'intéresser. Il possède un très bon niveau intellectuel utile pour la compréhension de la technique et un langage très développé qui faciliterait les verbalisations lors de l'observation des vidéos. Léo n'est généralement pas très motivé lorsqu'il s'agit de travailler la motricité, il n'aime pas répéter plusieurs fois les exercices car il se sent en difficulté. Comme l'IM favorise des progrès sans beaucoup de pratique réelle, cela pourrait lui convenir. De plus, Léo peut être anxieux dans son quotidien et les décrochages attentionnels sont fréquents. Les exercices de pleine conscience réalisés lors du protocole d'IM pourraient (même s'ils sont courts) s'avérer bénéfiques sur ces points et lui permettre de prendre conscience petit à petit de ces décrochages. L'aide de l'adulte est encore nécessaire pour le ramener sur les tâches en séance.

Lors de la mise en place du protocole, il sera important de tenir compte des particularités de Léo qui présente un profil intellectuel très hétérogène. L'écart de 71 points entre l'Indice de Compréhension Verbale et l'Indice de Vitesse de Traitement à la WISC-IV ne peut que suggérer d'autres difficultés, notamment de régulation émotionnelle ou être source d'anxiété chez Léo. Son niveau verbal peut biaiser nos interprétations ; il faut garder en tête que Léo présente une lenteur de traitement importante, une mémoire de travail fragile (comparée à son niveau verbal), il est assez anxieux, sensible et manque de confiance en lui. De plus, il peut se montrer impulsif sur des tâches trop coûteuses ou lorsqu'il est fatigué. Il faudra alors veiller à ce que cela ne perturbe pas la mise en place du protocole.

## b) Déroutement des séances auprès de Léo

A chaque séance, j'expose le programme des exercices prévus à Léo. Au fur et à mesure, il devient capable de se rappeler de ces étapes et peut alors plus facilement se repérer durant la séance.

Timing prédictif : Globalement, Léo est souvent agité sur ces exercices, il manifeste des signes de fatigue ou d'agacement. C'est pourquoi, pour susciter son intérêt et qu'il ne se décourage pas, j'ai varié les supports pour travailler le timing prédictif lors des séances en utilisant les trois exercices présentés en I.2.b., p.39). Concernant les exercices des vidéos de trajectoires de billes, Léo parvient très facilement à trouver la forme des trajectoires, et cela sans avoir forcément besoin de s'aider des cartes représentant les déplacements (cf. Annexe C). En revanche, la prédiction temporelle est assez aléatoire, Léo peut donner le signal trop tôt ou trop tard, sans constance. A l'aide des feedbacks, au fil des séances, il arrive de mieux en mieux à corriger et ajuster sa vitesse mentale de déplacement qui devient généralement exacte au bout de trois tentatives. Lors des deux dernières séances, Léo est arrivé plus serein, moins agité, bien disponible sur le plan attentionnel et les performances en timing prédictif sont nettement plus précises dès le 1<sup>er</sup> ou 2<sup>ème</sup> essai (bien que les trajectoires de billes présentées soient plus complexes).

Pleine conscience : Léo souhaite réaliser les temps de méditation assis sur une chaise avec un bandeau sur les yeux. Souvent, à son arrivée en séance l'après-midi, il se dit fatigué et énervé par le temps scolaire du matin. Mise à part la 2<sup>ème</sup> séance, qui a été compliquée et pour laquelle il dira que la relaxation l'a encore plus énervé, Léo sort des méditations lentement et en s'étirant. Il dit adorer les temps de pleine conscience et en avoir besoin. A l'inverse, quand Léo se sent bien à son arrivée en séance, il a plus de mal à trouver un intérêt à faire un temps de relaxation. Même s'il change régulièrement de position, un relâchement tonique est possible et Léo semble bien attentif à ce qui est dit dans l'enregistrement, il peut dire de quoi il parle. Là encore, sur les deux dernières séances, il trouve rapidement une position confortable et est manifestement plus calme.

Observation de vidéos : Léo présente des facilités pour s'exprimer et analyser les vidéos. Il utilise un vocabulaire riche et peut décrire de façon précise ce qu'il voit. Parfois, il s'attarde sur des détails non essentiels qui retiennent son attention (par exemple, des asymétries ou des irrégularités retrouvées chez l'enfant servant de modèle dans les vidéos). Je guide ainsi ses observations pour orienter son attention vers les aspects importants de la tâche. Des vidéos au ralenti ou des arrêts sur images sont utilisés pour apporter à Léo une bonne connaissance de la tâche à effectuer et l'aider à se forger une représentation mentale de l'action. La qualité de ses analyses est très dépendante de sa motivation, son état émotionnel et son état de fatigue. Il verbalise moins, se déconcentre vite et s'impatiente de passer à la pratique réelle lorsqu'il est fatigué ou ne se sent pas bien.



Imagerie motrice : Dès la première séance, Léo comprend l'exercice et semble amusé à essayer d'imaginer la coordination. Généralement, il se met dans la position de départ de la coordination travaillée mais a parfois préféré se mettre sur un côté de la salle pour imaginer, en me précisant que cela l'aide à visualiser le mouvement d'un point de vue latéral (allocentré) comme sur la vidéo. Le premier temps d'IM est plus long que les suivants, qui coïncident avec la durée de réalisation du mouvement réel.

Par ailleurs, ce qui a pu gêner Léo, c'est le fait de devoir simuler en amont avant d'essayer de réaliser le mouvement : l'impulsivité fait surface et il peut s'agacer. Léo est néanmoins coopérant, il a pu comprendre l'intérêt de la technique et gérer peu à peu son impulsivité. On peut aussi percevoir que les temps d'IM sont coûteux sur le plan cognitif. A la séance 2, lors de laquelle Léo est arrivé fatigué, les temps d'IM sont très aléatoires (de 2 à 11 secondes pour le même mouvement), il se peut qu'il n'ait pas forcément utilisé l'IM. Il indique d'ailleurs n'avoir « rien vu du tout » ni rien ressenti pour cette séance.

Les temps d'auto-évaluation de fin de séance ont permis de voir que dans l'ensemble, Léo semble avoir de plus en plus facilement accès à des images motrices de qualité, il dira à la séance 6 qu'il imagine plus facilement qu'au début. Lors des premières séances, Léo voit un de ses copains réaliser la coordination et je comprends qu'il le visualise selon un point de vue latéral. Puis il se voit parfois lui-même ou parfois l'enfant de la vidéo. Suite au visionnage des vidéos d'un point de vue égocentré ainsi qu'aux guidages pour qu'il essaie d'imaginer de cette façon, lors de la séance 6, Léo arrive à visualiser à la 1<sup>ère</sup> personne : il voit le ballon de basket, son bras et ses pieds avancer et dit d'ailleurs ressentir des choses dans ces parties du corps. Léo a été très impliqué sur les deux dernières séances, il a davantage pris le temps d'imaginer puis de réaliser les coordinations et on note peu de décrochages attentionnels.

Pratique réelle :

**Sauts pieds écartés-serrés** : Avec les mains sur les hanches, les sauts sont au départ très saccadés, Léo est penché vers l'avant et l'impulsion est faible. Lorsqu'il exécute de nouveau la coordination sans avoir reçu de feedback ni refait un temps d'IM, la coordination n'évolue pas (cela est valable sur toutes les séances réalisées). Quand un feedback verbal lui est apporté, je lui propose de prêter attention à cet aspect problématique en réitérant un temps d'IM. Dans ces cas-là des différences sont notées. Les sauts ont gagné en fluidité. Lorsqu'il a fallu ajouter les mouvements des bras et claper des mains au-dessus de la tête, Léo a du mal à réaliser la coordination haut-bas du corps. En effectuant à nouveau un temps d'IM en se concentrant sur les bras, des progrès apparaissent, la coordination devient possible et la flexion extension des jambes est aussi meilleure.

**Sauts d'un pied sur l'autre :** La coordination est désorganisée, les mouvements des bras sont irréguliers et Léo a du mal à contrôler son équilibre sur un pied avant de faire une impulsion pour sauter sur l'autre pied. Nous réfléchissons ensemble aux stratégies d'équilibration qui pourraient lui permettre de tenir sur un pied. En observant la vidéo et avec ce travail de métacognition, Léo trouve une solution (il appuie sur le bord externe de son pied, fléchit ses genoux). Il essaie sa stratégie en IM et le contrôle de l'appui unipodal est ensuite meilleur. La coordination des bras n'apparaissant pas, je lui ai proposé d'imaginer la coordination globale en effectuant uniquement le mouvement des bras. Il m'a indiqué que cela l'aide à imaginer mais aussi à ressentir les sensations dans ses bras. Les sauts ont paru s'automatiser, la coordination une fois lancée peut être répétée sans difficulté.

