

Université de Toulouse

Faculté de médecine Toulouse Rangueil

Institut de Formation en Psychomotricité



UNIVERSITÉ
TOULOUSE III
PAUL SABATIER



Université
de Toulouse

Imagerie motrice et dysgraphie

*Application d'un protocole d'Imagerie Motrice dans le cadre de
la rééducation de la dysgraphie d'une enfant présentant un
Trouble d'Acquisition de la Coordination*

Mémoire en vue de l'obtention du Diplôme d'Etat de Psychomotricienne

Sommaire

INTRODUCTION.....	1
PARTIE THEORIQUE	3
I. L'écriture et ses troubles	3
1) Définition et modèles	3
a. Modèles neuropsychologiques de l'écriture	3
b. Facteurs endogènes et exogènes de l'écriture.....	4
c. Invariants	4
d. Influences contextuelles	5
2) Développement de l'écriture : de plus en plus de stabilité.....	5
a. Développement de la motricité et de la prise de l'outil scripteur	6
b. Evolution des aspects statiques et dynamiques de l'écriture manuelle	6
c. Les 2 principales raisons du progrès/ raisons de stabilité de l'écriture	7
3) Trouble de l'écriture chez l'enfant	8
a. Définition.....	8
b. Caractéristiques des troubles de l'écriture	9
c. Epidémiologie.....	10
d. Etiologie.....	11
e. Conséquences	11
f. Dysgraphie et trouble associés	12
4) Dysgraphie et TAC.....	12
a. Prévalence.....	12
b. Particularités de l'écriture chez le TAC	12
II. L'imagerie motrice.....	13
1) Généralités.....	13
a. Définition.....	13
b. Caractéristiques de l'imagerie mentale.....	14
c. Historique /Cadre d'utilisation	16
d. IM et Plasticité.....	17
e. Evaluation des capacités d'imagerie motrice	18
f. Conditions de bonne pratique	21

2) Développement chez l'enfant.....	22
a. Age d'apparition de l'imagerie motrice.....	22
b. Evolution de l'IM au cours du développement	22
3) Imagerie motrice et modèle interne du mouvement.....	23
a. Théorie des modèles internes	23
b. Concept d'imagerie motrice d'après cette théorie.....	25
III. Imagerie motrice en psychomotricité.....	26
1) Dans quel cadre est-elle utilisée en psychomotricité ?.....	26
a. Imagerie motrice et Trouble de l'Acquisition de la Coordination.....	26
b. Imagerie motrice et dysgraphie	27
2) Capacité d'IM chez le sujet TAC.....	28
a. Déficit de modélisation interne.....	28
b. Evaluation des capacités d'imagerie motrice	30
c. Prévalence des troubles de l'IM chez les sujets avec TAC	32
d. IM et sévérité du TAC	32
PARTIE PRATIQUE.....	34
I. Anamnèse et bilan	34
1) Anamnèse	34
2) Bilan psychométrique.....	35
3) Bilan psychomoteur et évaluations d'imagerie motrice.....	35
a. Bilan psychomoteur	35
b. Evaluation des capacités d'imagerie motrice	39
c. Epreuve complémentaire	42
II. Protocole et séances.....	43
1) Création du protocole	43
a. Entraînement au timing prédictif.....	43
b. Exercices de méditation de pleine conscience.....	45
c. Observation de séquences vidéo.....	45
d. Imagerie motrice.....	46
2) Optimisation de l'efficacité de l'imagerie : Modèle PETTLEP.....	46

3) Observations qualitatives des séances	48
a. Choix des lettres travaillées	48
b. Progression du travail des lettres	49
c. Déroulement des séances	49
III. Retest et mise en forme des résultats.....	52
1) BHK (10 ans et 5 mois).....	52
2) Epreuve de chronométrie mentale.....	53
3) Epreuve de jugement de latéralité	53
4) Questionnaire	54
5) Epreuve complémentaire : les signes prescripturaux	54
6) Tableau récapitulatif des résultats des épreuves de test et de retest.....	55
DISCUSSION	56
CONCLUSION.....	61
BIBLIOGRAPHIE	62
ANNEXE	69

INTRODUCTION

L'écriture manuscrite est un comportement moteur complexe dans lequel des processus linguistiques, psychomoteurs et biomécaniques interagissent avec les processus de maturation, de développement et d'apprentissage. Comme les autres habiletés motrices et linguistiques complexes telles que la parole et la lecture, l'écriture exige un temps prolongé pour développer un niveau élevé de compétence (Mojet, 1991 in Smits-Engelsman et Van Galen, 1997).

Au sein des différents troubles du développement, les difficultés d'écriture sont très fréquemment retrouvées dans le tableau clinique. Les problèmes d'écriture sont ceux qui sont les plus souvent mentionnés chez les enfants atteints d'un Trouble de l'Acquisition de la Coordination (TAC). Ce dernier est un trouble qui touche environ 5 à 8 % des enfants d'âge scolaire. Il se manifeste dès la première enfance par une altération dans l'acquisition et l'exécution des habiletés motrices se traduisant par de la lenteur, de la maladresse et de l'imprécision dans leur exécution, malgré un équipement sensoriel et neurologique ainsi que des capacités intellectuelles préservés. De nombreuses conséquences découlent de ce trouble qui affecte les activités de la vie quotidienne, familiale et sociale mais aussi la réussite scolaire (DSM 5, 2013). Il peut aussi avoir de graves conséquences au niveau psychologique avec une baisse de l'estime de soi et l'apparition de troubles secondaires comme les troubles dépressifs et les troubles anxieux par exemple. C'est un trouble très hétérogène qui s'exprime par des déficits perceptifs (visuel, tactile et kinesthésique), par un contrôle postural et de l'équilibre altérés, des difficultés visuomotrices, une dextérité manuelle défaillante et des dyspraxies gestuelles et visuoconstructives. Ces manifestations sont liées à l'incoordination motrice et au défaut de contrôle moteur (Albaret et Chaix, 2015).

En ce qui concerne l'écriture, la caractéristique commune des enfants dysgraphiques est que même avec la quantité appropriée d'enseignement et de pratique, ils ne parviennent pas à faire des progrès suffisants dans l'acquisition de l'écriture manuscrite. La plainte la plus fréquente au sujet de leur écriture est qu'ils ne sont pas capables de produire un script de bonne qualité. L'écriture dysgraphique manque de cohérence mais cela n'est pas dû à l'imprudence ou à l'ignorance (in Smits-Engelsman et al. 1997).

La prise en charge de l'écriture chez ces enfants ayant ce trouble semble être importante aux vues des répercussions qu'il engendre. La conférence de consensus qui a eu lieu à Leeds en 2006 a établi les lignes directrices d'une prise en charge d'enfant porteur d'un trouble de

l'acquisition de la coordination. Elle mentionne les éléments que les approches d'intervention devraient satisfaire : « les activités devraient être fonctionnelles, sur la base d'objectifs qui sont pertinents pour la vie quotidienne et significatifs pour l'enfant ; elles devraient améliorer la généralisation et l'application dans le contexte de la vie quotidienne ; Et les interventions doivent être fondées sur des preuves et fondées sur des théories applicables à la compréhension des enfants atteints d'un TAC (Smits-Engelman, Blank, Van Der Kaay, Mosterd-Van Der Meijs, Vlugt-Van Den Brand, Polatajko, et Wilson, 2013).

Une technique d'intervention qui émerge en psychomotricité et qui pourrait remplir les critères proposés au consensus de Leeds est l'imagerie motrice. Peu de travaux viennent soutenir son efficacité qui pourtant montre des résultats prometteurs, notamment auprès d'enfant ayant une dysgraphie associée à un TAC.

Etant confronté à ce type de population sur mon lieu de stage, je me suis interrogée sur l'intérêt d'une telle technique, sur son efficacité ainsi que sur son application en clinique. Comment l'utilise-t-on auprès d'enfants dysgraphiques ?

Dans une première partie théorique, nous aborderons l'écriture suivant un axe développemental dans un premier temps, puis au regard des troubles qui peuvent se rattacher à cette fonction instrumentale dans un deuxième temps, plus spécifiquement chez l'enfant TAC. Nous nous intéresserons également à l'imagerie motrice et à son développement chez l'enfant. Enfin, nous étudierons l'intérêt de cette technique d'imagerie en psychomotricité, pour nous intéresser particulièrement aux capacités d'imagerie chez les enfants porteurs d'un TAC.

PARTIE THEORIQUE

I. L'écriture et ses troubles

L'écriture manuscrite remplit une place centrale dans la scolarité, non seulement par la durée de son apprentissage mais également par le rôle qu'elle joue. En effet, c'est un outil essentiel pour accéder aux connaissances, pour les organiser, les restituer. De par son caractère permanent, l'écriture permet d'accumuler des informations, d'évaluer ces informations et de faire des connexions entre les idées. C'est aussi un outil de communication et qui devient progressivement un outil de pensée puisqu'elle permet d'exprimer ses idées. De par son côté formel, ce mode d'expression nécessite une rigueur pour être clair et précis dans ce que l'on veut transcrire.

1) Définition et modèles

L'écriture est une habileté complexe qui requiert de nombreuses coordinations simultanées : coordination oculo-manuelle, traitement des informations kinesthésiques et proprioceptives, contrôle du mouvement... (Albaret, Kaiser et Soppelsa, 2013). De plus, son apprentissage s'avère long et coûteux faisant intervenir plusieurs processus, qu'il s'agisse de processus sensori-moteurs, cognitifs, linguistiques ou encore culturels.

A la fin de cette longue période d'acquisition, l'écriture possède des caractéristiques stables et personnalisées.

a. Modèles neuropsychologiques de l'écriture

Le modèle d'Ellis et Yong (1998) est celui qui constitue le modèle de référence pour de nombreux chercheurs. Il décrit les différentes voies neurologiques ascendantes (mouvement-système nerveux central) et descendantes (système nerveux central-mouvement) engagées dans la production du langage oral mais aussi écrit (Albaret et *al.*, 2013), l'écriture étant une transcription du langage oral en langage écrit. Ces voies sont constituées de différents modules qui s'activent après reconnaissance visuelle ou auditive d'un mot. Dans ce système, chaque sous-système traite l'information indépendamment des autres et donne ses résultats à la partie immédiatement inférieure qui la traite à son tour.

Après cette reconnaissance visuelle ou auditive, c'est le buffer graphémique qui s'active : ce module maintient temporairement la représentation graphémique du mot c'est-à-dire l'organisation temporelle du mot pendant le temps nécessaire à l'exécution de la réponse motrice.

Ensuite, c'est le buffer allographique qui est activé : c'est lui qui définit le style d'écriture (minuscule/majuscule, cursive/scripte,...). Les allographes d'un graphème sont toutes les formes que peut prendre un graphème tout en restant lisible (Cours magistral de 2^{ème} année).

Quand la sélection des caractéristiques de la lettre future a eu lieu, les programmes moteurs sont alors sélectionnés. Ils indiquent la direction, les séquences, la taille des traits et la disposition spatiale. Le mot est alors écrit.

b. Facteurs endogènes et exogènes de l'écriture

L'écriture est une habileté complexe faisant intervenir différents facteurs. Kaiser (2009) décline ces facteurs, il y a ceux endogènes regroupant la maturation développementale, le genre, les fonctions sensori-motrices : dextérité manuelle et digitale, intégration visuomotrice, visuoception, attention visuelle et fonction cognitives. Ceux exogènes sont ceux environnementaux tels que la position de l'enfant, l'outil scripteur utilisé, mais aussi les modalités et la durée de l'enseignement de l'écriture qui influent sur la qualité et la vitesse d'écriture.

c. Invariants

La production de l'écriture montre une certaine stabilité et régularité qui s'explique par la présence d'invariants. Ces invariants concernent les aspects spatiaux, temporels et cinématiques.

○ L'invariance des effecteurs

L'invariance des effecteurs est la conservation des caractéristiques de l'écriture quelque soit la partie du corps avec laquelle on écrit. Cela signifie qu'il existe un schéma général de la lettre permettant une équivalence motrice quelque soit le membre effecteur.

○ L'isochronie

L'isochronie est l'invariance de la durée du mouvement d'écriture : quelque soit la taille de la lettre, la durée pour la produire est la même. Il existe un mécanisme compensatoire pour conserver la même durée de production lorsque la taille de la lettre augmente. Cette isochronie n'est pas absolue (Wright, 1990 in Albaret et *al.*, 2013), elle n'est pas conservée quand la variation de la taille de la lettre est trop importante.

Par contre, la tendance à l'isochronie se retrouve même quand on demande à un sujet de se représenter mentalement des mouvements graphiques (Benoit et Soppelsa, 1996).

- ***L'homothétie temporelle***

L'homothétie temporelle correspond à la proportionnalité qui existe entre la durée de chacun des traits du mot et la durée totale de la production, c'est-à-dire que la durée relative de chaque trait reste constante quelque soit la taille, la vitesse ou les effecteurs utilisés.

- ***L'homothétie spatiale***

L'homothétie spatiale est la conservation des caractéristiques spatiales de l'écriture (forme, longueur, courbure, trajectoire) quelque soit la taille ou la vitesse de production. Les rapports géométriques sont conservés alors que la taille ou la vitesse varient.

Cette caractéristique est relative quand une contrainte importante de vitesse est appliquée.

- ***Loi puissance 2/3***

Cette loi indique que pour tous les tracés, la vitesse diminue lors du tracé d'une courbe et augmente lors de traits rectilignes. (Viviani et Flash, 1995 in Albaret et *al.*, 2013).

d. Influences contextuelles

Des travaux ont montré que le contexte avait une influence sur la production de l'écriture.

- ***Effet de la position***

« La forme d'une lettre dans un mot est dépendante des lettres qui l'entourent » (Benoit et *al.*, 1996, p.112). Les caractéristiques du mouvement (accélération et durée des traits) et de la lettre varient en fonction de la lettre suivante (phénomène d'anticipation) et en fonction de la lettre précédente. Il existerait donc une liaison qualitative entre les lettres (Benoit et *al.*, 1996).

- ***Effet de la fréquence lexicale***

Cet effet est celui qui permet au scripteur de regrouper comme une unité, des lettres souvent utilisées ensemble. Les digrammes ou trigrammes (ensemble de 2 ou 3 lettres) connus sont alors écrits plus rapidement, le temps de latence et d'initiation de la production de ces lettres est diminué. Cet effet marche d'autant mieux quand ces digrammes ou trigrammes sont placés à la fin du mot (Zesiger et al, 1993 in Benoit et *al.*, 1996).

2) Développement de l'écriture : de plus en plus de stabilité

Durant l'acquisition de l'écriture, il y a une interaction entre développement et apprentissage, l'évolution de la production écrite dépend d'une part des modalités et de la durée de l'enseignement de l'écriture mais également des différences développementales individuelles.

a. Développement de la motricité et de la prise de l'outil scripteur

Certains aspects du développement psychomoteur influence l'acquisition de l'écriture. Progressivement au cours du développement moteur, le membre supérieur se libère. C'est vers 6-7 ans que la dissociation entre stabilité et mobilité des articulations du membre supérieur apparait et permet à l'enfant d'avoir un meilleur contrôle pour écrire (Lacquaniti, 1989 in Albaret et *al.*, 2013).

Concernant le développement de la prise de l'outil scripteur, le développement de la motricité fine y contribue beaucoup. La prise de l'outil va influencer la qualité du graphisme : plus elle sera fine, plus le contrôle moteur pourra être précis (Kaiser, 2009). La première prise est en général palmaire où aucun mouvement intrinsèque des doigts n'est observé. Ensuite, une prise transitoire apparait avec l'utilisation de trois ou quatre doigts et des mouvements principalement de flexion et extension du poignet. Enfin, une prise mature voit le jour où le rôle des doigts se dissocie : l'auriculaire et l'annulaire ont alors un rôle de stabilisateur, les autres sont mobiles. A cette dissociation des doigts s'ajoute celle du poignet (Rosenblum et Horton, 1971 in Albaret et *al.*, 2013).

b. Evolution des aspects statiques et dynamiques de l'écriture manuelle

L'évolution de l'écriture est un phénomène discontinu qui se déroule sur une longue période.

Avant 6 ans, les exercices de pré-graphisme permettent à l'enfant d'acquérir une maîtrise de l'outil scripteur et des formes de base requises dans la production des lettres.

Ensuite, vers 6-7 ans, l'enfant apprend à former les lettres et à les assembler pour former des mots. La correction s'effectue en même temps de la production grâce au contrôle de la vision (contrôle rétroactif) (Grossberg et Paine, 2000 in Albaret et *al.*, 2013). La vitesse est saccadée du fait des allers retours qu'effectue l'enfant entre le modèle de la lettre et celle qu'il est en train d'écrire. Elle est lente, de grande taille et nécessite de nombreuses pauses (Zesiger, 2003).

Entre 7 et 8 ans, une amélioration importante portant sur la forme des lettres et des mots est observée ainsi que sur l'alignement sur la ligne et l'espacement des lettres et des mots. Le mouvement graphique est plus fluide. La durée de production, le nombre et la durée des pauses diminuent progressivement.

Vers 9 ans, une forme de régression est observée : il y a une diminution de la vitesse et de la fluidité. L'hypothèse explicative serait celle d'une plus grande application de la part des enfants pour améliorer la qualité d'écriture (Vinter et Zesiger, 2008 in Albaret et *al.*, 2013).

A partir de 10 ans, la forme des lettres est stable, la vitesse de l'écriture progresse énormément. Les mouvements sont alors automatisés, le mode de contrôle est plus proactif.

Enfin vers 11-12 ans, c'est la période de personnalisation de l'écriture. En effet, l'exigence de vitesse apparaît alors pour y remédier, l'enfant tend à simplifier son écriture afin de la rendre plus économique. Cependant, Graham, Berninger, Weintraub et Shafer, (1998) (in Kaiser, 2009) constatent que les bons scripteurs personnalisent plus rapidement leur écriture que les mauvais scripteurs.

c. Les 2 principales raisons du progrès/ raisons de stabilité de l'écriture

○ *L'augmentation de l'unité de base du programme moteur*

Dans une approche cognitive du mouvement, le modèle théorique de Schmidt portant sur le programme moteur permet d'expliquer comment il est possible de contrôler un mouvement aussi rapide que l'écriture : le contrôle s'effectuerait en amont du mouvement. Schmidt introduit la notion de programme moteur généralisé qui est stocké en mémoire et qui constituerait le support d'une classe de mouvement. Ces programmes moteurs généralisés comprennent des invariants telle que la structure temporelle relative, l'ordre des séquences de mouvement, la force relative des muscles impliqués. Ils comprennent aussi des paramètres variables qui permettent de s'adapter aux contraintes environnementales : la durée totale du mouvement, la force totale nécessaire, les groupes musculaires impliqués.

Le programme moteur de l'écriture contient des informations comme la taille de la lettre à produire, sa forme et l'ordre dans lesquels les traits doivent être tracés.

Une étude dédiée à l'évolution de l'empan de transcription (nombre d'unités écrites sans recours au modèle) dans une tâche de copie, réalisée auprès d'élèves en CP, montre que la taille de l'unité de base du programme moteur évolue au cours de l'apprentissage (Préteur et Telleria-Jauregui, 1986 in Albaret et *al.*, 2013). En effet, en début d'année les élèves copient des morceaux de lettres, trait par trait. Au fur et à mesure de leur apprentissage de l'écriture, ils copient lettre par lettre, la taille des traits devenant de plus en plus importante. A la fin du CP, ils sont capables de copier des petits mots entiers sans regarder le modèle. En parallèle de l'augmentation de l'empan de transcription, la taille de l'unité du programme moteur passerait ainsi du trait à la lettre.

○ *Le passage d'un contrôle rétroactif à contrôle proactif*

En psychologie cognitive, on distingue deux grands modes de contrôle des mouvements : un contrôle rétroactif (ou en boucle fermée) et un contrôle proactif (ou en boucle ouverte).

Dans le mode rétroactif, le contrôle du mouvement s'effectue en cours de production grâce aux feedbacks sensoriels, notamment visuels et kinesthésiques. La durée des mouvements doit être suffisamment importante (supérieure à 100 ms) pour qu'ils puissent être modifiés en temps réel (Albaret et *al.*, 2013).

Dans le mode proactif, le contrôle repose sur le programme moteur, le mouvement est entièrement programmé à l'avance et une fois qu'il est lancé, le mouvement ne peut pas être modifié par des informations issues des systèmes sensoriels. Dans l'écriture, la représentation interne du programme moteur participe au contrôle proactif et par conséquent à son automatiser. En effet, ce type de contrôle est uniquement appliqué à des mouvements rapides (Albaret et *al.*, 2013).

Au début de l'apprentissage de l'écriture, le contrôle des mouvements s'effectue grâce aux feedbacks sensoriels. En effet, les enfants produisent les lettres trait par trait et de manière suffisamment lente pour pouvoir corriger leur mouvement en temps réel. Progressivement avec l'acquisition de l'écriture, la vitesse de production augmente, le mouvement d'écriture devient de plus en plus automatique : le mode de contrôle devient alors majoritairement proactif. Cette stratégie de contrôle s'appuie donc sur les programmes moteurs, s'affranchissant des feedbacks sensoriels pour contrôler le déroulement de l'écriture. Il est par contre supposé que les feedbacks sensoriels pourraient contribuer à l'élaboration des représentations internes du mouvement.

Les deux modes de contrôle sont donc utilisés, la boucle fermée participe au bon agencement spatial de la trace écrite, la boucle ouverte (qui est majoritaire), elle, est utile à la production de la bonne forme des lettres en se basant sur une représentation interne du programme moteur.

3) Trouble de l'écriture chez l'enfant

a. Définition

Dans les classifications internationales, les difficultés d'écriture n'existent pas en tant que trouble spécifique : dans le DSM IV (1994), on trouve un « Trouble de l'expression écrite » parmi les « troubles des apprentissages » qui ne concerne que le versant orthographique et syntaxique alors que l'écriture illisible est associée au Trouble de l'acquisition de la coordination (TAC). Le DSM 5 (2013) ne fait toujours pas explicitement référence au trouble graphomoteur. La CIM-10 mentionne simplement une malhabileté pour l'écriture dans la description du trouble spécifique du développement moteur (Albaret et *al.*, 2013).

A l'heure actuelle, il n'y a pas de consensus terminologique : les termes troubles graphomoteurs, dysgraphie, faible écriture manuelle, écriture manuelle non performante, dysgraphie de développement, sont ceux employés dans la littérature scientifique (Volman, Van Schendelb et Jongmans, 2006). D'un point de vue développemental, les difficultés d'écriture manuelle chez l'enfant pouvant persister à l'âge adulte sont appelées « dysgraphies ». Le diagnostic de dysgraphie ne peut être posé qu'à partir de l'âge de 7 ans avec au moins un an d'apprentissage. Aujourd'hui, certains auteurs proposent d'employer le terme trouble de l'apprentissage de la graphomotricité qui est défini selon les trois critères suivants (Albaret et *al.*, 2013):

- Les productions écrites, évaluées par des tests étalonnés mesurant la qualité et la fréquence d'inscription, sont nettement en dessous du niveau attendu du sujet compte tenu de son âge, de sa classe, de son niveau intellectuel ou encore de son développement psychomoteur, et ce, malgré un enseignement approprié. L'écriture peut être lente, illisible, raturée, irrégulière ; le geste peut manquer de fluidité et de régularité.
- Le trouble de l'écriture a un impact significatif sur la scolarité ou les activités de la vie quotidienne faisant appel à l'écriture.
- Il n'est pas dû à une affection médicale générale, ni à un trouble de l'acquisition de la coordination.

b. Caractéristiques des troubles de l'écriture

Chez les faibles scripteurs, une variabilité de la production est observée que ce soit au niveau de la taille de l'écriture, de l'espacement entre les lettres ou entre les mots entraînant des performances moins bonnes en terme de lisibilité et de fluidité que les sujets bons scripteurs (Barnhardt ,Borsting, Deland, Pham, et Vu, 2005 ; Karlsdottir et Stefansson, 2002 in Kaiser 2009).

Des erreurs dans l'alignement des lettres sont également retrouvées (Rosenblum, Dvorkin et Weiss, 2006), ainsi que des angles aigus dans la formation des lettres ou au niveau des liens entre les lettres (Karlsdottir et Stefansson, 2002 in Kraiser 2009) ou encore des anomalies dans la formation des lettres. Des lettres ambiguës peuvent aussi être retrouvées (Rosenblum et *al.*, 2006). Deuel (1994) observe un nombre plus important de lettres corrigées chez les faibles scripteurs que chez les bons scripteurs. Une explication probable de ces corrections serait que les enfants, se rendant compte de l'écart entre le résultat attendu et la production écrite effectueraient une autocorrection. Selon Graham, Struck, Santoro et Beninger (2006) (in Kaiser, 2009), la présence de corrections de lettres indiquerait le manque de stabilité du

programme moteur de la lettre. Cette hypothèse est corroborée par le nombre de levers de stylo qui est plus important et par la durée de ces levers qui est plus longue chez les sujets faibles scripteurs que chez les bon scripteurs (Wann & Jones, 1986 in Kaiser, 2009) ce qui signifierait que les faibles scripteurs auraient besoin de plus de temps pour planifier et produire les lettres successives (Rosenblum et *al.*, 2006).

Selon les études, la taille des lettres caractérisant une faible écriture manuelle est soit inférieure à celle d'une écriture manuelle performante (Graham et *al.*, 2006 in Kaiser, 2009), soit elle est caractérisée par une hauteur et une largeur plus importante que celle des scripteurs performants (Karlsdottir et Stefansson, 2002 in Kaiser 2009). La question de la pression exercée sur le stylo ne fait pas non plus consensus selon les études : aucune variation de pression n'est constatée chez Smits-Engelsman et Van Galen (1997) alors qu'une étude réalisée par Smits-Engelsman, Wilson, Westenberg et Duyens (2003) (in Kaiser, 2009) montre que les enfants TAC avec des troubles d'apprentissage appuient 2.6 fois plus fort sur leur stylet que le groupe contrôle.

En ce qui concerne la vitesse d'écriture, les études ne rapportent pas de différences significatives entre les bons scripteurs et les mauvais scripteurs (Hamstra-Bletz et Blöte, 1993). Cependant, une diminution de la fréquence d'inscription chez les enfants dysgraphiques présentant un trouble de l'acquisition de la coordination peut être rencontrée (Volman et *al.*, 2006).