**Dribbles :** Le contrôle de la force et de la trajectoire du ballon est très inconstant et Léo peut se jeter en avant pour tenter de le récupérer. Progressivement il anticipe ces pertes de contrôle et récupère à deux mains le ballon. Parfois, sa main tape un peu à côté du ballon entravant la trajectoire qui lui est donnée. Je lui propose un temps d'IM dans lequel il doit essayer de bien visualiser sa main taper dans le ballon. Le contrôle visuel semble s'améliorer et permet par la suite à Léo de dribbler en slalomant tout en gérant la trajectoire du ballon dans les changements de direction. Au bout de ces 4 séances, le dribble devient plus fluide, la hauteur du ballon est mieux contrôlée et les syncinésies toniques dans le membre controlatéral sont moins nombreuses.

#### c) Adaptations mises en place

Il s'est avéré indispensable d'apporter certaines modifications au cours de la mise en place du protocole. Plusieurs difficultés ont été rencontrées, en lien avec le profil particulier de Léo.

D'une part, sa **motivation** peut être très fluctuante en fonction de la séance et même au cours d'une même séance. Il a ainsi fallu trouver des adaptations pour tenter de maintenir et conserver sa motivation tout au long du protocole. Déjà, Léo présentant un haut potentiel intellectuel, il a semblé important de donner un sens cognitif à ses apprentissages en lui expliquant les mécanismes sous-jacents de la technique d'IM. Il lui a donc été expliqué de façon simplifiée le but de la simulation mentale des mouvements, en quoi cela peut l'aider, quel impact cela peut avoir sur le cerveau et la motricité. Par ailleurs, il n'avait pas toujours envie de faire l'effort de simuler les mouvements (peut-être cela était-il trop coûteux). Après la séance 2 qui s'est avérée compliquée sur ce point, un tableau d'auto-évaluation (cf. Annexe G) est mis en place pour tenter de lui donner envie de s'améliorer en rendant visibles ses progrès. A chaque fin de séance, il choisit l'image qui représente le degré de facilité qu'il a eu pour réaliser les temps d'IM et met une croix dans la case correspondante. Ainsi, lors de la séance suivante, on reprend ce tableau et il tente de s'améliorer. Léo est également très sensible aux encouragements et valorisations, sa confiance en lui est à

renforcer. Ainsi tout au long des séances, je tâche d'utiliser au maximum les renforcements sociaux positifs. A chaque fin de séance, Léo est filmé en train de réaliser la coordination apprise pour qu'un film soit présenté à ses parents à la fin du protocole. Il est enthousiaste à l'idée de montrer cette « surprise » et cela le motive à progresser.

D'autre part, Léo arrive régulièrement en séance fatigué, il peut se sentir « énervé » et les **décrochages attentionnels** sont fréquents. Les émotions négatives, la fatigue ou l'anxiété peuvent interférer avec ses capacités d'IM. De fait, j'ai pu proposer un temps de relaxation plus long ou un enregistrement plus en lien avec les émotions par exemple. Lors d'une séance, ce temps a été proposé dès son arrivée, sans réaliser les exercices de timing prédictif. D'ailleurs, ces derniers requièrent beaucoup d'efforts attentionnels de sa part donc j'ai pu en réduire le nombre. Les séances sont aussi l'occasion de lui faire prendre conscience de ses décrochages attentionnels afin qu'il puisse petit à petit s'en rendre compte de façon autonome.

Enfin, une autre difficulté rencontrée a été la présence d'une **aversion au délai** lorsque Léo doit imaginer la coordination avant d'essayer et pratiquer. Ainsi, je me suis inspirée de la technique du « stop & go » (Douglas, 1972 in Madiou et Swiatek, 2018) en générant un signal d'arrêt (« stop ») pour que Léo puisse revenir sur la tâche, s'assurer qu'il est toujours dans le cadre de l'activité et planifier la coordination en IM. Une fois cela effectué, le signal « go » lui permet d'exécuter réellement la coordination. Le but est de permettre à Léo de différer sa réponse motrice et prendre le temps de planifier le mouvement à venir.

#### d) Observations post-tests pour Léo

Avant d'exposer les observations post-tests à l'aide des fonctions motrices et dimensions d'IM évaluées au travers des pré-tests, les résultats obtenus par Léo en fin de protocole sur les deux tests d'IM (Tâche Radiale de Fitts et TIMI-1) sont présentés. En effet, il a été possible de réaliser la première séance d'évaluation post-test pour Léo avant l'arrêt prématuré des séances lié à la situation sanitaire (Covid-19). Il semble donc intéressant de les laisser apparaître.

**Fig. 14 : Scores obtenus par Léo en post-test à la Tâche Radiale de Fitts :**

Taille des cibles	Temps de mouvement réel	Temps de mouvement simulé
40 mm	7"	6"9
20 mm	7"3	8"5
10 mm	8"1	8"8
5 mm	9"8	9"4
2,5 mm	10"2	11"1

Léo a davantage pu enchaîner les items que lors des pré-tests où il a eu besoin de faire des pauses. Une fatigabilité est encore notée en fin de test. Léo pointe les cibles un peu plus rapidement, tous

les temps sont inférieurs à ceux des pré-tests (cf. p.50). L'équivalence temporelle entre mouvements réels et simulés est nettement plus précise. Les temps des mouvements réels suivent toujours la loi de Fitts et lors de ces post-tests, les mouvements simulés suivent aussi cette loi.

**Fig. 15 : Scores obtenus par Léo en post-test au TIMI-1 :**

Orientation de la main	Temps de réponse moyen	Nombre de réussites
8 planches orientation : <b>0°</b>	2"1 (de 1"6 à 3")	7/8
8 planches orientation : <b>60°</b>	2"3 (de 1"2 à 3")	4/8
8 planches orientation : <b>120°</b>	2"7 (de 1"3 à 5"6)	6/8
8 planches orientation : <b>180°</b>	3"6 (de 2" à 5"4)	3/8
8 planches orientation : <b>-120°</b>	3"8 (de 1"7 à 10")	5/8
8 planches orientation : <b>-60°</b>	2"1 (de 1"6 à 3"8)	6/8

Comme lors des pré-tests, Léo se montre impulsif sur cette épreuve, s'agite et a du mal à rester concentré. Cette fois-ci, il ne souhaite pas effectuer de pause au cours de l'épreuve même s'il manifeste des signes de fatigue. Les temps de réponse enregistrés sont similaires à ceux des pré-tests mais le nombre de réponses exactes est inférieur. Les résultats sont difficilement interprétables et, contrairement à la première fois où il a vu ses mains tourner, Léo ne parvient pas à m'expliquer comment il a fait pour résoudre l'exercice. On peut donc se demander s'il a bien utilisé l'IM pour résoudre la tâche. De plus, l'impulsivité dans les réponses peut biaiser les résultats.

Reprenons maintenant les observations finales à l'aide des mêmes fonctions qui ont été évaluées au travers des pré-tests :

**Fig. 16 : Dimensions d'IM évaluées chez Léo, comparaison des résultats pré/post-tests :**

DIMENSIONS D'IM	PRE-TEST	POST-TEST
<b>Timing prédictif</b>	Irrégularités (trop tôt ou trop tard) mais Léo est capable d'ajuster sa vitesse de déplacement à l'aide des feedbacks. Il peut y avoir jusqu'à 3 secondes de décalage. ( <i>Séance 1</i> )	Léo peut donner le signal trop tôt ou trop tard mais le décalage est au maximum d'1 seconde. Il peut généralement se corriger dès la 2 <sup>ème</sup> tentative. ( <i>Dernière séance</i> )
<b>Isochronie temporelle entre mouvement réel et imaginé</b>	Relativement présente, mouvements simulés un peu plus longs que les mouvements réels ( <i>Tâche Radiale de Fitts</i> )	Isochronie présente entre les coordinations exécutées et simulées lors de la dernière séance. Elle est aussi retrouvée sur la Tâche Radiale de Fitts.
<b>Imagerie motrice visuelle / kinesthésique</b>	Léo semble plus à l'aise pour mettre en jeu l'imagerie visuelle qu'une imagerie avec des ressentis de sensations : erreurs sur les échelles kinesthésiques, position, action ( <i>Praxis Imagery Questionnaire</i> )	Léo a pu imaginer d'un point de vue égocentré, ce qui semble l'avoir aidé à ressentir des sensations (ressent en IM le ballon passer dans son dos, sa main taper le ballon...)

<b>Utilisation de l'IM implicite</b>	Léo voit sa main bouger dans sa tête pour résoudre la tâche de rotation mentale ( <i>TIMI-1</i> )	Léo ne parvient pas à expliquer comment il a résolu la tâche de rotation mentale ( <i>TIMI-1</i> )
--------------------------------------	---	--

En conclusion, sur le TIMI-1, l'utilisation de l'IM de façon implicite n'est pas systématique. A l'inverse, Léo s'est amélioré en timing prédictif et ses progrès ont pu participer au perfectionnement de ses capacités d'IM : l'isochronie temporelle est devenue plus récurrente. A l'aide des entraînements, Léo a ressenti des sensations proprioceptives et kinesthésiques en IM. L'accès à ces ressentis est encore à favoriser pour les développer davantage.