La dysgraphie est donc un trouble très hétérogène qui peut s'inscrire à différents niveaux, « les principaux signes de la dysgraphie sont une mauvaise organisation de la page, la maladresse du tracé et des erreurs de formes et de proportion dans le traçage des lettres. La page donne l'impression d'un travail négligé, sale, les espaces entre les lettres et les mots ne sont pas respectés, l'enfant ne suit pas la ligne. Les lignes se rapprochent et s'éloignent les unes des autres ». De plus, « le mouvement est heurté, saccadé, manquant de fluidité, le trait est irrégulier, les liaisons entre les lettres sont souvent absentes ou laborieuses. Les lettres sont mal proportionnées, trop larges ou trop hautes ou, au contraire, atrophiées et déformées » Albaret (1995, p. 72-73).

c. Epidémiologie

La prévalence des troubles de l'écriture varie selon l'âge des enfants, le genre ou encore le système de scolarisation (Kaiser, 2009). De manière générale, les études indiquent qu'entre 5 à 25% des enfants scolarisés à l'école primaire présentent des troubles de l'écriture avec un sex-ratio de trois garçons pour une fille. En effet, cela pourrait s'expliquer par les

compétences moins bonnes au niveau de la motricité fine observées chez les garçons ou par une prévalence plus importante de garçons ayant des troubles du développement pouvant affecter l'écriture. (Albaret et *al.*, 2013)

Il est à noter aussi que les gauchers sont autant touchés que les droitiers.

d. Etiologie

L'étiologie des troubles de l'écriture reste difficile à établir du fait des nombreuses zones cérébrales impliquées, du fait également de la complexité des processus perceptivo-moteurs engagés dans sa réalisation (Puyjarinet, 2015). Il est à noter qu'une absence d'enseignement spécifique de l'écriture ou un apprentissage inadéquat peut être l'une des causes d'un trouble de l'écriture.

e. Conséquences

Comme nous avons pu le voir précédemment, en général, les productions écrites des enfants dysgraphiques manquent de lisibilité, de stabilité, de fluidité... Il est souvent observé chez ces enfants que certaines lettres isolées peuvent être écrites correctement, mais produites à l'intérieur des mots, elles sont déformées. Le manque d'automatisation de l'écriture va mettre l'enfant en situation de double tâche : son attention va porter à la fois sur la production des lettres mais aussi sur les exigences de la tâche scolaire (Berninger et *al.*, 1997 in Kaiser 2009). « Si l'enfant se concentre sur la formation des lettres et le contrôle des mouvements, le raisonnement nécessaire à l'application de règles de grammaire et d'orthographe est perturbé tout comme la qualité des idées lors d'une composition. » (Kaiser, 2009 p.1-2). De plus, quand la fréquence d'inscription est faible, il est plus difficile pour eux de finir les travaux scolaires à temps. Un comportement d'évitement des activités d'écriture peut alors se mettre en place, renforçant ainsi l'écart avec ses pairs et pouvant avoir des répercussions importantes sur les apprentissages et sur la réussite scolaire. Si ces comportements d'évitement se situent dans la période d'apprentissage de l'écriture, ils perturberont la mémorisation des lettres, mémorisation qui est meilleure lorsque l'apprentissage se fait en situation d'écriture manuelle qu'en situation de lecture uniquement (Longcamp, Boucard, Guilhodes et Velay, 2006). En outre, les enfants faibles scripteurs sont souvent moins bien notés, les enseignants seraient moins persévérants dans la lecture d'une rédaction et plus sévères dans leur notation (Kaiser, 2009).

Les troubles de l'écriture ont donc des conséquences immédiates mais aussi à plus long terme, puisqu'ils peuvent entraîner une baisse d'intérêt pour les tâches scolaires mais aussi de l'anxiété, de l'évitement, des sentiments négatifs vis à vis de l'écriture, une auto-

dépréciation... Un trouble touchant cette activité peut donc être la cause de difficultés au quotidien, voire de handicap au sein de la société tant elle prend une place importante.

f. Dysgraphie et trouble associés

Les troubles de l'écriture sont rarement des troubles isolés. Ils sont rencontrés dans un certain nombre de populations cliniques, ils sont présents dans de nombreuses pathologies (trisomie 21, épilepsie, paralysie cérébrale, trouble du spectre autistique...). Ces difficultés d'écriture sont particulièrement représentées dans les différents troubles du développement tels que le TAC, le TDA/H, les troubles de la communication, les troubles spécifiques d'apprentissage (dont la dyslexie) (Albaret *et al.*, 2013).

Dans le paragraphe suivant nous nous intéresserons plus particulièrement à l'association entre trouble de l'écriture et TAC.

4) Dysgraphie et TAC

a. Prévalence

Il est difficile de donner la proportion d'enfant TAC parmi une population de faible scripteur : en effet, selon les études, cette proportion peut varier entre 10% et 90%. Ainsi, Kaiser (2009) identifie 10% d'enfants TAC dans un échantillon de 40 faibles scripteurs âgés de 8 ans. Smits-Engelsman, Niemeijer et Van Galen (2001) relèvent 25% d'enfants présentant un TAC léger (score \geq au 15ème centile au M-ABC) parmi 12 enfants faibles scripteurs âgés entre 6 et 11 ans. Dans l'étude de Volman *et al.* (2006) la proportion s'élève à 90% avec 26 enfants TAC dans une population de 29 faibles scripteurs. De la même manière, parmi 15 enfants diagnostiqués TAC et scolarisés en CE1 et en CE2, plus de la moitié présente des troubles de l'écriture (Goldberg-Stern et Weintraub, 2005 in Kaiser, 2009).

b. Particularités de l'écriture chez le TAC

Les difficultés les plus fréquemment retrouvées chez les enfants TAC portent sur la lisibilité (lettres irrégulières, espace variable entre les lettres, les mots, les lignes,... Albaret, 1995) mais aussi sur la vitesse. L'étude réalisée par Rosenblum et Livneh-Zirinski (2008) sur le produit et le processus de l'écriture le met bien en évidence. En effet, la fréquence d'inscription (mesurée grâce à une tablette digitale) est plus lente que pour le groupe contrôle et la lisibilité est plus faible (mauvaise organisation spatiale, lettres corrigées plus nombreuses que pour les sujets contrôle). La pression est quant à elle moindre toujours par rapport au groupe contrôle. Pour ces auteurs, la lenteur est inhérente au TAC.

Une étude réalisée en 2010 par Jolly, Huron, Albaret et Gentaz qui compare la production de lettres cursives en copie et en dictée d'une enfant avec TAC en classe de CP avec ceux d'enfants de grande section de maternelle et de CP, rapporte un nombre plus élevé de levers de crayon et une longueur plus grande des lettres en copie, ainsi qu'un nombre de mouvements lents plus élevé en dictée. Les auteurs suspectent un défaut d'automatisation des lettres, un défaut de mémoire procédurale et un retard dans l'élaboration du programme moteur des lettres chez cette enfant.

Les troubles de l'écriture peuvent donc affecter durablement la scolarité et avoir des répercussions importantes sur l'avenir de ces enfants. La prise en charge de ce trouble représente donc un enjeu primordial.

II. L'imagerie motrice

1) Généralités

a. Définition

Aucune définition consensuelle n'est à ce jour disponible, mais il est habituel de définir l'imagerie motrice (IM) comme « un état dynamique impliquant la simulation mentale d'une action motrice » (Decety et Jeannerod, 1995, p.127). L'IM représenterait le résultat d'un accès conscient au contenu de l'intention, qui est réalisé habituellement de manière non consciente pendant la préparation du mouvement : l'IM est une représentation motrice consciente qui survient indépendamment de la réalisation effective du geste puisque l'imagerie n'est pas conçue pour être exécutée, l'exécution de l'action est bloquée ou retardée (Jeannerod, 1994). L'imagerie motrice est à distinguer des autres formes d'imageries telles que l'imagerie visuelle. L'IM engage le sujet dans une perspective interne, à la « première personne » : elle concerne la représentation de soi en action et impliquerait que le sujet se sente exécuter une action donnée, qu'il s'agisse de l'ensemble du corps ou qui se limite à une partie (Jeannerod, 1994). Lors de cette réalisation, l'individu doit essayer de ressentir les conséquences du mouvement au niveau kinesthésique et proprioceptif mais aussi les caractéristiques du déroulement temporel du mouvement (Puyjarinet, 2015). C'est ainsi que l'IM peut parfois être appelée IM kinesthésique. L'imagerie visuelle, quant à elle, implique une perspective externe (à la « troisième personne »), comme si on observait une tierce personne en train de réaliser une action. Aucun ressenti proprioceptif ou kinesthésique n'est alors présent.

b. Caractéristiques de l'imagerie mentale

La performance motrice imaginée est soumise aux mêmes contraintes environnementales et physiologiques que les mouvements réalisés. D'ailleurs, Jeannerod (1994) évoque la notion d'un continuum fonctionnel entre action exécutée et action imaginée qui partageraient alors des structures communes.

o Au niveau comportemental

L'imagerie motrice est difficile à étudier étant donné son caractère interne qui n'est donc pas directement observable. Cependant, des chercheurs ont pu montrer, en s'appuyant sur l'hypothèse que l'IM garderait certaines caractéristiques du mouvement, étant donné qu'elle partage une base neurale commune avec l'action réelle, qu'en effet, les principales caractéristiques de l'action, soit les caractéristiques temporelles et biomécaniques, sont préservées lors de la simulation de l'action (Guilbert, Jouen, Lehalle et Molina, 2013).

Concernant les caractéristiques temporelles, des études telles que la mise en correspondance du mouvement imagé avec un mouvement réel ou la mesure du temps de mouvement mental (aussi appelée chronométrie mentale) ont montré qu'il existait une invariance temporelle entre action réelle et action mentale. L'expérience réalisée par Decety, Jeannerod et Prablanc en 1989 l'illustre bien : des sujets étaient invités soit à marcher, soit à s'imaginer marcher jusqu'à des cibles. Les résultats ont montré que le temps mis pour atteindre une cible était identique que ce soit lorsque les sujets marchaient réellement ou lorsqu'ils simulaient l'action de marcher vers la cible. Une autre étude le montre (Decety et Michel, 1989) en étudiant le temps nécessaire pour réaliser des tâches impliquant l'écriture et le dessin ainsi que le temps nécessaire pour imaginer ces tâches. Les résultats montrent qu'il n'y a pas de différences si on compare les deux durées. Simuler une action prend donc autant de temps de la réaliser.

L'étude des caractéristiques temporelles de l'imagerie motrice a aussi montré que les mouvements imaginés se conforment à la loi de Fitts, loi qui établit une relation linéaire entre indice de difficulté et durée des mouvements. L'expérience de Decety et *al.* (1989) précédemment citée le montre : lorsque la distance à parcourir jusqu'à la cible augmente, une augmentation linéaire de la durée du mouvement simulé en fonction de la distance est observé.

Concernant les caractéristiques biomécaniques, elles sont également préservées lors de la simulation d'un mouvement. Lorsque l'action simulée est difficile ou impossible à réaliser du fait des contraintes biomécaniques, on observe un temps de réaction plus important. Par exemple, dans une tâche de jugement de latéralité (épreuve utilisée pour étudier les capacités

d'IM), lorsque l'orientation des mains est difficile à reproduire au niveau biomécanique, il faut plus de temps pour imaginer sa main dans cette position, entraînant un temps de réaction plus long pour répondre sur la latéralité (Guilbert et *al.*, 2013).

○ *Au niveau physiologique*

Au niveau neurophysiologique, Decety, Jeannerod, Germain et Pastene (1991) ont étudié l'activité végétative chez des sujets normaux pendant la simulation mentale d'actions comme le fait de courir sur un tapis roulant ou de pédaler à des vitesses différentes. Ils ont indiqué que la fréquence cardiaque et la ventilation augmentaient par rapport au niveau de repos et que cette augmentation était proportionnelle à l'intensité de l'exercice simulé. Les auteurs ont considéré cet effet comme une réponse végétative se rapportant à l'activation qui se produit pendant la programmation motrice avant l'exécution réelle. Le fait que l'activité végétative au cours de la simulation mentale augmente au-delà du niveau des demandes métaboliques soutient l'hypothèse qu'il y a des mécanismes communs entre action réelle et imaginée, que l'IM produit des réponses végétatives similaires à celles de l'exécution réelle.

Au niveau de la physiologie périphérique, Jeannerod (1995) a constaté que fréquemment, une augmentation de l'activité électromyographique par rapport au repos, était présente pendant la simulation motrice. Cela serait pour lui le témoin d'une inhibition incomplète de la commande motrice (Jeannerod, 1994). Il s'agirait donc d'une activité subliminale, soit une activité inférieure au seuil de contraction phasique.

○ *Au niveau neuro-anatomique*

Différentes techniques ont permis d'étudier l'activation cérébrale pendant la préparation et l'exécution d'un mouvement et l'imagerie telle que la tomographie par émission de positons et l'Imagerie par Résonance Magnétique fonctionnelle en enregistrant les variations du flux sanguin cérébral reflétant les régions cérébrales en activité. Des études ont alors montré qu'un certain nombre de zones corticales sont activées au cours d'une séquence de mouvements mentalement imaginée. Il y a notamment une activation du cortex moteur primaire controlatéral pendant l'IM (Lotze et Halsband, 2006), les zones prémotrices et l'aire motrice supplémentaire (AMS) sont également activées. Ce schéma d'activation est similaire à celui observé lors de l'exécution réelle de la même séquence de mouvement.

Des travaux ont également montré que les patients présentant des lésions préfrontales latérales gauches sont incapables d'imaginer une tâche motrice (Johnson, 2000 in Lotze, 2013), soulignant son rôle fonctionnel dans l'IM.