**Fig. 17 : Fonctions motrices évaluées chez Léo, comparaison pré/post intervention :**

<b>FONCTIONS MOTRICES</b>	<b>PRE-TEST</b>	<b>POST-TEST</b>
<b>Régulation tonique</b>	Syncinésies ( <i>diadococinésies</i> ) Hypotonie importante de l'axe Faible recrutement tonique lors des mouvements	Syncinésies toniques encore présentes sur l'activité de dribble mais moins nombreuses. Meilleure gestion de la force de frappe dans le ballon.
<b>Ajustements posturaux</b>	Résistance aux poussées fragile Ajustements posturaux faibles Processus d'équilibration défaillants lors de l'habillage ( <i>questionnaire M-ABC-2</i> )	Ajustements posturaux plus efficaces et meilleur contrôle moteur dans les situations dynamiques (saut, dribbles en slalomant).
<b>Equilibre unipodal</b>	Sauts cloche-pied échoués, équilibre unipodal sur une planche déficitaire ( <i>M-ABC-1</i> )	Mise en place de stratégies d'équilibration pour se stabiliser sur un pied. Léo peut prendre impulsion sur un pied pour se propulser sur l'autre pied et contrôler son équilibre.
<b>Coordination haut-bas du corps</b>	Dissociation haut-bas inefficace sur l'épreuve Balle en équilibre ( <i>M-ABC-1</i> ) lors de laquelle il faut marcher tout en stabilisant une balle sur un plateau tenu sur une main	L'automatisation de mouvements mettant en jeu une coordination haut-bas du corps est possible (dribbler en slalomant, saut jumping jack...).

A partir des observations cliniques, les progrès en motricité sont évidents : Léo a pu mettre en place des apprentissages moteurs sur les activités travaillées. Des améliorations sont notées au niveau de la régulation tonique, des fonctions d'équilibration et des coordinations globales. Il serait intéressant de savoir si ces progrès auraient été objectivés au travers du M-ABC, permettant ainsi de savoir s'ils peuvent se transférer à des coordinations différentes de celles travaillées spécifiquement en séance. Cela sera discuté plus loin.

## 2) Mise en place du protocole auprès de Soan

### a) Résultats pré-tests pour Soan

- **Capacités d'IM :**

**Fig. 18 : Scores obtenus par Soan en pré-test à la Tâche Radiale de Fitts :**

Taille des cibles	Temps de mouvement réel	Temps de mouvement simulé
40 mm	8"1	9"6
20 mm	7"4	7"1
10 mm	8"2	14"1
5 mm	12"	12"
2,5 mm	15"1	9"

Soan est resté très concentré et appliqué sur cette épreuve, il est très précis dans les pointages. L'isochronie temporelle est retrouvée pour certaines tailles de cibles (20mm, 5mm) mais le manque de constance illustre des difficultés pour estimer la durée des mouvements. D'autre part, les mouvements réels suivent globalement la loi de Fitts alors qu'à l'inverse, les mouvements simulés ne suivent pas cette loi. C'est ce qui est fréquemment retrouvé chez les enfants TDC.

**Fig. 19 : Scores obtenus par Soan en pré-test au TIMI-1 :**

Orientation de la main	Temps de réponse moyen	Nombre de réussites
8 planches orientation : 0°	3"2 (de 2"4 à 4"6)	8/8
8 planches orientation : 60°	2"9 (de 2" à 3"9)	8/8
8 planches orientation : 120°	3"4 (de 1"8 à 7"3)	8/8
8 planches orientation : 180°	5"1 (de 2" à 10"6)	7/8
8 planches orientation : -120°	4" (de 2"4 à 9"5)	8/8
8 planches orientation : -60°	4" (de 2"4 à 6"7)	8/8

Soan est très intéressé par le support de l'épreuve (l'ordinateur). De fait, il pose beaucoup de questions sur son fonctionnement et a du mal à se mettre à la tâche. Au départ, malgré la répétition de la consigne, il ne peut s'empêcher de bouger ses mains pour les orienter comme sur l'image. Il arrive peu à peu à ne plus le faire mais des contractions des doigts sont nettement visibles. L'effort de concentration est réel, Soan est fatigable et a besoin de plusieurs pauses lors desquelles les ruminations anxieuses par rapport à ses notes scolaires font à nouveau surface. Malgré cela, Soan ne commet qu'une seule erreur. Les temps de réaction sont très variables et ce d'autant plus que l'orientation est complexe à atteindre anatomiquement. Il semble qu'il a donc bien eu recours à l'IM et ses capacités de rotation mentale sont bonnes, même si cela reste coûteux sur le plan cognitif.

Praxis Imagery Questionnaire adapté : Là encore pendant la passation du questionnaire, Soan a du mal à s'empêcher d'effectuer les mouvements. Il répond très rapidement aux questions des échelles *action* et *objet* et ne commet aucune erreur. Cependant, les échelles *kinesthésique* et *position du*

*corps* le mettent plus en difficulté. Il met longtemps à répondre, semble vraiment réfléchir. Il hésite beaucoup sur l'échelle *kinesthésique* et répond qu'il ne sait pas pour 3 sur 6 des actions proposées. Pour l'échelle *position du corps*, il procède par élimination des réponses proposées en imaginant les différentes positions (il dit que telle ou telle position est impossible à réaliser). Ainsi, ces résultats suggèrent de bonnes capacités d'imagerie visuelle, toutefois, le ressenti de sensations et l'utilisation de l'imagerie kinesthésique semblent plus difficiles d'accès.

- **Fonctions motrices :**

M-ABC (tranche d'âge 11-12 ans)				QUESTIONNAIRE DU M-ABC-2		
DM	DM1	0		PARTIE A	A.1 (habiletés dans les soins personnels)	1
	DM2	0			A.2 (habiletés observables en classe)	1
	DM3	2			A.3 (habiletés observables en éducation physique ou dans la récréation)	10
	TOTAL	2	>15 <sup>ème</sup> percentile		TOTAL	12
MB	MB1	3		PARTIE B	B.1 (habiletés dans les soins personnels / observables en classe)	12
	MB2	5			B.2 (gestion de balles)	13
	TOTAL	8	<5 <sup>ème</sup> percentile		B.3 (habiletés observables en éducation physique ou pendant la récréation)	4
					TOTAL	29
EQ	EQ1	0		A+B NOTE TOTALE DE MOTRICITE = 41 → Zone rouge		
	EQ2	5		PARTIE C	Facteurs non moteurs pouvant affecter le mouvement :	
	EQ3	5			Hésitant , distrait / Passif / Anxieux / Impulsif / Distract / Hyperactif / Surestime ses capacités / Sous-estime ses capacités / Manque de persévérance / Bouleversé par l'échec	
	TOTAL	10	<5 <sup>ème</sup> percentile			

**Fig. 20 : Scores obtenus par Soan au M-ABC-1 et au questionnaire du M-ABC-2 lors des pré-tests**

Soan présente un TDC qui touche les compétences en maîtrise de balles, en équilibre dynamique et coordinations générales. Au M-ABC, il est très en difficulté au niveau des coordinations oculomotrices (attraper une balle et viser une cible). Son tonus de base est hypotonique mais lors de ces activités, le recrutement tonique est important : une hypertonie d'action perturbe la fluidité des mouvements et l'ajustement de la force. Au vu de ses difficultés visuelles, on peut se questionner sur une faiblesse du contrôle visuomoteur. Par ailleurs, l'équilibre statique est dans la norme même si les ajustements posturaux sont rigides et exagérés. Soan n'arrive pas à coordonner le haut et le bas de son corps pendant le saut, les bras ne sont pas utilisés, il ne peut donc pas frapper dans ses

mains. L'impulsion est asymétrique et il a du mal à aller à la fois vers le haut et vers l'avant. Lors de la marche à reculons, le contrôle moteur est très fragile, des diffusions toniques dans les membres supérieurs entraînent des oscillations importantes.

Le score au questionnaire du M-ABC-2 est aussi pathologique. Il est en difficulté au quotidien notamment dans les activités sportives (les sauts, jeux de poursuite et d'esquive...), rythmiques (taper un rythme, bouger en rythme sur une musique), de maîtrise de balles (attraper, dribbler et contrôler le ballon, jeux d'équipe avec une balle...). Soan semble aussi maladroit dans des environnements dynamiques et non prévisibles.

- **Conclusions et choix de l'IM pour Soan :**

Ainsi, Soan semble donc en mesure d'accéder à l'IM. Néanmoins, les résultats aux tests montrent que ses capacités d'IM sont à développer, notamment pour ce qui est de la prédiction de durées de mouvements ou l'imagination de sensations à la fois proprioceptives et kinesthésiques. Il a de bonnes capacités de rotation mentale. Soan présente un important trouble de la planification de séquences motrices, l'IM lui permettrait peut-être de différer la réponse motrice pour prendre le temps de la planifier en amont. De même, cela pourrait lui apporter une stratégie pour diminuer son impulsivité et son manque d'inhibition motrice. Enfin, la présence d'un temps de pleine conscience dans le protocole m'apparaît également utile pour Soan qui arrive régulièrement en séance avec une anxiété de performance et en se dévalorisant par rapport à ses compétences scolaires. L'utilisation de l'ordinateur pour différents exercices du protocole pourrait aussi participer à sa motivation étant donné son intérêt important pour l'informatique.

Par ailleurs, il est essentiel de tenir compte les éléments suivants du profil de Soan pour la mise en place du protocole. Tout d'abord, il présente un trouble spécifique des apprentissages avec trouble du langage écrit ainsi qu'un trouble du langage oral. Il peut donc être en difficulté pour s'exprimer. Il faudra davantage le guider pour cela lors de l'analyse et la description des vidéos. Un autre point essentiel à ne pas négliger est la présence de faiblesses en mémoire de travail. Une mémoire de travail défaillante peut entraver les capacités d'IM, il peut oublier les paramètres à imaginer, avoir du mal à les manipuler. De plus, les particularités visuelles de Soan impacteraient sa motricité et sa dépendance à la vision est à prendre en considération. Enfin, Soan étant particulièrement fatigable au quotidien et venant en séance sur une journée d'école, il faut tâcher à ce que la séance ne soit pas trop coûteuse.

b) Déroulement des séances auprès de Soan

Avant la suspension des conventions de stage liée au Covid-19, six séances d'IM ont été effectuées. Soan s'est montré volontaire et s'est rapidement approprié l'ordre des exercices de la séance.



Timing prédictif : Seul l'exercice des vidéos de trajectoires de billes (expliqué p.39) a été utilisé avec Soan car il apprécie cet exercice et son support (l'ordinateur). Il reste bien concentré. De séance en séance, la difficulté des trajectoires est croissante et la vitesse de déplacement des billes devient de plus en plus aléatoire. Deux phases apparaissent très nettement dans l'évolution :

- Lors des trois premières séances, Soan est en difficulté pour trouver la forme des trajectoires de billes, il a besoin des cartes (cf. Annexe C) pour s'aider et doit visionner à nouveau la vidéo. Les prédictions temporelles sont irrégulières mais il peut se corriger au fur et à mesure des essais à l'aide des feedbacks.
- A partir de la séance 4, Soan parvient mieux à trouver les bonnes trajectoires de billes et ce, même avant de regarder les cartes. Ses estimations sont plus précises, les décalages sont moins longs. Lorsqu'il visualise, Soan effectue des mouvements de tête qui suivent à la fois la vitesse de déplacement estimée et la trajectoire de la bille. Cela suggère qu'il utilise bien l'imagerie mentale et je constate que les décalages temporels se trouvent surtout sur la fin du trajet.

Pleine conscience : Lors de la première séance, Soan veut effectuer la relaxation allongé sur un tapis. Pour les suivantes, il préfère rester assis sur une chaise, la tête posée sur un coussin. La première fois, Soan a pu se saisir de l'exercice, il est resté très attentif, les yeux fermés et s'est vraiment relâché pendant la relaxation. Néanmoins, il s'est relevé brusquement et m'a tout de suite questionné sur ce que je faisais lorsqu'il écoutait l'enregistrement. Ainsi j'ai tenté de le mettre plus en confiance la fois suivante et il a rapidement pris ses marques. Les séances lui ont par la suite été très bénéfiques, Soan manifeste un relâchement tonique important, il met plus de temps à « sortir » de la méditation, est très calme et dit apprécier le faire. Il reste assez évasif sur les sensations qu'il a pu ressentir mais peut aisément résumer le contenu des enregistrements.

Observation de vidéos : L'analyse visuelle semble vraiment de bonne qualité, Soan perçoit les indices saillants de la coordination, mais la transposition en langage est complexe. Bien que motivé, les analyses verbales des vidéos sont pauvres, Soan cherche ses mots. Pour pallier ce manque de vocabulaire, il imite ce qu'il voit, montre les parties du corps dont il veut parler pour s'aider. Il a besoin d'être guidé et je lui apporte du vocabulaire. Au fil des séances, il est en mesure de réutiliser ce vocabulaire et ses analyses s'enrichissent.

Il est étonné de l'utilisation des bras dans le saut en longueur : à la fois dans la course d'élan et pour aider l'impulsion du saut. Il ne comprend pas à quoi ils peuvent servir. Les temps d'observation de vidéos permettent donc aussi à Soan de poser ses questions et de prendre le temps de réfléchir ensemble à certains aspects de la motricité.

Imagerie motrice : Soan commence toujours par imaginer la coordination une première fois au ralenti, ce qui semble l'aider à planifier les différentes étapes. Puis les autres temps d'IM se font à vitesse réelle et leur durée est constante. D'ailleurs, le temps de simulation concorde avec le temps d'exécution. Soan s'imagine lui-même d'un point de vue latéral. A partir de la séance 4, il parvient à imaginer d'un point de vue égocentré le saut en longueur, il voit ses pieds ainsi que ses bras se lancer vers l'avant. Il imagine souvent les dribbles selon ce point de vue à la 1<sup>ère</sup> personne.

Lors du temps d'auto-évaluation, il choisit systématiquement la photo la plus nette (qualité de l'image mentale) et verbalise beaucoup. Il est capable de parler de ses ressentis corporels et semble moins impulsif qu'habituellement dans ses prises de parole. Les feedbacks verbaux sur certaines parties du corps l'incitent à se focaliser sur celles-ci ; en fin de séance, il rapporte que ce sont surtout dans ces parties que les sensations ont été les plus ressenties.

#### Pratique réelle :

**Sauts pieds écartés-serrés** : Le recrutement tonique est très important lorsqu'il se met en mouvement. Soan réalise des sauts saccadés et je note peu d'extension de jambes pour se propulser. Son poids du corps est vers l'arrière donc il n'y a pas de déroulé de pied qui lui permette de prendre l'impulsion avec l'avant du pied. Il réalise des temps d'IM régulièrement entre les essais en se concentrant sur ce qui lui a posé problème. Des améliorations de la flexion-extension sont notées. Lors de la 2<sup>ème</sup> séance, avec l'ajout de l'action des bras (clap des mains au-dessus de la tête), il a bien conservé les acquis au niveau des membres inférieurs mais n'arrive pas à réaliser les deux simultanément. Sa coordination est décomposée en plusieurs étapes : action des jambes, puis des bras puis jambes à nouveau. Je lui propose d'effectuer les mouvements des bras en même temps qu'il imagine la coordination et d'essayer de ressentir les sensations dans ceux-ci. La coordination haut/bas devient possible même si des arrêts peuvent encore être présents entre les sauts.

**Saut en longueur** : La course d'élan est correcte, Soan prend bien appel sur un pied mais est lourd au décollage et utilise peu ses bras. Les pieds sont décalés lors de la réception et il ne parvient pas à se stabiliser, il se précipite vers l'avant. Là encore, une répétition en IM, lors de laquelle il réalise en même temps le mouvement des bras qui se lèvent pendant le saut, lui permet d'améliorer la pratique réelle. Les vidéos au ralenti sont visionnées à nouveau au cours de la pratique réelle, Soan peut alors mieux observer l'étape du saut qui lui pose problème. Sur cette coordination, il est en mesure d'apporter lui-même des feedbacks sur sa pratique. Comme la réception n'est pas stable à la fin de la séance, il accepte de la reprendre la semaine suivante. Etonnamment, le saut est beaucoup plus fluide, moins variable, les bras participent à l'impulsion et les pieds atterrissent simultanément. La réception est toutefois encore lourde. Lors d'un temps d'IM, il lui est conseillé de prêter attention aux aspects auditifs du saut mais la coordination se désorganise et Soan ne peut plus se stabiliser.

**Dribbles** : Soan arrive bien à contrôler le ballon sur place. Quand il doit marcher en même temps, la gestion du ballon reste correcte mais la marche devient très saccadée, les jambes sont tendues et envoyées très haut. On peut percevoir que la coordination requière beaucoup d'attention, elle est réalisée de façon très conscientisée. Il garde en permanence le regard posé sur le ballon qui est bien contrôlé, même s'il est parfois envoyé trop haut. Lors des dernières séances, Soan réalise des temps d'IM avant chaque exécution réelle de son plein gré, il doit donc y trouver un intérêt.

Pour la coordination lors de laquelle Soan passe le ballon dans son dos avant de dribbler à nouveau, il dit avoir l'impression de ne pas bien tenir le ballon et que quelqu'un pourrait lui prendre des mains. En IM, je tente d'orienter son attention vers les sensations dans ses mains qui doivent serrer fortement le ballon. Il s'améliore et on tente une situation de 1 contre 1 où j'essaie de lui prendre des mains quand il le passe dans son dos. Il parvient à bien le serrer, néanmoins, ce jeu entraîne une excitation importante, Soan se précipite, se crispe, il perd le contrôle du ballon lorsqu'il doit gérer la présence d'un adversaire. Ses troubles visuels (faibles amplitudes fusionnelles et d'accommodation) pourraient peut-être expliquer en partie ces difficultés car il se trouve déstabilisé lorsque l'environnement est en mouvement.

### c) Adaptations mises en place

Afin de tenir compte des difficultés associées aux troubles moteurs de Soan, quelques adaptations ont été mises en place.

Tout d'abord, comme nous l'avons vu, Soan a un **trouble du langage oral**, il peut parfois être en difficulté pour exprimer ses idées, expliquer ce qu'il perçoit. Dès que possible, du vocabulaire lui est apporté, nous essayons de décrire des notions qu'il entend en sport au collège comme la course d'élan, le pied d'appel, se stabiliser... La phase d'observation de vidéos a donc pu être allongée.