Il est aussi retrouvé une activation du lobe pariétal lors de l'IM (Lotze et *al.*, 2006). En effet, l'IM implique une représentation du corps dans l'espace, une représentation dynamique du corps au cours de l'exécution du mouvement, processus spatiaux réalisés au sein du lobe pariétal (Lotze, 2013).

Decety, Jeannerod, Bettinardi, Tadary, Woods, Maziotto et Fazio, (1994) cité par Lotze et *al.* (2006) ont également enregistré une augmentation du débit sanguin dans l'hémisphère cérébelleux gauche et les noyaux gris centraux lors de l'IM d'une tâche de préhension manuelle. Le cervelet et les noyaux gris centraux semblent donc être aussi impliqués.

c. Historique /Cadre d'utilisation

L'imagerie motrice est une technique en plein essor : que ce soit dans le domaine du sport, de la musique ou dans le domaine rééducatif, elle est de plus en plus utilisée et montre de nombreux effets positifs.

Dans le cadre normal, l'utilisation de l'imagerie motrice, conjointement à l'exécution, aide à l'acquisition et au développement des habiletés et améliore les performances motrices (Buccino et *al.*, 2006 in Reynolds, 2015). C'est ainsi que l'IM peut venir compléter l'entraînement des athlètes. D'ailleurs, dans le milieu sportif son utilisation est courante depuis plusieurs dizaines d'années, elle peut faire partie de l'entraînement mental avec l'imagerie visuelle notamment. Elle présente l'avantage de ne pas générer de fatigue neuromusculaire par rapport aux entraînements réels, d'éviter le risque de blessure et de ne pas nécessiter de matériel. De plus, l'IM permettrait de faciliter et d'accélérer la rééducation des sportifs suite à une blessure.

Elle est aussi fréquemment utilisée dans le milieu de la musique notamment par les professionnels dans le but d'améliorer leurs performances. La technique d'IM est utilisée en complément d'une pratique réelle. Elle est également utilisée pour s'entraîner en l'absence d'instrument lors de déplacement pour des concerts ou pour continuer à s'entraîner lorsque la personne est dans l'incapacité physique de jouer (Lotze, 2013).

D'autres études ont montré ses bénéfices notamment sur la stabilité posturale, y compris chez les personnes âgées, mais aussi sur le rendement attentionnel sur des situations de double tâche chez la personne âgée (Hamel et Lajoie, 2005 in Puyjarinet 2015).

Dans le cadre pathologique, l'utilisation de l'IM est-elle possible notamment lorsqu'il y a des lésions cérébrales ? Certaines de ces lésions empêchent son utilisation, notamment lorsqu'elles sont préfrontales latérales gauches ou lors d'atteinte du lobe pariétal. Le sujet ne peut pas réaliser des tâches de pointage ou de rotation mentale, les séquences

temporelles sont alors désorganisées, modifiant la représentation mentale de l'action et altérant la précision du mouvement (Sirigu et Duhamel, Cohen et Pillon, 1996). Une lésion du putamen empêche de réaliser l'imagerie motrice mais pas celle visuelle (Grangeon, Guillot et Collet, 2009). Il faut donc prendre en compte les caractéristiques de la pathologie lorsque l'on veut utiliser l'IM avec des patients ayant des lésions cérébrales.

Lorsque son utilisation est possible, l'IM présente un avantage considérable puisqu'elle présente l'intérêt de pouvoir simuler un mouvement lorsqu'un sujet est incapable de le produire physiquement en qualité ou en quantité. Elle est utilisée dans la rééducation de l'Accident Vasculaire Cérébral (AVC) notamment en phase de rééducation subaiguë et chronique pour optimiser la récupération fonctionnelle (Grangeon et *al.*, 2009). Cette technique fait même partie des recommandations de l'HAS : « L'imagerie mentale motrice est recommandée à la phase chronique d'un AVC comme thérapie si elle est associée à d'autres traitements de rééducation motrice »¹.

Elle est également utilisée dans le domaine de la douleur, mais aussi auprès de patients amputés qui ont des douleurs fantômes. Elle peut s'appliquer avec des patients présentant des lésions spinales, des paraplégies ou tétraplégies traumatiques, chez des patients présentant une crampe de l'écrivain mais aussi dans le cadre des maladies neurodégénératives telles que la maladie de Parkinson...

Le champ d'application de l'IM est donc très large : comme nous avons pu le voir, l'IM est donc applicable à beaucoup de champs de la rééducation. Elle présente l'avantage d'être peu coûteuse, ne nécessitant pas de matériel de rééducation spécifique.

d. IM et Plasticité

La plasticité cérébrale est la capacité du tissu nerveux à modifier sa structure et sa fonction en réponse à des contraintes (développement, maturation, vieillissement, expériences, lésions du système nerveux central...). Dans le cadre de l'IM, au vu des effets que son utilisation engendre, notamment sur l'améliorer des performances ou la restauration de certaines fonctions, il semblerait que l'IM agirait sur la plasticité cérébrale et participerait à la réorganisation corticale. C'est d'ailleurs ce qu'ont montré Jackson, Lafleur, Malouin, Richards et Doyon en 2003 à travers une expérience d'apprentissage d'une séquence de mouvement de pied grâce à l'IM. Les résultats de cette étude ont démontré que l'apprentissage d'une tâche motrice séquentielle, grâce à la pratique de l'IM, produit des changements

¹ http://www.has-sante.fr/portail/upload/docs/application/pdf/2012-11/11irp01_reco_avc_methodes_de_reeducation.pdf (consulté le 27 décembre 2016)

fonctionnels cérébraux semblables à ceux observés après la pratique physique de la même tâche. Cet apprentissage a entraîné des changements au niveau du cervelet, ainsi qu'au niveau orbitofrontal.

L'entraînement mental par imagerie motrice agit donc sur la plasticité cérébrale en permettant une réorganisation neuronale. « Par l'activation répétitive des réseaux moteurs caractéristiques d'une séquence de mouvement, un renforcement de la transmission synaptique dans ces neurones peut être possible de la même manière qu'il a été montré pour l'entraînement moteur » (Sakamoto Porter et Asanuma, 1987 in Lotze et *al.*, 2006 p.390).

e. Evaluation des capacités d'imagerie motrice

Plusieurs épreuves sont utilisées pour étudier les capacités d'imagerie motrice. Dans différentes études, on retrouve ces épreuves qui peuvent varier dans leur forme mais qui évaluent les mêmes compétences.

o Chronométrie mentale

Dans une partie précédente nous avons vu qu'il existe une corrélation importante entre la durée de réalisation d'une action et la durée de réalisation mentale de cette même action, ce que l'on appelle l'invariance temporelle, suggérant que les actions dans les deux modalités sont soumises aux mêmes contraintes environnementales et physiologiques. Nous avons également vu que la durée des mouvements réels et imaginés augmente à mesure que la difficulté de la tâche augmente (loi de Fitts). Les paradigmes de la chronométrie mentale impliquent l'utilisation explicite de l'IM et mesurent la capacité de son utilisation par la corrélation entre l'action réelle et l'action imaginaire (in Ferguson, Wilson, et Smits-Engelsman, 2015). Pour vérifier cela, les chercheurs utilisent couramment une épreuve appelée VGPT (Visual guided pointed task).

Une des formes que peut prendre cette épreuve est celle qu'ont utilisée Choudhury, Charman, Bird et Blakemore dans leur étude de 2007 auprès d'adolescents et de jeunes adultes. Dans cette épreuve, les participants, tenant un crayon, doivent réaliser un mouvement de la main aussi rapidement et précisément que possible, allant d'une ligne verticale située à gauche d'une feuille (ligne mesurant 80 mm), jusqu'à une « boîte » cible pour enfin revenir à la ligne verticale. Il y a cinq tailles de cible différente (2,5 mm, 5 mm, 10 mm, 20 mm et 40 mm), représentant cinq niveaux de difficultés différents. Pour chaque essai d'une largeur de cible, les participants doivent réaliser cinq de ces mouvements de va-et-vient. Le crayon doit toucher l'intérieur de la cible. Après démonstration par l'examineur, deux essais pour chaque cible sont proposés aux participants, chacun des essais étant chronométré. C'est

l'examineur qui donne le départ et le participant qui avertit de la fin. Ensuite, les participants doivent réaliser la même épreuve mais en condition imaginée. La consigne est de sentir comme s'il faisait exactement les mêmes mouvements. Ils sont placés dans la même position de départ mais doivent rester complètement immobile.

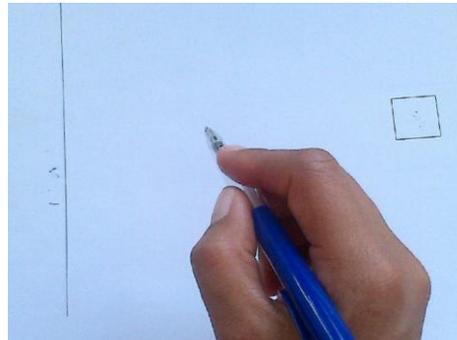


Illustration de l'épreuve VGPT utilisée par Choudhury et al. (2007)

(in Ferguson et al., 2015)

○ ***Test de jugement de latéralité***

Une deuxième méthode d'évaluation des capacités d'IM est le test de latéralité qui est un paradigme de jugement d'action. Il s'agit ici d'une évaluation implicite de l'utilisation de l'IM. Ce test consiste à présenter des photographies de segments corporels, dont la personne doit déterminer la latéralité (droit vs. gauche) sans effectuer de mouvement. Les images peuvent être présentées selon divers angles de rotation en sens horaire ou anti-horaire. Les mesures portent alors sur l'exactitude de la réponse et le temps mis pour répondre. « Le temps de réaction pour donner la réponse est supposé refléter le temps nécessaire pour simuler implicitement le mouvement de rotation de la cible présentée. » (Guilbert et al. 2013, p.462). Le plus souvent, il est présenté au sujet des photographies de mains.

Lameira, Guimarães-Silva, Ferreira, Lima, Pereira et Gawryszewski (2008) soulignent le fait que ce type de tâche soit plutôt facile à appliquer notamment auprès d'enfant car il n'exige pas de commande verbale complexe et la compréhension est facile.

D'ailleurs, Lameira et al. (2008) ont réalisé une étude utilisant ce paradigme. Dans cette dernière, il est montré aux participants des dessins d'une main présentés sous des perspectives (dorsale, palmaire, petit doigt au premier plan, pouce au premier plan et poignet) et des orientations différentes (0°, 30°, 60°, 90°, 120°, 150°, 180°, 210°, 240°, 270°, 300°, 330°).



Illustration des dessins utilisés par Lameira et al. (2008)

Pour les dessins d'une main droite, les volontaires appuyaient sur la touche droite, et pour les dessins d'une main gauche, ils appuyaient sur la touche gauche. Les résultats ont montré que le temps de réaction a été plus long pour les perspectives et les orientations pour lesquelles le mouvement réel était difficile à réaliser. Cela suggère que pendant la tâche, les représentations motrices ont été activées pour comparer le corps avec le stimulus. « Ces temps de réponse plus longs attestent de l'engagement des participants dans une stratégie d'imagerie motrice pour réaliser la tâche, et par conséquent l'implication des processus sensorimoteurs et des contraintes qui s'y rattachent. Ils reposent sur le fait que pour identifier la latéralité de l'image d'une main, les participants s'imaginent eux-mêmes bouger leur main dans la position correspondante, bien qu'aucune consigne allant dans ce sens ne leur ait été donnée. » (Rulleau et Toussaint 2014 p.2).

○ *Questionnaire*

Pour s'assurer que le sujet a de bonnes capacités d'IM, il est possible d'utiliser des questionnaires. Différents questionnaires existent, le Movement Imagery Questionnaire-Revised Second version (MIQ-RS) élaboré par Gregg, Hall, Butler (2010) en est un exemple. C'est une version issue de travaux antérieurs qui s'adresse à tous les sujets (dans cette version, les items sont réalisables même pour les personnes qui présentent des déficits moteurs). Il a été traduit en français par Loison, Moussaddaq, Cormier, Richard, Ferrapie, Ramond et Dinomais (2013). Ce questionnaire est constitué de deux sous échelles, une échelle visuelle et une échelle kinesthésique. Il permet de connaître comment une personne s'imagine

le mouvement : est-ce plus facile de former une image visuelle d'un mouvement ou est-ce plus facile de sentir faire le mouvement mais sans le faire réellement ? Pour cela, il est demandé au participant de réaliser un mouvement (impliquant les membres supérieurs, ou inférieurs, ou l'ensemble du corps) puis de se positionner comme s'il allait l'effectuer à nouveau et à ce moment là, il doit soit former une image mentale du mouvement qu'il vient de faire, soit essayer de se sentir en train de faire le mouvement. Il doit ensuite estimer la difficulté ou la facilité de ce qui a été demandé (voir Annexe).

f. Conditions de bonne pratique

Schuster (2011) a réalisé une méta-analyse qui a permis la mise à jour de conditions de pratique susceptible de rendre optimale l'utilisation de l'IM (in Puyjarinet, 2016). Voici ce qui en ressort :

- les résultats sont meilleurs quand la pratique de l'IM est faite individuellement ;
- la supervision des séances d'entraînement doivent être réalisée par un tiers (un thérapeute, un éducateur,...) et ne doivent pas être directives ;
- l'IM doit être pratiquée en complément d'une pratique réelle ;
- le nombre d'essais de visualisation d'une action en IM ne devrait pas dépasser deux essais par minute dans une même session d'entraînement.