Par ailleurs, Soan présente des **faiblesses en mémoire de travail** verbale et visuospatiale (Indice de Mémoire de Travail à 73 à la WISC-IV et -1 DS aux Cubes de Corsi) qui peuvent aussi être impactées par une **fatigabilité attentionnelle**. Cela se manifeste en séance.

Lors des exercices de timing prédictif avec les vidéos de trajectoires de billes, Soan parvient difficilement à trouver la forme de la trajectoire. Cela s'explique peut-être par un déficit de mémoire de travail visuospatiale, il est en difficulté pour se souvenir et assembler les différents segments du déplacement. Ainsi, je lui présentais des cartes (cf. Annexe C) pour qu'il parvienne à trouver le bon trajet et à en avoir une représentation globale. De fait, son attention est ensuite centrée sur la prédiction temporelle et non pas sur la recherche de la forme de la trajectoire.

Il lui arrive aussi d'oublier certaines étapes de la coordination lorsqu'elle est complexe. Dans ce cas, je séquénçais les coordinations et guidais les temps d'IM en indiquant les étapes principales. De plus, Soan peut avoir du mal à se souvenir des différents éléments lui posant problème dans la coordination. Nous avons donc procédé par étapes : lorsqu'un feedback verbal lui est donné, je lui propose de trouver un mot (qui lui fait penser à ce feedback) et l'inscrire sur un tableau placé face à lui. Il en prend ainsi connaissance à la fois avant le temps d'IM pour essayer d'intégrer cet aspect à la simulation du mouvement, ainsi qu'avant de réaliser réellement la coordination. Une fois que l'aspect en question s'améliore, un autre mot peut être ajouté. Nous n'avons pas dépassé plus de trois mots par séance pour ne pas saturer en informations verbales. Par exemple, pour le saut en longueur, il a choisi d'écrire « pieds » pour se souvenir de se réceptionner les deux pieds simultanément, « bras » pour penser à lancer ses bras lors de l'impulsion ou encore « pas de bruit » pour essayer de rendre sa réception moins lourde.

D'autre part, la gestion de l'**impulsivité** chez Soan, dont il peut faire preuve habituellement en séance de psychomotricité, s'est faite surtout au travers de discussions et d'une prise de conscience (métacognition). Soan est conscient qu'il se précipite souvent et qu'il a du mal à inhiber ses mouvements et souhaite progresser sur ce point. Ainsi, il lui a été expliqué que les temps d'IM lui permettraient de prendre le temps de bien préparer son mouvement pour en optimiser l'exécution.

Enfin, il a fallu tenir compte de l'**anxiété de performance** de Soan et de sa **faible confiance en lui**. Il vit dans un milieu familial plutôt anxigène et arrive régulièrement en séance avec des ruminations concernant ses résultats scolaires et se dévalorise. Il se compare à ses amis du collège qui sont, selon lui, meilleurs en sport. Les temps de méditation, les encouragements ainsi que les renforcements positifs utilisés semblent participer à la diminution de ces pensées parasites.

d) Observations post-tests pour Soan

Pour Soan, les observations finales sont uniquement cliniques. Les dimensions d'IM et fonctions motrices évaluées au travers des pré-tests ont été observées lors des dernières séances :

**Fig. 21 : Dimensions d'IM évaluées chez Soan, comparaison des résultats pré/post-tests :**

DIMENSIONS D'IM	PRE-TEST	POST-TEST
<b>Timing prédictif</b>	Prédictions temporelles irrégulières (trop tôt ou trop tard) mais capacités de correction à l'aide des feedbacks ( <i>séance 1</i> )	Estimations plus précises, décalages moins importants et retrouvés surtout sur la fin des trajets ( <i>dernière séance</i> )

<b>Isochronie temporelle entre mouvement réel et imaginé</b>	Isochronie retrouvée pour 2 tailles de cibles sur 5, donc inconstante. Mouvements réels suivent la loi de Fitts mais pas les mouvements simulés ( <i>Tâche Radiale de Fitts</i> )	Isochronie retrouvée : la répétition d'un même mouvement en IM a une durée constante, qui respecte la durée d'exécution réelle.
<b>Imagerie motrice visuelle / kinesthésique</b>	Imagerie visuelle facile d'accès mais sensations proprioceptives et kinesthésiques difficilement perçues en imagerie, Soan est en difficulté sur les échelles <i>kinesthésique</i> et <i>position du corps</i> ( <i>Praxis Imagery Questionnaire</i> )	Il semble visualiser aisément les mouvements, s'imagine d'un point de vue externe ou interne. Il dit ressentir des sensations dans les parties du corps sur lesquelles l'attention a été orientée pendant la séance ( <i>temps d'auto-évaluation ont permis ces observations</i> )

En conclusion, pour Soan, des progrès sont notés en timing prédictif, ils ont pu contribuer à l'émergence d'une isochronie temporelle entre mouvements réels et simulés. Soan peut rendre compte de sensations proprioceptives et kinesthésiques en IM.

**Fig. 22 : Fonctions motrices évaluées chez Soan, comparaison pré/post intervention :**

FONCTIONS MOTRICES	PRE-TEST	POST-TEST
<b>Régulation tonique</b>	Tonus de fond hypotonique Tonus d'action hypertonique (recrutement tonique important lors de la mise en mouvement) Diffusions toniques dans les membres supérieurs Faible régulation de la force dans les activités oculomotrices ( <i>M-ABC-1</i> )	Meilleure flexion-extension des jambes, moins rigides dans les sauts. Bon contrôle de la force de frappe dans le ballon, même s'il reste parfois envoyé trop fort (dribble). Il peut serrer avec force le ballon lorsqu'il le fait passer dans son dos. Crispations si la situation entraîne de l'excitation.
<b>Ajustements posturaux</b>	Rigides et exagérés Contrôle moteur fragile lors de la marche à reculons talon-pointe, oscillations importantes ( <i>M-ABC-1</i> )	Réception du saut en longueur mieux stabilisée (mais encore lourde et lorsqu'il tente d'améliorer ce point, la coordination se désorganise).
<b>Coordination haut-bas du corps</b>	Coordination haut/bas absente pendant le saut : bras inutilisés, ni pour se propulser, ni pour frapper dans ses mains simultanément ( <i>M-ABC-1</i> )	Coordination haut/bas devient possible même si les sauts peuvent encore être discontinus (jumping jack). Il peut utiliser ses bras pour se propulser. Dissociation membres supérieurs-inférieurs possible lors du dribble.
<b>Contrôle visuomoteur</b>	En difficulté sur les coordinations oculomotrices, contrôle visuomoteur fragile. Dépendance à la vision. Au quotidien, en difficulté sur les jeux de poursuite, d'esquive, de maîtrise de balles au quotidien, maladresse dans les environnements dynamiques.	Regard dirigé sur le ballon, bon contrôle du ballon dans les dribbles. Ce contrôle devient moins précis en situation de 1 contre 1. Soan peut difficilement prendre en compte les informations externes.

Soan a donc progressé sur le plan de la régulation tonique, sa motricité est plus souple sur les activités travaillées. Néanmoins, lorsqu'il essaie de programmer moins de force pour être moins lourd dans ses réceptions par exemple, cela désorganise la coordination : il semblerait que l'hypertonie d'action qui le caractérise serve à compenser son faible tonus de fond, ce qui est d'ailleurs souvent retrouvé chez les anciens prématurés.

Soan est en capacité de réaliser des apprentissages moteurs. Il peut désormais se servir de ses bras pendant les sauts travaillés. Le contrôle du ballon (dribble) est efficace sur place mais son attention est focalisée sur le ballon, la coordination du reste du corps est plus complexe. Il est en mesure d'y parvenir dans le contexte de la séance en situation individuelle. Toutefois, la situation de 1 contre 1 testée lors de la dernière séance suggère que Soan peut être en difficulté pour gérer à la fois son dribble et des paramètres environnementaux changeants. La poursuite du protocole tel qu'initialement prévu (2 séances supplémentaires sur l'activité de dribble), aurait eu pour objectif d'automatiser davantage la coordination et de développer le ressenti de ses sensations internes pour pallier sa dépendance visuelle lors du dribble.

#### **IV) Discussion**

##### 1) Efficacité de l'intervention en IM sur les deux enfants

J'aimerais ouvrir cette discussion au sujet des observations cliniques réalisées tout au long du protocole car, premièrement, elles suggèrent des effets bénéfiques de la technique d'IM sur les performances motrices des deux enfants porteurs d'un TDC et deuxièmement, l'IM facilite également les nouveaux apprentissages moteurs. Léo et Soan ont tous les deux progressé cliniquement et/ou de façon quantifiée, à la fois au niveau de leurs capacités d'IM et de leurs compétences motrices : régulation tonique, ajustements posturaux, coordination motrice des membres supérieurs/inférieurs et de leur dissociation, contrôle visumoteur, équilibre unipodal, qui sont toutes des fonctions motrices intervenant dans les coordinations évaluées par le M-ABC. Ceci est congruent avec la littérature à ce sujet. De même, en tenant compte des recherches effectuées sur l'IM et l'hypothèse du déficit de modèles internes dans le TDC, on peut imaginer que l'amélioration des capacités d'IM chez Léo et Soan leur a permis de perfectionner ou d'établir de nouveaux modèles internes du mouvement, favorisant un meilleur contrôle moteur.