Schuster rajoute aussi qu'il y a un effet « dose » c'est-à-dire que pour optimiser les avantages de l'IM, il est nécessaire de la pratiquer régulièrement avec des séances fréquentes.

Puyjarinet (2016) rapporte également d'autres conditions importantes issues de travaux ultérieurs à la méta-analyse de Schuster :

- la pratique de l'IM demande une importante disponibilité attentionnelle (c'est pour cela qu'une phase préalable de relaxation ou de méditation de pleine conscience est recommandée) ;
- il est préférable de combiner la pratique de l'IM avec des phases d'observation de l'action à réaliser (observation d'un tiers en situation réelle ou sur vidéo par exemple) ;
- le respect des caractéristiques spatio-temporelles du mouvement travaillé autant que possible est également primordial ;
- la pratique doit être la plus écologique possible (position et environnement) ;
- ne pas dépasser vingt minutes de pratique par séance.

2) Développement chez l'enfant

a. Age d'apparition de l'imagerie motrice

Molina, Tijus et Jouen (2008) se sont intéressés à l'âge d'apparition de l'IM. Ils se sont servis du paradigme de chronométrie mentale développé au départ par Decety et *al.* (1989) qu'ils ont adapté pour des enfants de 5 à 7 ans. Ils devaient marcher et s'imaginer marcher sur 2,5 mètres pour amener une poupée dans sa maison. Un groupe d'enfant ne recevait pas d'information quant au poids de la poupée alors qu'un autre groupe avait l'information que la poupée était très lourde, alors qu'en réalité le poids était le même pour les deux groupes. Les résultats montrent que l'information sur le poids de la poupée a été prise en compte par les enfants de 7 ans : ils ont augmenté leur durée de déplacement en condition réelle et imaginée. Il a aussi été relevé que pour les enfants de 7 ans, le temps de marche réel était proportionnel au temps simulé, ce qui n'était pas le cas pour les enfants de 5 ans. Les auteurs en concluent que l'IM émerge vers 7 ans, lorsque l'enfant est contraint de simuler les conséquences proprioceptives de ses actions (in Guilbert et *al.*, 2013).

b. Evolution de l'IM au cours du développement

L'IM se met donc en place vers 7 ans, mais elle continue d'évoluer au fil du développement moteur et cognitif de l'enfant. Nous avons vu dans une partie antérieure que l'IM était soumise à la loi de Fitts. Mais, une étude de Cayenberghs, Tsoupas, Wilson et Smits-Engelsman (2009) montre que cette relation entre indice de difficulté et durée des mouvements n'est pas présente spontanément avec l'émergence de l'IM. En effet, ils montrent au travers d'une expérience de pointage où l'enfant, âgé entre 7 et 17 ans, doit effectuer des allers-retours en situation réelle et imaginée avec un stylo entre un cercle situé au milieu d'une feuille de papier et cinq rectangles de tailles différentes situés autour du cercle (épreuve qui demande de plus en plus de précision), que les résultats sont différents entre les enfants de 7 et 9 ans. En effet, pour la condition réelle, pour tous les enfants, le temps de réalisation de la tâche augmente en fonction de l'augmentation de la difficulté. Cependant, en condition imaginée, cette augmentation du temps liée à la difficulté de la tâche n'est pas retrouvée chez les enfants de moins de 9 ans. Mais par contre, la corrélation entre temps imaginé et temps réel augmente significativement entre 7 et 12 ans. Les auteurs en concluent que la loi de Fitts s'applique donc dès 7 ans pour les mouvements réels mais ne s'observe qu'à partir de 9 ans pour les mouvements imaginés et donc que les capacités d'IM s'améliorent avec l'avancée en âge. Pour eux, ces résultats suggèrent que les enfants de 7 ans ont encore des difficultés à générer et utiliser les représentations motrices nécessaires à l'IM.

Choudhury et *al.* (2007) montrent aussi que les capacités d'IM continuent d'augmenter au cours du développement notamment tout au long de l'adolescence. Ils ont comparé les capacités d'IM d'adolescents de 13 ans avec ceux d'adultes sur des épreuves de chronométrie mentale. Les résultats montrent que pour les adolescents comme pour les adultes, il y a une corrélation entre la durée de mouvement réel et durée de mouvement imaginé mais montrent aussi que la valeur de la corrélation augmente avec l'âge ce qui signifie que les capacités d'IM continuent à s'améliorer au cours de l'adolescence. Pour ces auteurs, un remaniement des représentations motrices aurait lieu au cours de l'adolescence et serait dû à la maturation des cortex pariétaux et préfrontaux ainsi qu'aux modifications corporelles. La croissance physique et neuroanatomique amène donc à modifier les modèles internes de l'action ce qui a des répercussions sur les capacités d'IM.

Guilbert et *al.* (2013) proposent ainsi trois grandes étapes dans développement des capacités d'IM :

- Il y a d'abord l'émergence des capacités d'imagerie qui a lieu vers 5-7 ans
- La seconde étape qui a lieu entre 5-7 et qui va jusqu'à 9-10 ans est celle « caractérisée par la capacité des enfants à intégrer, dans la simulation de l'action, les contraintes externes liées à la tâche. » (p.462)
- La dernière étape est celle de l'adolescence où les capacités d'IM continuent à se développer.

3) Imagerie motrice et modèle interne du mouvement

a. Théorie des modèles internes

Certains courants de pensée attribuent les mécanismes sous-jacents de l'IM et les bénéfices de l'entraînement mental aux théories des modèles internes inverses et prédictifs, empruntées aux théories neuro-computationnelles ou cybernétiques du contrôle moteur. « Ces théories créent un lien entre l'état du système, l'environnement dans lequel évolue le sujet et le contexte afin de générer la commande motrice et prédire les conséquences (dynamiques et sensorielles) de l'action » (Lebon, 2012, p.1). « Les modèles internes sont des mécanismes neuronaux capables d'établir une relation en boucle ouverte les entrées (canaux sensoriel) et les sorties (commandes motrices) du système sensorimoteur, tout en prenant en compte les caractéristiques de l'environnement » (Puyjarinet, 2015, p.3).

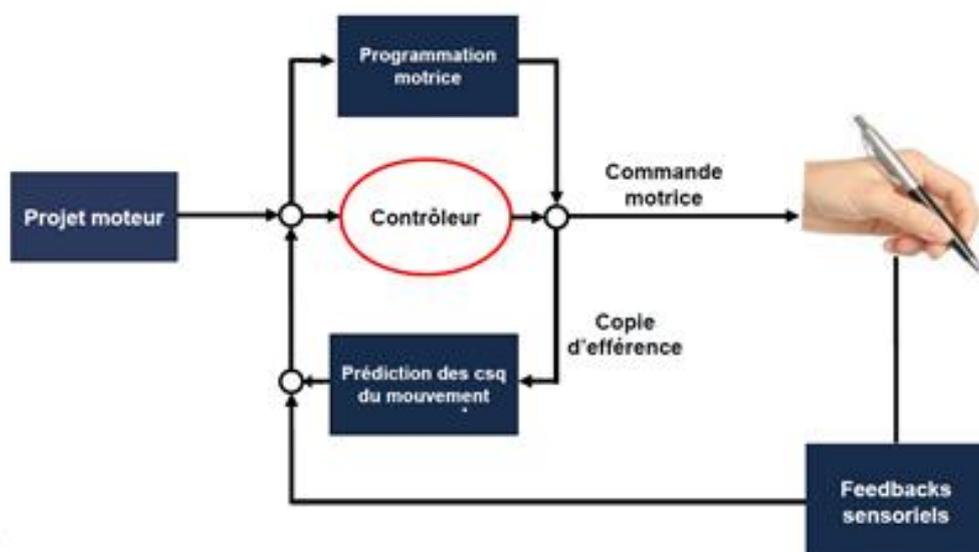
Il existe alors deux types de modèles internes, l'un est appelé modèle interne direct (ou prédictif) et l'autre, modèle interne inverse (ou contrôleur). Le modèle direct est celui qui

permet d'anticiper les conséquences sensorielles d'un mouvement grâce à la production de copie efférente, copie efférente réalisée en amont du mouvement. Cette copie est une celle de la commande motrice qui permet de prédire l'état futur de l'effecteur et ainsi, les conséquences sensorielles attendues du mouvement (Blakemore, Frith, Wolpert, 2001 in Geuze, 2005). Cela a pour but d'offrir une stabilité au système moteur puisque la prédiction des conséquences sensorielles a lieu avant même qu'un feedback sensorimoteur soit accessible (Wolpert, 1997 in Guilbert et *al.*, 2013). « Les paramètres prédits (comme la force, la synchronisation et les changements dans le flux visuel) sont basés sur des corrélations apprises entre les signaux de sortie (commande motrice) et les effets de ces signaux sur les effecteurs - ce sont des «connaissances» accumulées par la pratique ou l'expérience répétée » (Smits-Engelsman et Wilson, 2013, p.70).

Le modèle inverse, lui, est celui de « contrôle ». Il est dédié à la transformation des informations sensorielles prédites en commande motrice en fonction de l'état actuel du système et du projet moteur.

Lebon précise les étapes du comportement sensori-moteur :

- La première étape est celle qui spécifie la commande motrice générée par le système nerveux central (SNC). (modèle inverse)
- La deuxième est celle qui prédit la modification de l'état du système en fonction de la commande motrice précédemment générée. (modèle direct dynamique)
- La troisième et dernière est celle du feedback sensoriel, feedback qui est censé correspondre à l'état du système prédit. (modèle direct sensoriel)



Approche neuro-computationnelle du contrôle moteur (Puyjarinet, 2016)

Le système anticipé génère donc une représentation de l'état futur du système ainsi que les conséquences sensorielles du mouvement. Ces dernières sont ensuite comparées aux données sensorielles rétroactives et utilisées pour annuler l'effet sensoriel lié au mouvement, et permettre ainsi une appréhension stable du monde perceptif. La copie engendre un modèle proactif de l'action en préparation qui respecte les contraintes environnementales et biomécaniques, une sorte d'« image » de la façon dont un mouvement est censé se dérouler (Geuze, 2005).

Les modèles prédictifs ne sont pas des entités fixes mais doivent continuellement s'adapter au cours du temps à travers les interactions entre le corps et l'environnement. En effet, une variabilité est présente dans nos mouvements, si nous répétons la même tâche encore et encore, les deux mouvements ne sont jamais complètement les mêmes et le système moteur est là pour corriger ces erreurs. Ce bruit se retrouve à tous les stades de la commande motrice, du traitement sensoriel, de la planification centrale aux sorties du système moteur. Cette variabilité diminue avec la pratique et l'expérience ce qui permet une stabilité (Smits-Engelsman et *al.*, 2013).

On comprend alors le rôle de l'expérimentation des mouvements durant l'enfance : ils seraient donc utiles non seulement à l'apprentissage de programmes moteurs (notion issue de la théorie cognitive qui renvoie à une représentation du mouvement à effectuer stockée en mémoire) mais aussi à la construction de ces modèles internes. D'où l'importance de multiplier les expériences motrices puisque chaque nouvelle situation est alors l'occasion de construire ou de réorganiser des modèles internes (Puyjarinet, 2016).

b. Concept d'imagerie motrice d'après cette théorie

Comme nous avons pu le voir dans une précédente partie, il a été formulé que l'IM est considérée comme une simulation de l'action, postulat que de nombreux travaux ont corroborés. Dans cette perspective, l'IM est basée sur la représentation interne d'actions prévues mais non exécutées, IM et exécution réelle sont donc dans un continuum. La génération consciente d'une image motrice reflète une représentation inconsciente de l'action interne, ou « modèle interne » des mouvements intentionnels (Jeannerod, 1997). L'imagerie motrice implique donc l'activation de modèles internes d'action et ces modèles internes serviraient de prédicteurs, prédiction nécessaire à la planification d'une action motrice. Toute action motrice (réelle ou simulée) est alors nécessairement précédée par une représentation des conséquences du mouvement à venir (Jeannerod, 1994). Ainsi, le même modèle interne contrôle la réalisation réelle ou imaginée d'une action (Molina et *al.*, 2008).

Pour Crammond en 1997 (in Geuze, 2005), l'IM est alors la copie efférente d'un mouvement venu à la conscience que parce que le mouvement réel a été inhibé. Cette « sorte » d'image représente la façon dont le mouvement est censé être réalisé.

L'IM semblerait s'associer directement à ce processus prédictif en établissant des paramètres proactifs pour les mouvements en préparation, codés spatialement mais aussi en termes kinesthésiques avec la prise en compte du paramètre de force et du déroulement temporel (Wilson, Maruff, Ives, et Currie, 2001).

III. Imagerie motrice en psychomotricité

1) Dans quel cadre est-elle utilisée en psychomotricité ?

L'imagerie motrice est une technique prometteuse en psychomotricité, elle fait en effet partie des possibilités qui s'offrent au psychomotricien dans sa pratique. Mais auprès de quels troubles psychomoteurs est-elle applicable ?

a. Imagerie motrice et Trouble de l'Acquisition de la Coordination

Peu d'études se sont intéressées aux effets sur les performances motrices de l'IM chez le sujet TAC. Wilson, Thomas et Maruff en 2002 sont les premiers à s'y intéresser. Ils partent de l'hypothèse que les difficultés motrices observées sont le reflet d'un déficit de représentation des modèles internes avec notamment un déficit au niveau de la copie d'efférence. Leur expérience consiste à comparer l'efficacité de l'IM à celle d'un programme traditionnel perceptivo-moteur auprès d'enfants TAC. Ils comparent trois groupes : un groupe bénéficiant de l'imagerie motrice, un autre qui bénéficie du programme perceptivo-moteur et un groupe contrôle qui n'a pas de traitement. Les résultats montrent que le groupe ayant bénéficié de l'IM et le groupe ayant bénéficié du programme perceptivo-moteur ont tous les deux amélioré leurs compétences motrices (leurs scores au M-ABC se sont améliorés), ce qui n'est pas le cas pour le groupe contrôle.

Plus récemment, Wilson, Adams, Caeyenberghs, Thomas, Smits-Engelsman et Steenbergen (2016) ont réalisé une étude de réplication de l'étude de 2002. Trente-six enfants répondant aux critères du TAC selon le DSM 5, âgés de 7 à 12 ans ont participé à cette étude. Ils ont également été répartis en 3 groupes. Les résultats sont similaires à ceux de l'étude de 2002 mais cette étude apporte de nouveaux éléments : les enfants dont les scores étaient les plus dégradés à la première évaluation (scores < 1^{er} centile) sont ceux pour lesquels l'apport de l'IM a été le plus profitable. Cette étude de réplication montre pour la première fois depuis

2002 que non seulement que l'IM est efficace pour les enfants TAC, mais qu'elle l'est d'autant plus que ceux-ci ont d'importantes difficultés motrices.

Une autre étude en cours essaie d'apporter des preuves aux bénéfices de l'IM dans le TAC, c'est celle d'Adams, Steenbergen, Lus et Smits-Engelsman (2016). Cette étude est menée auprès d'enfants de 7 à 12 ans qui répondent aux critères du TAC du DSM 5. Ces enfants sont répartis de manière aléatoire en 2 groupes, un groupe bénéficiant de l'IM et l'autre bénéficiant de la méthode CO-OP, méthode thérapeutique déjà validée (Smits-Engelsman, Blank, Van Der Kaay, Mosterd-Van Der Meijs, Vlugt-Van Den Brand, Polatajko et Wilson, 2013). Les 2 groupes bénéficient du même nombre d'heures de pratique : 9 sessions de 45 minutes chacune. Des exercices au domicile sont proposés également dans les 2 groupes. Les résultats de cette étude permettront de mieux appréhender l'intérêt de l'IM dans la prise en charge des enfants TAC, puisque depuis l'étude de Wilson et *al.* en 2002, peu d'études se sont penchées sur cette thématique d'un point de vue rééducatif.

b. Imagerie motrice et dysgraphie

Aucune étude ne traite des effets de l'imagerie motrice sur la dysgraphie mise à part celle d'un auteur qui s'est récemment intéressé à son utilisation dans le cadre de la rééducation de dysgraphie. Il s'agit de Puyjarinet (2015) qui estime que « les liens entre l'IM et les théories du contrôle moteur basées sur l'existence de modèles internes peuvent faire espérer une amélioration de certaines caractéristiques de l'écriture à la faveur d'un entraînement à la production mentale du geste d'écriture ». Il fait l'hypothèse que « la génération mentale de la production écrite et la capacité à ressentir les paramètres spatiaux, kinesthésiques et temporels du mouvement d'écriture, peuvent aider les enfants à réduire leur dysgraphie en améliorant leur contrôle moteur proactif. » (p.6)

C'est dans cette perspective qu'il a réalisé une étude dans le but de montrer son efficacité et de comparer son efficacité avec une approche de rééducation métacognitive (méthode CO-OP). Cinquante-et-un enfants âgés de 7 à 12 ans ont participé à l'étude. Ils ont été réparti aléatoirement en 3 groupes : un groupe qui a bénéficié de l'imagerie motrice (groupe appelé IM), un autre qui a bénéficié de la rééducation métacognitive (groupe appelé RM) et le dernier groupe appelé contrôle qui n'a pas eu de traitement. Les résultats montrent que les groupes IM et RM ont vu leur qualité d'écriture s'améliorer, ce qui n'est pas le cas pour le groupe contrôle. Aucune différence significative n'est observée entre le groupe IM et RM montrant qu'il existe une efficacité semblable entre les deux. Par contre, il y a eu des différences significatives entre le groupe contrôle et le groupe IM et entre le groupe contrôle

et le groupe RM signifiant qu'il n'y a pas d'amélioration spontanée sans rééducation. Il n'y a pas eu de gain de vitesse de production.

Puyjarinet formule l'hypothèse que cette amélioration de l'écriture serait due à une « amélioration du contrôle proactif du mouvement d'écriture et donc du fonctionnement des modèles internes par la prise de conscience des sensations kinesthésiques, proprioceptives et spatiales de l'action par les sujets et leur capacité à anticiper les conséquences d'une action (ici : produire des lettres ou des mots). » (p.12)

L'utilisation de l'IM en clinique semble donc présenter un intérêt certain pour améliorer la qualité de l'écriture d'un enfant présentant une dysgraphie.

2) Capacité d'IM chez le sujet TAC

a. Déficit de modélisation interne

Dans l'étude de l'IM dans le TAC, l'hypothèse du Déficit de Modélisation Interne (DMI) constitue une piste incontournable. La DMI est suspectée d'entraîner une incapacité pour les sujets TAC d'anticiper efficacement les conséquences sensorielles des actions prévues. Ils sont en difficulté pour générer des représentations internes des mouvements volontaires. Cette absence de contrôle proactif adéquat rend ces enfants dépendants d'un feedback afférent (plus lent) lors de l'ajustement du mouvement et limite la correction rapide des erreurs en termes de vitesse et de précision. Cela influe sur leur capacité à apprendre de nouveaux modèles internes ou à modifier des modèles existants au cours d'essais d'apprentissage répétés. Cette forme de contrôle s'avère inefficace notamment dans les environnements complexes ou changeants (Geuze, 2005).

De plus, le problème de contrôle est encore plus grand lorsque les contraintes biomécaniques changent avec la maturation, en particulier pendant les poussées de croissance (Wilson Ruddock, Smits-Engelsman, Polatajko, et Blank, 2013).

Les difficultés à générer une représentation précise d'une action envisagée (notamment le timing et la force) entraînerait des déficits dans l'IM. Ces difficultés sont également retrouvées chez des personnes qui ont une lésion au niveau du cortex pariétal (Sirigu et *al.*, 1996). Il a été suggéré que chez les enfants TAC, un dysfonctionnement de réseaux pariétaux serait responsable de leur déficit de contrôle prédictif. Une étude de Zwicker, Missiuna, Harris, et Boyd (2011) a d'ailleurs révélé qu'il y a une moindre activation au niveau des réseaux neuronaux entre les régions cérébelleuses et le cortex pariétal inférieur, boucle qui est

suspectée surveiller les estimations prospectives et corriger la commande motrice en cours si l'action s'écarte de la prédiction (Wilson et *al.*, 2013).

Adams, Lust, Wilson et Steenbergen (2014) ont réalisé une revue de la littérature qui s'intéresse à l'hypothèse du déficit de modélisation interne. Quarante-huit études ont été retenues pour leurs qualités méthodologiques. Ils les ont classé en trois catégories en fonction du système effecteur concerné : 1- attention visuo-spatiale et contrôle oculomoteur, 2- contrôle moteur manuel, 3- contrôle postural dynamique.

Pour les études portant sur l'attention visuo-spatiale et le contrôle oculomoteur, un déficit de prédiction des mouvements est noté par les auteurs. Ce déficit semble découler directement du TAC (les sujets avec un Trouble Déficitaire de l'Attention avec ou sans hyperactivité ont été exclus des études). Les auteurs en concluent que les sujets TAC « présentent donc un déficit endogène de prédiction des mouvements oculaires et du contrôle *online* de l'attention visuelle. » Les études qui concernent le domaine du contrôle moteur manuel (épreuves d'atteinte d'objet, de suivi d'une cible en mouvement ou épreuves de jugement d'orientation des mains en condition réelle et en imagerie) ainsi que les études sur le contrôle postural dynamique (épreuve de lever de charge en condition réelle et en condition d'IM) font elles aussi état d'un déficit de modélisation interne.

L'ensemble de ces travaux convergent vers une évidence du défaut du contrôle prédictif du mouvement chez l'enfant TAC. Les auteurs qualifient cette évidence comme étant « au minimum modérée ».

La méta-analyse de Wilson et *al.*(2013) rassemblent aussi des données convergentes montrant que les enfants avec un TAC ont une capacité réduite à développer et mettre à jour des modèles internes et, en tant que tels, exigent plus de temps et de pratique pour construire des représentations d'action.

D'après certains auteurs, la variabilité très marquée chez les enfants TAC serait une cause de la difficulté à construire ces modèles internes d'action. Cette notion de variabilité renvoie à celle de bruit neuromoteur. En effet, lors de la répétition d'une même tâche, les mouvements ne sont jamais complètement les mêmes. Même pour les tâches motrices les plus simples, une certaine variabilité indésirable est présente. Cela est dû au bruit présent dans le système moteur qui renvoie aux fluctuations et aux perturbations qui font que notre système nerveux est constamment « contaminé » par ces phénomènes à l'origine de différentes formes de variabilités. Ces fluctuations peuvent intervenir à différents niveaux : le bruit se retrouve dans

une moindre mesure au niveau central dans la planification des mouvements et dans une plus grande mesure au niveau périphérique dans l'exécution des mouvements.

Dans le développement normal, la performance comportementale dépend du niveau de variabilité neuronale, qui diminue à mesure qu'une compétence s'améliore avec la pratique répétée qui permet aux modèles internes de devenir de plus en plus précis, conduisant ainsi à une meilleure capacité fonctionnelle. Plus la tâche est complexe (en ce qui concerne le degré de coordination entre les membres, la force générée, la précision,...), plus le niveau de bruit tend à augmenter (Smits-Engelsman et Wilson, 2013).

Cependant, chez les enfants avec un TAC, la variabilité inter-essai est plus marquée, il y a une inexactitude spatiale et temporelle dans leurs mouvements qui est plus importante. Certains auteurs évoquent le fait que cette grande variabilité reflète une incapacité à filtrer ce bruit. Une autre hypothèse serait que le système moteur de ces enfants est globalement plus bruyant que celui des enfants qui ont un développement normal. Dans ces deux cas, le résultat est le même : le bruit neuromoteur est alors plus important. Cela entraînerait une limitation de leur capacité à construire des modèles internes précis leur empêchant de réduire l'incertitude de leurs mouvements et de prédire les conséquences de leurs actions. Ce déficit se répercuterait aussi sur l'IM qui serait alors détériorée. Cependant, la relation entre bruit neuromoteur et les déficits dans la construction d'une représentation interne nécessite des investigations plus approfondies (Ferguson et *al.*, 2015).

b. Evaluation des capacités d'imagerie motrice

○ *Paradigme de chronométrie mentale*

Une tâche de pointage guidé visuellement (visually-guided pointing task, VGPT) est souvent utilisée pour étudier le déficit de modélisation interne. Pour rappel, c'est une épreuve utilisant le paradigme de la chronométrie mentale qui permet de vérifier si les mouvements réels et imaginés se conforment à la loi de Fitts. Elle a été réalisée par Maruff, Wilson, Trebilcock et Currie (1999) auprès d'enfants présentant un TAC et des enfants contrôles. Les résultats pour les sujets TAC montrent que les mouvements réels sont plus lents par rapport à ceux des enfants du groupe contrôle mais se conforment à la loi de Fitts. Par contre, ce n'est pas le cas pour les mouvements imaginés : les mouvements simulés ne se conforment pas à cette loi de Fitts à la différence des sujets contrôles. Les enfants atteints d'un TAC ne pouvaient pas prédire de façon fiable la durée des mouvements à partir de la durée des séquences motrices imaginées. Cela suggère que pour les sujets TAC, il n'est pas impossible d'imaginer des mouvements mais que ces mouvements ne sont pas soumis aux mêmes contraintes

environnementales et physiologiques que les mouvements exécutés ce qui limite leur capacité d'IM (Wilson, Maruff, Ives et Currie, 2002).

Cette hypothèse a également été confirmée par Wilson et *al.* en 2001 : cette étude, utilisant également l'épreuve VGPT, a montré qu'en condition réelle, les résultats se conforment à la loi de Fitts. Cela n'est pas le cas pour les mouvements simulés puisque dans cette dernière condition, les enfants TAC sont plus rapides qu'en condition réelle. L'étude de Maruff et *al.*, (1999) montre en revanche que les séquences motrices imaginées sont plus lentes.

Wilson et *al.* se sont aussi intéressés, dans un second temps, à l'impact sur l'IM que peut avoir l'ajout d'un poids, au niveau du stylo qui servait à réaliser l'épreuve VGPT. En effet, ils ont ajouté un poids de 200g et ont à nouveau réalisé cette épreuve en condition réelle et imaginée. Les résultats montrent, chez les sujets contrôles, que la loi de Fitts est respectée dans les deux conditions, même avec l'ajout de poids, que la durée des mouvements réels n'est pas impactée par l'ajout de poids (les enfants ont générés plus de force). Ils montrent aussi qu'il y a eu un ralentissement lors de la simulation des mouvements. Chez les sujets TAC, en condition réelle, la loi de Fitts est également respectée et la durée de mouvement n'est pas impactée par l'ajout de poids. En revanche, en condition imaginée, la loi de Fitts n'est plus respectée et l'addition de poids n'a pas d'incidence sur la durée du mouvement. Cette deuxième partie de l'étude révèle que les enfants TAC présentent des difficultés à se représenter la force et la durée des mouvements en condition imaginée. Les différentes composantes de l'IM telle que la force et le timing prédictif sont affectées dans le TAC.