Différents points positifs ont retenu mon attention durant la mise en place de ce protocole.

Tout d'abord, lorsqu'une coordination était travaillée, elle était reprise la semaine suivante pour la faire évoluer (les sauts ont été complexifiés, les dribbles également). Et pour les deux enfants, les progrès réalisés sur la coordination se sont maintenus lors de la séance suivante, montrant une

certaine automatisation de l'habileté travaillée. Ensuite, j'ai remarqué que les coordinations ne s'amélioraient pas ou peu avec la pratique répétée si aucun feedback verbal n'était donné, ni si aucun temps d'IM n'était réalisé entre deux essais. Cela est concordant avec la littérature sur le TDC qui indique une variabilité importante dans les performances motrices de ces sujets. Pour obtenir des changements, j'utilisais à la fois des feedbacks verbaux sur la pratique mais aussi je proposais de nouveaux temps de répétition mentale au cours de la pratique réelle, pour que l'enfant puisse prendre en compte le feedback et porter son attention en IM sur les étapes de la coordination posant le plus problème. Cela semble être ce qui fonctionnait le plus ; reste à savoir si les progrès sont attribuables aux temps d'IM et/ou aux feedbacks verbaux.

J'ai également pu constater que la technique d'IM pourrait apporter des effets lorsque l'enfant présente une aversion au délai, un défaut d'inhibition. Léo et Soan ont pu mieux gérer leur impulsivité et prendre davantage le temps de planifier leurs actions motrices qu'habituellement. L'intégration du temps d'IM, lors duquel l'enfant inhibe sa réponse motrice, avant la pratique réelle, pourrait constituer un entraînement des capacités d'inhibition motrice et permettre d'insérer un délai pour différer la réponse. En effet, en IM la commande motrice est quand même générée, mais elle est inhibée (Guilbert *et al.*, 2013). La technique de visualisation mentale peut d'ailleurs être utilisée pour les défauts d'inhibition dans le cadre du TDA/H : on favorise chez le sujet la formation d'images mentales pour anticiper une action afin de diminuer l'impulsivité. Cela pourrait se rapprocher de ce qui est réalisé avec l'IM.

Enfin, la mise en place de ce type de protocole participe à l'amélioration de la confiance en soi. Léo pouvait être très fier de lui lorsqu'il visionnait les vidéos de ses coordinations motrices filmées en fin de séance. De son côté, Soan, au cours des séances, a paru gagner en maturité et était plus sûr de lui. D'ailleurs, les recommandations Inserm (Albaret *et al.*, 2019) suggèrent que pratiquer des activités motrices ou favoriser la participation des enfants porteurs d'un TDC auraient des impacts positifs sur l'estime de soi.

Néanmoins, certains questionnements restent encore en suspens.

Nous pouvons nous interroger sur les effets de la technique à long terme ou dans la vie quotidienne de l'enfant. Avec peu de pratique réelle lors des séances, les coordinations peuvent-elles s'automatiser, se généraliser dans d'autres contextes ? Ou bien faut-il, -une fois que la coordination est apprise et efficace-, favoriser par une autre méthode son automatisation, le transfert à d'autres tâches, la généralisation ? On pourrait, par exemple, travailler sur des mises en situation écologiques après le protocole, pour que les activités travaillées puissent être utilisées dans d'autres situations et que les effets se maintiennent sur le long terme. Pour illustration, avec Soan, j'ai repéré qu'il est capable d'améliorer ses capacités de dribble en individuel, mais la gestion des autres

paramètres, de l'environnement dynamique et non prévisible lors d'un match de basket, de l'excitation qui peut apparaître dans des situations de compétition ou de face à face, altère ses compétences. Il me semblerait judicieux, suite au protocole, de mettre en jeu le facteur émotionnel au travers de mises en situation, pour qu'il apprenne à gérer aussi ces paramètres et que les compétences développées en séance de psychomotricité puissent être réutilisées dans d'autres contextes.

D'autre part, je me questionne sur l'intérêt de l'IM par rapport aux difficultés visuelles présentées par Soan. Il est dépendant à la vision, présente de faibles amplitudes fusionnelles et d'accommodation qui rendent difficile le passage vision de près/vision de loin. Dans les situations comme celle du dribble pour laquelle deux référentiels spatiaux sont en mouvement (déplacement de son corps et scène visuelle en mouvement), l'attention de Soan se focalise sur le ballon et la prise en compte des paramètres extérieurs est compliquée. Ainsi, poursuivre les séances d'IM, renforcer ses images motrices et la prise en compte des feedbacks proprioceptifs ou kinesthésiques, ne pourraient-ils pas diminuer sa dépendance à la vision et ainsi compenser ses difficultés visuelles ? Soan s'appuierait alors davantage sur ses ressentis internes pour contrôler sa coordination motrice et pourrait élargir sa prise en compte des informations visuelles externes.

En conclusion, l'IM est en effet une technique riche et utile en psychomotricité. Les recherches cliniques sur la mise en place de protocole d'IM sont à poursuivre afin d'apporter de plus amples connaissances sur les effets au niveau des fonctions motrices mais également d'autres sphères du fonctionnement du patient.

## 2) Discussion autour des adaptations du protocole mises en place

Les adaptations mises en place pour Léo et Soan ont été profitables. Léo a pu mieux gérer son impulsivité et a réussi à préserver sa motivation jusqu'à la fin du protocole, facilitant ainsi les progrès. Soan, quant à lui, a pu enrichir son vocabulaire, ses paroles sont plus affirmées et malgré une mémoire de travail fragile que l'on sait très liée à l'IM, il a pu progresser.

*« Each child with DCD has individual difficulties and abilities, and preferred individual learning strategies and solutions. Therapists should try to find the right strategies and to adapt the circumstance to optimize the learning processes »*

(Recommandations EACD, Blank *et al.*, 2019, p. 31).

Les recommandations européennes sur la prise en charge du TDC préconisent en effet d'utiliser les techniques de rééducation validées mais également de les adapter au profil du patient : son âge, son expérience, son niveau de développement, ses capacités initiales, sa personnalité...



Certains points m'ont cependant interrogée par rapport aux adaptations réalisées.

Tout d'abord, au niveau de l'ordre des exercices dans les séances, je me pose la question de déplacer le temps de relaxation/préparation mentale avant les exercices de timing prédictif. En effet, pour Léo par exemple, qui peut arriver contrarié en séance, un temps de relaxation dès son arrivée lui aurait peut-être permis d'être plus disponible pour les exercices de timing prédictif.

De plus, on note une irrégularité dans les progrès de Léo qui est hypersensible et fatigable. Il s'est nettement amélioré sur le timing prédictif et sur les coordinations motrices lors des deux dernières séances du protocole lors desquelles il est arrivé dans de bonnes conditions, sans fatigue ni contrariétés. Nous pouvons nous demander si ces progrès sont liés à l'entraînement et/ou au fait que Léo était plus disponible lors de ces séances et qu'il a ainsi pu mieux utiliser ses capacités. L'hétérogénéité très importante entre les indices de son profil intellectuel est source d'anxiété et de problèmes de régulation émotionnelle, je me suis d'abord demandé si cela ne pouvait pas compromettre l'efficacité de la technique d'IM qui requiert une disponibilité attentionnelle. Peut-être aurait-il fallu travailler en amont sur la régulation émotionnelle avant de proposer ce protocole. Néanmoins, les progrès sur le plan moteur ont été possibles pour Léo, les temps de relaxation lui ont été bénéfiques et on peut même se demander si un protocole d'IM pourrait avoir un effet sur la régulation de l'état émotionnel. Plus de séances auraient peut-être permis d'en savoir plus.

L'imagerie motrice est donc une technique modulable, un outil, dont le praticien peut s'inspirer et qu'il peut adapter, faire évoluer pour répondre au mieux aux besoins et capacités de son patient. Il est intéressant de connaître en amont l'enfant et son fonctionnement afin de s'adapter plus facilement et d'anticiper les éventuelles difficultés dans la mise en place d'un protocole de ce type.

### 3) Avantages et limites du mémoire

Pour conclure, nous discuterons des avantages et limites de ce mémoire et du travail réalisé.

D'une part, la situation sanitaire liée au Covid-19 a, certes, fait obstacle à la mise en place de la méthodologie telle qu'imaginée initialement. Mais, dans la profession de psychomotricien, les observations cliniques constituent un outil indispensable et, ici, la situation a été l'opportunité de prendre davantage en compte ces observations, de les explorer, pour tirer le maximum de conclusions et de réflexions sur le travail mené.

Ce travail m'a permis de mieux me rendre compte des difficultés qui peuvent être rencontrées dans la mise en place d'un protocole d'IM mais aussi des avantages de cette technique. Il s'agit d'un protocole qui prend une place assez conséquente dans la prise en charge psychomotrice de l'enfant et cela requiert une implication importante de sa part. C'est pourquoi à l'issue du protocole, il m'a

paru intéressant d'évaluer la satisfaction des enfants par rapport à cette technique. Seul Léo, pour qui j'ai mené la totalité des séances, a pu m'apporter son ressenti. A l'aide d'une échelle d'évaluation de 1 à 10 (cf. Annexe H), je lui ai posé quelques questions. Les exercices de timing prédictif ont été appréciés (note attribuée : 9), il a adoré les exercices de méditation (note : 10). De même, il accorde la note de 10 à la pratique réelle des dribbles et 8 pour les sauts. Ce qui lui a le moins plu, c'est l'observation de vidéos (il attribue la note de 5) et les temps d'IM (note : 6), cela peut être mis en lien avec son aversion au délai et son envie de pratiquer tout de suite la coordination. Globalement, il me dit être satisfait et est fier de lui sur les vidéos réalisées en fin de séance. Ainsi, même si les séances pouvaient être coûteuses sur le plan attentionnel, il en garde de bons souvenirs.

D'autre part, je note certaines limites à mon travail et à l'utilisation de cette technique.

Déjà, le contexte sanitaire n'a pas permis de réaliser les post-tests à l'aide des mêmes outils que les pré-tests, ce qui ne permet pas d'objectiver les résultats quant à l'efficacité de la technique.

Par ailleurs, la technique d'IM peut présenter des inconvénients. Elle requiert un certain travail en amont avant d'être mise en place. Il convient de créer un stock de vidéos selon différents points de vue et comprenant différentes habiletés à travailler. Le mieux est que la personne filmée comme modèle dans les vidéos soit de même corpulence, du même âge que le patient pris en charge, que la vidéo soit réalisée dans la même salle avec le matériel utilisé en séance pour faciliter les représentations mentales. De plus, les tests d'évaluation des capacités d'IM semblent essentiels avant la mise en place d'un protocole mais leur passation est assez longue. En pratique libérale, rajouter ces épreuves lors d'un bilan initial est complexe, elles seraient plutôt à prévoir en deuxième intention mais s'étendraient alors sur le temps de rééducation de l'enfant. De plus, j'ai également constaté que la passation de ces épreuves est coûteuse sur le plan cognitif pour l'enfant, elle a entraîné une fatigabilité chez les deux enfants testés. Ainsi, même s'ils sont habituellement fatigables, je me demande si cette fatigue engendrée ici n'aurait pas un impact sur les compétences objectivées.

Pour finir, l'imagerie motrice étant un processus interne, il reste délicat de savoir si l'enfant met réellement en jeu des processus d'IM pendant les temps de visualisation. Les recrutements toniques, les ébauches de mouvement sont des signes allant dans ce sens et nous pouvons nous baser aussi sur les auto-évaluations et la parole des enfants. Il est également complexe avec ce type de protocole de savoir ce qui a effectivement permis les progrès : est-ce les temps d'IM, la répétition en pratique réelle, la prise en compte des feedbacks, les exercices de timing prédictif ou justement l'interaction entre tous ces facteurs ? La poursuite des recherches sur le sujet est essentielle.

# CONCLUSION

Pour conclure, l'imagerie motrice est une des techniques à disposition du psychomotricien dans le cadre du TDC. Elle s'avère efficace dans la rééducation de ce trouble en mettant en jeu des mécanismes de plasticité cérébrale et d'amélioration des modèles internes du mouvement, favorisant un contrôle moteur plus efficace. Les deux enfants pris en charge, Léo et Soan, ont pu s'approprier la technique et des progrès sont observés tant sur leurs capacités d'IM que sur leurs performances motrices.

Le TDC se manifeste de façon hétérogène chez les individus porteurs et s'accompagne très fréquemment d'autres difficultés (troubles co-occurents, déficits au niveau des fonctions cognitives, faible estime de soi...). Ainsi, si le professionnel souhaite utiliser la technique d'IM auprès de son patient, il sera nécessaire d'y apporter des adaptations pour que le patient en tire le plus de bénéfices. Léo et Soan présentent tous les deux d'autres difficultés associées à leurs troubles moteurs. Ce mémoire a été l'occasion de se questionner sur les adaptations à mettre en œuvre pour eux. On peut se demander si ce travail pourra se transférer à d'autres activités et si les progrès se maintiendront sur le long terme ? L'IM facilite les apprentissages moteurs des activités spécifiquement travaillées, une fois celles-ci acquises, ne serait-il pas nécessaire de poursuivre le travail autour de ces habiletés en mettant en jeu le facteur émotionnel pour favoriser la participation sociale de ces enfants présentant un TDC ?

En tant que future professionnelle, j'ai pu, en partant du bilan des enfants et de leur projet thérapeutique en psychomotricité imaginer une prise en charge incluant l'utilisation de cette technique. Ce mémoire m'a ainsi permis de commencer à m'imprégner de cette technique d'IM, d'éprouver ses bénéfices et les limites auxquelles on peut être confronté en l'utilisant. La mise en place d'un protocole de ce type m'a obligée à planifier, prévoir, anticiper les séances mais aussi à m'adapter au patient et aux imprévus.

# 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.
- Adams, I. L., Smits-Engelsman, B., Lust, J. M., Wilson, P. H., & Steenbergen, B. (2017). Feasibility of motor imagery training for children with developmental coordination disorder—a pilot study. *Frontiers in psychology*, *8*, 1271.
- Adams, I. L., Steenbergen, B., Lust, J. M., & Smits-Engelsman, B. C. (2016). Motor imagery training for children with developmental coordination disorder—study protocol for a randomized controlled trial. *BMC neurology*, *16*(1), 5.
- Albaret, J. M., Arnaud, C., Assaiante, C., Gonzalez-Monge, S., Huron, C., Jolly, C., ... & Vaivre-Douret, L. (2019). Trouble développemental de la coordination ou dyspraxie.
- Albaret, J., Scialom, P., & Canchy-Giromini, F. (2018). *Manuel d'enseignement de psychomotricité Tome 4 Sémiologie et nosographies psychomotrices* (Collection Psychomotricité). Paris, France : De Boeck supérieur.
- American Psychiatric Association (2015). *DSM-5-Manuel diagnostique et statistique des troubles mentaux*. Issy-les-Moulineaux : Elsevier Masson.
- 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 meta-analytic 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.
- Caeyenberghs, K., Wilson, P. H., Van Roon, D., Swinnen, S. P., & Smits-Engelsman, B. C. (2009). Increasing convergence between imagined and executed movement across development: evidence for the emergence of movement representations. *Developmental science*, *12*(3), 474-483.
- Charrier, A., & Mangin, M. (2018). *Penser à son dribble ou à son tir, via le modèle d'imagerie mentale" Pettlep", pour améliorer ses performances au football* (Doctoral dissertation, Haute école de santé Genève).

- Collet, C., Di Rienzo, F., Hoyek, N., & Guillot, A. (2013). Corrélats neurophysiologiques de l'imagerie motrice. *Movement & Sport Sciences-Science & Motricité*, (82), 7-19.
- Craik, K. J. W. (1952). *The nature of explanation* (Vol. 445). CUP Archive.
- Cumming, J., & Hall, C. (2002). Deliberate imagery practice: the development of imagery skills in competitive athletes. *Journal of Sports Sciences*, 20(2), 137-145.
- Decety, J., & Jeannerod, M. (1995). Mentally simulated movements in virtual reality: does Fitt's law hold in motor imagery?. *Behavioural brain research*, 72(1-2), 127-134.
- Decety, J., Jeannerod, M., Germain, M., & Pastene, J. (1991). Vegetative response during imagined movement is proportional to mental effort. *Behavioural brain research*, 42(1), 1-5.
- Geuze, R. (2005). *Le trouble de l'acquisition de la coordination évaluation et rééducation de la maladresse chez l'enfant* (Troubles du développement psychologique et des apprentissages). Marseille, France : Solal.
- 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. (2013). Imagerie motrice: principes, concepts et méthodes. *Movement and Sports Sciences – Science et Motricité* 82(82), 1-6.
- Guillot, A., Collet, C., Nguyen, V. A., Malouin, F., Richards, C., & Doyon, J. (2009). Brain activity during visual versus kinesthetic imagery: an fMRI study. *Human brain mapping*, 30(7), 2157-2172.
- 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.
- HAS (2012). Accident vasculaire cérébral: méthodes de rééducation de la fonction motrice chez l'adulte. *Méthode «Recommandations pour la pratique clinique*, 2012-11.
- Holmes, P. S., & Collins, D. J. (2001). The PETTLEP approach to motor imagery: A functional equivalence model for sport psychologists. *Journal of applied sport psychology*, 13(1), 60-83.
- Isaac, A., Marks, D. F., & Russell, D. G. (1986). An instrument for assessing imagery of movement: The Vividness of Movement Imagery Questionnaire (VMIQ). *Journal of Mental Imagery*.