Les anomalies de performance présentées par les enfants TAC s'accordent avec un déficit de la représentation interne des actes moteurs. L'hypothèse DMI fournit une explication économique de la performance plus lente et plus variable chez le TAC et ce pour une grande variété de tâche. Cette hypothèse permet de rendre compte des performances amoindries à des tâches qui requièrent l'utilisation de représentations internes d'actes moteurs (Geuze, 2005).

○ *Tâche de jugement de latéralité*

En 2004, Wilson, Maruff, Butson, Williams, Lum utilisent le paradigme de rotation mentale afin de tester le déficit d'IM chez les sujets ayant un TAC. Seize enfants TAC et dix-huit enfants contrôles âgés de 10 ans doivent dire si le dessin présenté est une main droite ou gauche. Les résultats montrent que pour les enfants contrôles, il y a un compromis entre temps de réponse et angle de rotation de la main présentée : pour les angles les plus difficiles à réaliser biomécaniquement, le temps de réponse a été plus long. Pour les enfants TAC, les

résultats indiquent qu'il n'y a pas eu cette corrélation. Ils ont tendance à répondre plus rapidement que le groupe contrôle lorsque l'angle de rotation augmente.

Cependant, d'autres études montrent que le temps de réponse augmente avec l'angle de rotation pour les enfants témoins et pour ceux avec un TAC, mais elles montrent aussi que les réponses sont moins précises (Williams, Thomas, Maruff et Wilson, 2008).

Il convient donc de rester prudent dans l'interprétation des résultats car les modalités de cette épreuve sont hétérogènes (hétérogénéité des participants, orientations des mains différentes, angles différents,...).

c. Prévalence des troubles de l'IM chez les sujets avec TAC

Les difficultés d'IM ne touchent pas tous les sujets avec TAC. En effet, Wilson et *al.* (2001) ont constaté que tous les individus atteints de TAC n'avait pas forcément des difficultés dans les tâches qui requièrent l'IM. Ils expliquent cela par les différences dans les évaluations utilisées selon les études ainsi que par leurs niveaux de complexité, et par les différences dans les techniques d'analyse.

D'après Geuze (2005), il y aurait deux enfants ayant un enfant avec un TAC sur trois qui auraient un déficit de modélisation interne.

d. IM et sévérité du TAC

Un déficit d'imagerie motrice existe donc chez de nombreux enfants TAC mais selon certains auteurs, il y aurait une variation selon l'intensité de la déficience motrice.

Williams et *al.* (2008) ont réalisé une étude dont le but est de déterminer s'il y a des différences entre les performances d'IM chez les enfants atteints d'un TAC léger et chez ceux ayant un TAC sévère comparé à un groupe contrôle. Les enfants âgés entre 7 et 11 ans ont donc été évalués grâce au M-ABC et, en fonction des résultats, ont été répartis en trois groupes : le groupe TAC léger (score entre le 6^{ème} et le 15^{ème} percentile), le groupe TAC sévère (score inférieur ou égal au 5^{ème} percentile) et le groupe contrôle (score au-dessus du 20^{ème} percentile). Ils utilisent pour cela le paradigme de rotation mentale (main et corps entier) : les enfants doivent déterminer si sur l'image qui leur est présentée, il s'agit d'une main droite ou gauche ou si le bras levé est le bras droit ou gauche. Cette tâche est réalisée dans deux conditions : une où aucune consigne particulière n'est donnée et une autre où il est demandé aux participants d'imaginer leur propre main dans la position de l'image présentée (condition utilisée pour que les enfants utilisent l'IM). Les résultats montrent que les enfants

avec un TAC sévère sont moins précis à la fois pour les tâches concernant la main et le corps entier. Ces mêmes enfants ne montrent aucune amélioration dans leur capacité à exécuter la tâche avec précision lorsqu'ils ont reçu des instructions d'imagerie spécifiques, contrairement aux deux autres groupes. Pour les enfants avec un TAC léger, les auteurs affirment qu'ils ne présentent pas un profil uniforme d'altération de leur capacité à utiliser l'IM, leur performance est liée à la complexité de la tâche d'imagerie, lorsque la complexité de la tâche augmente, les réponses sont plus échouées.

Les auteurs ont donc conclu que la formation de modèles internes précis de contrôle moteur est susceptible d'être problématique, mais à des degrés divers selon le niveau d'atteinte : pour les enfants atteints d'une déficience motrice sévère, qui ne sont pas en mesure d'exécuter avec précision la tâche de la main ou du corps entier, il s'agit probablement d'un problème plus vaste qui touche une gamme importante de mouvements alors que pour les enfants ayant une déficience motrice moins sévère, qui ont réussi à effectuer des transformations d'images simples, mais qui ont eu des difficultés lorsque la complexité a augmenté, les déficits de la modélisation interne peuvent être limités à des tâches motrices plus complexes.

Une des questions qui reste en suspens est de savoir si le DMI est un symptôme ou est-ce plutôt une cause du déficit moteur dans le TAC ? Des études complémentaires doivent être réalisées pour répondre à cette question. Williams et *al.* (2008) émettent l'hypothèse que si le DMI était un symptôme de déficience motrice, on s'attendrait à ce que la capacité d'imagerie motrice s'améliore avec les capacités motrices.

dernier bilan d'évolution en ergothérapie (9 ans 10 mois) montre qu'elle a fait de beaucoup de progrès dans la vitesse de frappe puisque le comparatif écriture manuelle – écriture dactylographiée met en évidence une vitesse d'exécution quasi similaire, ce qui n'était pas le cas en début de prise en charge.

Elle est suivie en psychomotricité depuis ses 6 ans.

2) Bilan psychométrique

Manon a effectué un bilan psychométrique alors qu'elle avait 6 ans et 6 mois (WISC IV).

Indice de compréhension verbale = 140 : soit un résultat très supérieur à la moyenne. Elle possède de très bonnes capacités de communication verbale.

Indice de raisonnement perceptif = 92 soit un résultat dans la moyenne.

Indice de mémoire de travail = 112. Les capacités de mémoire de travail sont dans la moyenne haute.

Indice de vitesse de traitement = 86. Les subtests liés aux tâches qui demandent la mise en place d'aptitudes liées à la vitesse de traitement des données au niveau cognitif et graphomoteur ont des résultats faibles.

Le QI total est donc hétérogène avec des difficultés qui sont d'ordre non verbal et des bonnes capacités mnésiques et verbales.

3) Bilan psychomoteur et évaluations d'imagerie motrice

a. Bilan psychomoteur

Ce bilan est un bilan d'évolution réalisé dans le cadre d'un Trouble de l'Acquisition de la Coordination (TAC) alors qu'elle avait 9 ans et 8 mois. Elle bénéficie d'une prise en charge en psychomotricité depuis plus de 4 ans à raison d'une séance hebdomadaire. Le diagnostic de TAC évoqué lors du premier bilan psychomoteur réalisé en fin de grande section, a été confirmé très peu de temps après par un pédiatre. Son trouble est caractérisé comme étant sévère.

Connaissance droite/gauche : Elle maîtrise ces repères sur elle, sur autrui et par rapport aux objets. Elle a acquis le principe de réversibilité.

Organisation temporelle : elle connaît les jours de la semaine et sait les manier.

Elle ne connaît pas encore tous les mois de l'année ni les saisons dans l'ordre, elle a besoin d'indices.

Elle connaît la date du jour et celle de son anniversaire.

Motricité globale et dextérité manuelle :

- Dextérité manuelle = 3,5 points : supérieur au 15^{ème} centile
- Maîtrise de balle = 2 points : supérieur au 15^{ème} centile
- Equilibre statique et dynamique = 10 points, en dessous du 5^{ème} centile

Score de dégradation = 15,5 points, soit un score en dessous du 5^{ème} centile

Elle réussit bien les épreuves de dextérité manuelle et de maîtrise de balle mais pour les épreuves d'équilibre, elle éprouve des difficultés importantes. Elle est pénalisée en grande partie par l'épreuve de balle en équilibre sur la planche. Elle éprouve des difficultés pour le saut à pieds joints, sur le pied non dominant, ainsi que pour l'équilibre sur la planche.

Ces résultats valident le diagnostic de TAC.

Traitement visuo-spatiaux :

Copie de figure (NEPSY)

Note brute : 50 → note standard 7 n résultat au niveau attendu mais situé à la limite inférieure, synonyme de fragilité.

Figure de Rey A

Elle procède détail par détail ce qui la situe dans la norme faible pour la copie.

Pour la mémoire, il est nécessaire de l'encourager pour qu'elle la réalise. Elle dit qu'elle ne fera que la « maison ».

	Copie	Mémoire
Type	IV (juxtaposition de détails)	IV
Temps	293 secondes (50-75 ^{ème} percentile)	186 (50 ^{ème} percentile)
Score	50 (-1 DS)	33 (0 DS)

Ces résultats mettent en avant des fragilités dans les capacités visuo-spatiales, notamment au niveau de l'organisation de la production mais les résultats sont dans la norme.

Fonctions sensori-motrices

Précision visuomotrice (NEPSY)

Note brute : 25 → note standard : 7 soit un résultat au niveau attendu mais situé à la limite inférieure, synonyme de fragilité.

Dans cette épreuve, elle gère bien son tonus mais des sorties de route sont tout de même présente du fait de son manque motricité fine.

Imitation de position de main (NEPSY)

Note brute : 24 → note standard : 13 soit un résultat au niveau attendu mais situé dans la limite supérieure.

Elle réussit très bien cette épreuve mais présente des syncinésies linguales et faciales. Au précédent bilan, cette épreuve était encore très compliquée. Les résultats de cette épreuve montrent alors les grands progrès que Manon a fait et son évolution positive.

Attention /Fonctions exécutives

Test des 2 barrages de Zazzo :

	Barrage 1	Barrage 2
Vitesse	-1,79 ESIQ	1,70 ESIQ
Inexactitude	1,50 ESIQ	-0,40 ESIQ
Rendement	-1,64 ESIQ	-1,09 ESIQ

Ces résultats montrent qu'à la première épreuve, où elle doit retrouver un seul signe cible, sa vitesse est faible mais son taux d'exactitude est supérieur à la norme.

A la deuxième épreuve, où il faut retrouver deux signes cibles, sa vitesse est faible mais son taux d'inexactitude est dans la norme.

Manon a donc besoin de beaucoup de temps pour réaliser correctement les tâches d'attention soutenue.

Attention visuelle (NEPSY)

Note brute : 18 → note standard : 10 soit un résultat au niveau attendu.

Cette épreuve est bien réussie mais pour la deuxième épreuve, lorsque plusieurs informations sont à traiter dans un temps donné, elle a besoin de plus de temps.

Laby 5-12

Résultats	Scores	Ecart-types
Indice général d'erreur	10,16	-1,89
Indice d'inhibition	2,27	-0,97
Indice d'aversion pour le délai	4,19	-2,30

Au cours de cette épreuve, Manon fait beaucoup de dépassement de ligne, c'est pourquoi l'indice d'aversion pour le délai est inférieur au niveau attendu. Cela est en lien avec les difficultés de motricité fine et de contrôle du geste graphique.

Graphisme

BHK : (9ans 11mois)

Au niveau de la prise, elle se fait à 3 doigts, les doigts sont très proches de la mine. Le pouce est en extension.

Au niveau de la posture, ses coudes sont sur la table, son buste est penché en avant.

Au cours de cette épreuve, elle s'aide de la lecture, elle chuchote.

Concernant la vitesse, elle obtient un score de -1,28 DS. Sa vitesse se trouve donc dans la zone limite, elle est plutôt lente.

Concernant la qualité de l'écriture, elle se situe à -3,5 DS avec 22 points.

Les critères qui sont en dessous sont :

- Ecriture grande (-6,9DS)
- Lignes non planes (-3,47DS)
- Ecriture chaotique (-7,5 DS)
- Hauteur relative incorrecte (-6,5 DS)
- Lettres ambiguës (-5,6 DS)

Le critère « lettres retouchées » est situé dans la zone limite avec -1,07 DS.

L'écriture est donc une tâche difficile et coûteuse pour elle. Ses difficultés sont dues principalement à une mauvaise gestion tonique, un manque de motricité fine qui entraîne une sollicitation importante de son poignet, à une mauvaise formation des lettres.

Si nous nous intéressons de façon plus détaillée aux observations qualitatives de l'écriture de Manon, nous pouvons voir que la formation de certaines lettres est incorrecte. C'est le cas

pour la lettre « t », « d », « s », « v ». L'analyse de son écriture spontanée montre que les patterns moteurs des lettres « b » et « h » (lettres absentes du BHK) sont également touchés. En se référant aux facteurs de Sage (vus en cours magistral de 2^{ème} année), nous pouvons nous rendre compte que ce sont les facteurs « réalisation motrice des lettres » et « forme et constance des lettres » qui sont les plus déficitaires.

Conclusions du bilan psychomoteur :

Ce bilan montre que Manon est une enfant volontaire et motivée qui a fait de nombreux progrès depuis le début de la prise en charge. Elle a beaucoup progressé en motricité fine et en maîtrise de balle notamment. Des difficultés restent présentes, une lenteur se manifeste dans beaucoup de tâches, elle a du mal à aborder les coordinations complexes. Elle reste très fatigable ce qui peut entraîner une labilité attentionnelle.