- Jackson, P. L., Lafleur, M. F., Malouin, F., Richards, C., & Doyon, J. (2001). Potential role of mental practice using motor imagery in neurologic rehabilitation. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 82(8), 1133-1141.
- Jeannerod, M. (1994). The representing brain: Neural correlates of motor intention and imagery. *Behavioral and Brain sciences*, 17(2), 187-202.
- Jeannerod, M. (2009). *Le cerveau volontaire*. Odile Jacob.
- Lebon, F., Gueugneau, N., & Papaxanthis, C. (2013). Modèles internes et imagerie motrice. *Movement & Sport Sciences-Science & Motricité*, (82), 51-61.
- Loison, B., Moussaddaq, A. S., Cormier, J., Richard, I., Ferrapie, A. L., Ramond, A., & Dinomais, M. (2013). Translation and validation of the French Movement Imagery Questionnaire–Revised Second version (MIQ-RS). *Annals of physical and rehabilitation medicine*, 56(3), 157-173.
- Lotze, M., & Halsband, U. (2006). Motor imagery. *Journal of Physiology-paris*, 99(4-6), 386-395.
- Madiou, E., & Swiatek, C. (2018). *Programme Rééducation fonctionnelle psychomotrice des fonctions exécutives: TDAH et troubles exécutifs*. Paris, France : De Boeck Supérieur.
- Malouin, F., Richards, C. L., Jackson, P. L., Lafleur, M. F., Durand, A., & Doyon, J. (2007). The Kinesthetic and Visual Imagery Questionnaire (KVIQ) for assessing motor imagery in persons with physical disabilities: a reliability and construct validity study. *Journal of Neurologic Physical Therapy*, 31(1), 20-29.
- Martini, R., Carter, M. J., Yoxon, E., Cumming, J., & Ste-Marie, D. M. (2016). Development and validation of the Movement Imagery Questionnaire for Children (MIQ-C). *Psychology of Sport and Exercise*, 22, 190-201.
- Maruff, P., Wilson, P., Trebilcock, M., & Currie, J. (1999). Abnormalities of imagined motor sequences in children with developmental coordination disorder. *Neuropsychologia*, 37(11), 1317-1324.
- Mellet, E., Petit, L., Mazoyer, B., Denis, M., & Tzourio, N. (1999). Imagerie cérébrale de l'imagerie mentale. *Médecine/sciences*, 15, 475-482.
- Molina, M., Tijus, C., & Jouen, F. (2008). The emergence of motor imagery in children. *Journal of experimental child psychology*, 99(3), 196-209.

- Page, S. J., Levine, P., Sisto, S., & Johnston, M. V. (2001). A randomized efficacy and feasibility study of imagery in acute stroke. *Clinical rehabilitation*, 15(3), 233-240.
- Preston, N., Magallon, S., Hill, L. J., Andrews, E., Ahern, S. M., & Mon-Williams, M. (2017). A systematic review of high quality randomized controlled trials investigating motor skill programmes for children with developmental coordination disorder. *Clinical rehabilitation*, 31(7), 857-870.
- Puyjarinet, F. (2015). Intérêt de l'imagerie motrice dans la rééducation de la dysgraphie chez l'enfant. *Entretiens de Psychomotricité 2015*, 80-96.
- Puyjarinet, F. (2016). L'imagerie motrice dans la rééducation de la dysgraphie: de la théorie à l'organisation de la pratique thérapeutique. *Entretiens de Psychomotricité 2016*, 1-10.
- Puyjarinet, F. (2019). Intérêts de la pratique de l'imagerie motrice dans la rééducation de l'écriture des enfants dysgraphiques. *A.N.A.E.*, 159, 001-011.
- Puyjarinet, F., Connan, J.-F., & Soppelsa, R (en préparation). Le Test de la tâche radiale de Fitts : standardisation et étalonnage chez des enfants de 7 à 11 ans
- Puyjarinet, F., Connan, J.-F., & Soppelsa, R (soumis). Le Test d'Imagerie Motrice Implicite (TIMI-1) : standardisation et étalonnage chez des enfants de 7 à 11 ans
- Rizzolatti, G. (2006). Les systèmes de neurones miroirs. *Paper delivered at the Paris Academy of Sciences, December, 12.*
- Rulleau, T., & Toussaint, L. (2014). L'imagerie motrice en rééducation. *Kinésithérapie, la Revue*, 14(148), 51-54.
- Sabbah, P., De Schonen, S., Leveque, C., Gay, S., Pfefer, F., Nioche, C., ... & Cordoliani, Y. S. (2002). Sensorimotor cortical activity in patients with complete spinal cord injury: a functional magnetic resonance imaging study. *Journal of neurotrauma*, 19(1), 53-60.
- Schuster, C., Hilfiker, R., Amft, O., Scheidhauer, A., Andrews, B., Butler, J., ... & Ettlin, T. (2011). Best practice for motor imagery: a systematic literature review on motor imagery training elements in five different disciplines. *BMC medicine*, 9(1), 75.
- Scialom, P., Canchy-Giromini, F., & Albaret, J. (2015). *Manuel d'enseignement de psychomotricité Tome 2 Méthodes et techniques* (Collection Psychomotricité). Paris, France : De Boeck-Solal.
- Smits-Engelsman, B., Blank, R., Van Der Kaay, A., Mosterd-Van Der Meijjs, R., Vlugt-Van Den Brand, E., Polatajko, H., & Wilson, P. (2013). Efficacy of interventions to improve motor

- performance in children with developmental coordination disorder: A combined systematic review and meta-analysis. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 55(3), 229-237.
- Smits-Engelsman, B., Vincon, S., Blank, R., Quadrado, V. H., Polatajko, H., & Wilson, P. H. (2018). Evaluating the evidence for motor-based interventions in developmental coordination disorder: A systematic review and meta-analysis. *Research in Developmental Disabilities*, 74, 72-102.
- Smits-Engelsman, B., & Wilson, P. H. (2013). Noise, variability, and motor performance in developmental coordination disorder. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 55, 69-72.
- Snel, E., & Van Rillaer, J. (2017). *Calme et attentif comme une grenouille: la méditation pour les enfants avec leurs parents* (Edition révisée). Paris, France : Les Arènes.
- 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., Adams, I. L., Caeyenberghs, K., Thomas, P., Smits-Engelsman, B., & Steenbergen, B. (2016). Motor imagery training enhances motor skill in children with DCD: A replication study. *Research in developmental disabilities*, 57, 54-62.
- Wilson, P. H., Maruff, P., Butson, M., Williams, J., Lum, J., & Thomas, P. R. (2004). Internal representation of movement in children with developmental coordination disorder: a mental rotation task. *Developmental medicine and child neurology*, 46(11), 754-759.
- Wilson, P. H., Maruff, P., Ives, S., & Currie, J. (2001). Abnormalities of motor and praxis imagery in children with DCD. *Human Movement Science*, 20(1-2), 135-159.
- Wilson, P. H., Ruddock, S., Smits-Engelsman, B., 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.
- Wilson, P. H., Smits-Engelsman, B., Caeyenberghs, K., Steenbergen, B., Sugden, D., Clark, J., ... & Blank, R. (2017). Cognitive and neuroimaging findings in developmental coordination disorder: new insights from a systematic review of recent research. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 59(11), 1117-1129.
- Wilson, P. H., Thomas, P. R., & Maruff, P. (2002). Motor imagery training ameliorates motor clumsiness in children. *Journal of Child Neurology*, 17(7), 491-498.



# RESUME

---

## *Version française*

---

L'imagerie motrice (IM) est une technique utilisée dans de multiples domaines : chez les sportifs, les musiciens, dans le cadre pathologique et qui s'est récemment développée dans le cadre des troubles psychomoteurs. Elle se définit comme l'accès conscient à la représentation d'un mouvement intentionnel pendant sa phase de préparation et serait efficace dans la rééducation du Trouble Développemental de la Coordination (TDC), dont une des étiologies possible est l'hypothèse d'un déficit de modèles internes. L'IM améliorerait le contrôle moteur proactif.

Ce mémoire présente l'utilisation d'un protocole d'IM pour la rééducation de difficultés en motricité globale auprès de deux enfants présentant un TDC. Comme l'on retrouve fréquemment dans ce trouble, nos deux cas d'étude présentent d'autres difficultés associées. Des adaptations ont été mises en place afin qu'ils bénéficient au mieux de l'efficacité de la technique.

**Mots-clés :** Imagerie Motrice, Trouble Développemental de la Coordination, modèles internes, contrôle moteur, adaptations

---

## *English version*

---

Motor imagery (MI) is a technique used in multiple fields: with athletes, musicians, in the pathological context and which has recently been developed in the context of psychomotor disorders. It is defined as the conscious access to the representation of an intentional movement during its preparation phase and would be effective in the rehabilitation of Developmental Coordination Disorder (DCD), which can be explained by the internal modeling deficit hypothesis. MI would improve proactive motor control.

This paper presents the use of a MI protocol for the rehabilitation of gross motor difficulties in two children with DCD. As it is commonly found in this disorder, our two children present other associated difficulties. Adaptations have been made to ensure that they benefit as much as possible from the effectiveness of the technique.

**Key words:** Motor imagery, Developmental Coordination Disorder, internal models, motor control, adaptations