Au niveau graphique, une dysgraphie importante est toujours présente malgré de nombreux progrès : son écriture est aujourd'hui en cursive, et ce, depuis qu'elle est en CM1 puisqu'auparavant, elle écrivait en script.

b. Evaluation des capacités d'imagerie motrice

o Epreuve de chronométrie mentale

Je me suis servie de l'épreuve Visual guided pointed task (VGPT) utilisée par Choudhoury et *al.* (2007) qui est une épreuve d'utilisation explicite de l'IM que nous avons pu voir dans une partie précédente. Pour rappel, il s'agit de relier cinq fois une ligne verticale à une « boîte » cible, boîte dont la taille varie. Cette tâche est réalisée en condition réelle et en condition imaginée. Elle permet de vérifier la présence de la corrélation qui existe normalement entre le temps de réalisation d'une action réelle et d'une action simulée. Elle permet de voir également si les mouvements réels et imaginés suivent la loi de Fitts.

Voici les résultats obtenus par Manon :

Taille de la boîte cible (niveau de difficulté croissant)	Temps de réalisation en condition réelle (moyenne des 2 essais) en secondes	Temps de réalisation en condition imaginée (moyenne des 2 essais) en secondes
40mm (la plus facile)	6,9 s	6,9 s
20mm	7,1 s	8,5 s
10mm	6,5 s	6,5 s
5mm	7,9 s	8,4 s
2,5mm (la plus difficile)	8,5 s	6,8 s

On peut voir que qu'en condition réelle, le temps de réalisation augmente en fonction du niveau de difficulté (sauf pour la boîte de 10mm), ce qui montre que le mouvement suit relativement bien la loi de Fitts.

En condition imaginée, on peut observer par contre que la loi de Fitts n'est pas respectée puisque la simulation du mouvement a la même durée, que ce soit pour la première boîte ou pour la dernière boîte pour laquelle le niveau de difficulté n'est pas le même.

On peut tout de même observer une **certaine** isochronie ou équivalence temporelle entre les mouvements réels et ceux imaginés. Les mouvements réels et imaginés conservent à peu près les mêmes caractéristiques temporelles chez Manon.

○ *Epreuve de jugement de latéralité*

Pour cette épreuve, qui consiste à déterminer la latéralité des segments corporels présentés, je me suis servie des dessins proposés par Lameira et *al.* dans leur étude de 2008. Il s'agit de dessins de mains droites et gauches présentées dans différentes perspectives et qui ont des orientations différentes. Cette épreuve permet d'évaluer de manière implicite l'utilisation de l'IM : le temps de réaction pour donner une réponse est présumé refléter le temps de simulation du mouvement de rotation permettant de déterminer la latéralité de la main. Pour les orientations et les perspectives qui sont biomécaniquement difficiles à réaliser, le temps de réaction est sensé être plus long. Ce temps est également plus long lorsque la posture est non congruente avec l'image présentée.

J'ai donc utilisé les perspectives suivantes : paume de la main, dos de la main, vues de côté afin de différencier les résultats selon s'il y avait congruence posturale ou non. Je n'ai pas proposé toutes les orientations (douze dans son étude) mais j'ai pris celles qu'utilise Spruijt, Jongasma, van der Kamp et Steenbergen dans leur étude de 2015 : 0°, 60°, 120°, 180°, 240° et 300° afin de différencier cette fois les positions faciles et celles plus difficiles au niveau biomécanique.

J'ai pour cela créé un diaporama qui présentait sur chaque diapositive un dessin d'une main. La répartition des dessins a été réalisée de manière aléatoire. Il était noté le temps de réaction que mettait l'enfant pour répondre. Les stimuli de la main restaient sur l'écran jusqu'à ce qu'une réponse soit enregistrée. Durant l'épreuve, les mains de l'enfant, posées sur le bureau, ont été cachées pour éviter les comparaisons entre ses propres mains et le dessin et ainsi favoriser l'utilisation de l'IM.

Voici les résultats obtenus par Manon :

Taux de réussite	Temps de réaction moyen (en seconde)
64,58 %	5,23 secondes

Si on observe plus

précisément les temps de réaction, on peut se rendre compte que ce temps n'est pas plus important quand les dessins présentés sont dans des positions biomécaniquement inconfortables. Ce qui signifie qu'elle n'a sans doute pas utilisé implicitement l'imagerie motrice pour déterminer la latéralité des mains présentées.

○ *Questionnaire*

Toujours dans le but d'évaluer les capacités d'imagerie motrice de l'enfant, j'ai utilisé le MIQ-RS qui permet de connaître comment une personne s'imagine le mouvement : est-ce plus facile pour elle d'avoir une image visuelle ou une image kinesthésique ?

Si on regarde les réponses données par Manon, on peut constater que cela a été plus facile pour elle de se former une image kinesthésique des mouvements qu'une image visuelle.

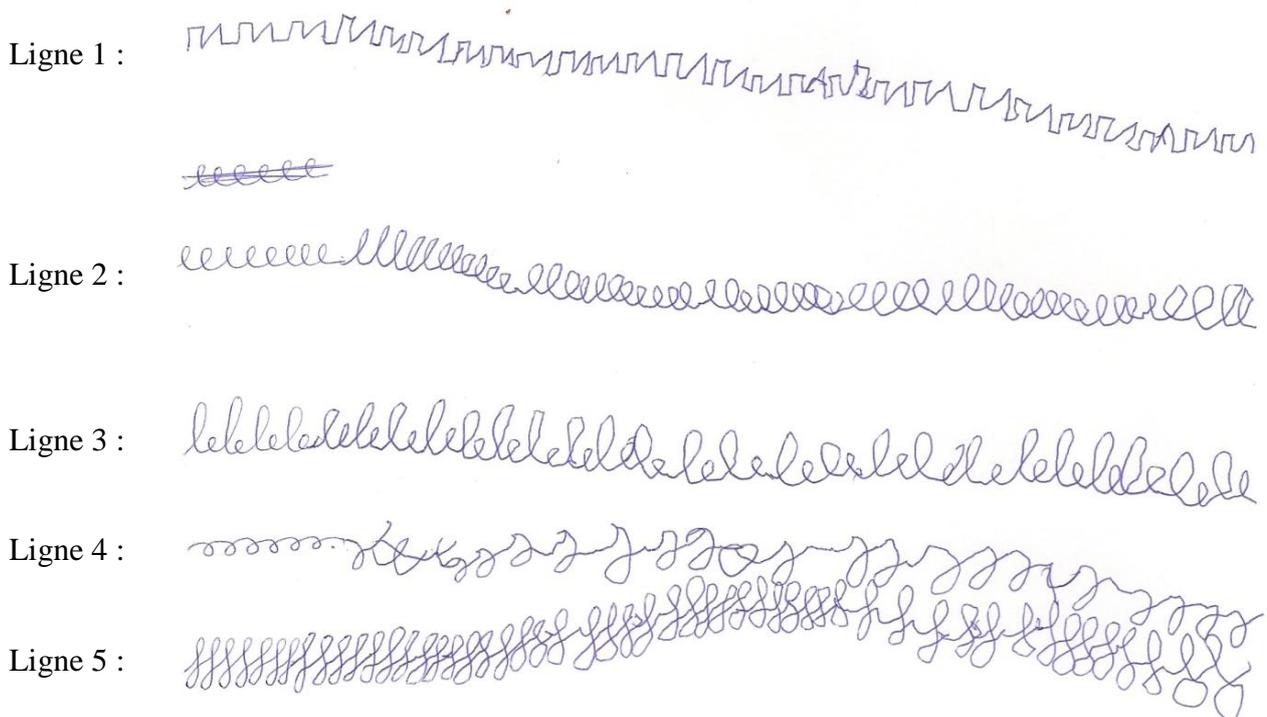
Mouvements à réaliser	IM Visuelle	IM Kinesthésique
Fléchissement du genou	Neutre	Facile
Lever le bras tendu au-dessus de la tête	Facile	Facile
Déplacement du bras tendu	Assez facile	Neutre
Fléchissement du haut du corps	Assez difficile	Facile
Etendre le bras	Facile	Facile
Inclinaison du haut du corps et mouvement de bras (comme si on attrape un verre d'eau)	Difficile	Facile
Inclinaison du haut du corps et mouvement de bras (« faire semblant d'ouvrir une porte »)	Assez facile	Assez facile

Conclusion des épreuves d'évaluation de l'IM :

L'ensemble des résultats de l'évaluation des capacités d'imagerie montrent que Manon est susceptible de tirer profit d'un travail basé sur l'IM : malgré le fait que ses mouvements simulés ne respectent pas la loi de Fitts, on peut voir qu'elle réussit relativement bien l'épreuve de jugement de latéralité ce qui indique que les mécanismes impliqués dans la représentation du corps ne sont que partiellement immature. De plus, le questionnaire nous montre qu'elle est capable de se représenter le mouvement avec des ressentis proprioceptifs et kinesthésique ce qui est essentiel à la formation d'une IM.

c. Epreuve complémentaire

J'ai également choisi de demander à Manon de réaliser des signes prescripturaux pour voir si ces patrons de coordination étaient maîtrisés avant le début du protocole. Voici ses réalisations :



Sa production montre que pour la première ligne de signe, il peut y avoir des confusions entre les deux signes, elle a du mal à anticiper le changement de signe, il n'y a pas d'automatisation du geste.

En ce qui concerne les boucles anti-horaires, le patron gestuel est maîtrisé mais on peut tout de même observer au niveau qualitatif des variations dans la taille des boucles ainsi que des angles aigus entre les boucles qui peuvent montrer le manque de fluidité du geste graphique.

Pour le troisième signe, celui faisant varier la taille des boucles, on peut voir que ce geste est relativement bien réalisé, une légère variabilité peut tout de même se manifester.

Pour ce qui est du quatrième signe, on peut voir que la programmation de ce geste est très difficile pour Manon. Elle n'arrive pas à anticiper son geste ce qui la conduit à repartir dans le bouclage inverse puis, se rendant compte de son erreur, elle repart ensuite dans le bon sens. Cette erreur se produit tout au long de la ligne, ce geste n'est alors pas automatisé.

A la production du dernier signe, les premiers signes sont correctement réalisés, cependant par la suite, la liaison entre les signes n'est plus si aisée, des angles aigus apparaissent.

II. Protocole et séances

1) Création du protocole

Pour prendre en charge la dysgraphie de ces enfants ayant un trouble de l'acquisition de la coordination, j'ai repris le protocole d'imagerie motrice utilisé par Puyjarinet (2015) dans son étude qui comparait l'efficacité de cette approche à celle d'une approche métacognitive de type CO-OP.

Le protocole de F. Puyjarinet se découpe en quatre parties : un entraînement au timing prédictif, un temps de pleine conscience, une observation de vidéos, un temps d'imagerie motrice couplé avec une pratique réelle.

a. Entraînement au timing prédictif

Cette étape a pour but de travailler sur l'estimation temporelle ainsi que sur les compétences d'imagerie mentale afin d'améliorer leur précision. Cela consiste à entraîner les enfants à visualiser mentalement le déplacement d'un projectile et donner un signal quand ils pensent que celui-ci a atteint sa cible. L'important dans ce travail est que les enfants estiment mentalement quand quelque chose arrive un endroit précis.

Dans son étude, Puyjarinet a utilisé un jeu sur ordinateur appelé « les abeilles », jeu disponible sur un logiciel de rééducation des habiletés visuo-spatiales (TV neurones). Dans un premier temps, les enfants doivent reconnaître quelle est la trajectoire de l'abeille, puis ils doivent visionner trois fois le déroulement de la trajectoire avant de fermer les yeux et visualiser mentalement le même déplacement. L'adulte, au moment où l'enfant commence à visualiser la trajectoire, lance le trajet de l'abeille et l'arrête lorsque l'enfant l'informe qu'il a terminé sa simulation du trajet et que l'abeille est arrivée à sa destination. Dans ce protocole, cet exercice était travaillé pendant une dizaine de minutes.

N'ayant pas accès au logiciel utilisé par Puyjarinet dans son étude (TV Neurones), J'ai dû trouver un autre moyen de permettre à l'enfant de s'exercer à l'estimation temporelle et d'entraîner les compétences d'imagerie mentale.

Deux types d'exercices similaires ont alors été proposés mais sous deux formes différentes :

- Le premier consiste à prédire quand une balle arrive à un endroit précis. Pour cet exercice, l'adulte fait rouler une balle qui passe derrière un tapis posé verticalement. L'enfant regarde la balle partir, voit le début de la trajectoire avant sa disparition derrière le tapis. Il doit alors visualiser la trajectoire de la balle qui est cachée et doit dire « stop » quand la balle arrive à un repère précis préalablement placé. Ce repère peut être déplacé entre les essais, tout dépend de la précision des essais.

Pour complexifier cette exercice, on peut introduire des variations de la vitesse du lancer ainsi qu'utiliser différentes balles pour obliger l'enfant à moduler son estimation et leur visualisation du déplacement. De plus, cela donne un caractère plus ludique et moins répétitif pour l'enfant. Un feedback lui est alors donné quant à sa prédiction : « trop tôt », « trop tard » ou « exact ». Ces feedbacks lui permettent d'ajuster la vitesse mentale de déplacement pour qu'il gagne en précision temporelle.

Cet exercice est réalisé une dizaine de fois.

- Le deuxième exercice se base sur les mêmes principes mais sa forme varie : il consiste à envoyer la balle à l'enfant assis au sol, mains posées à plat sur les côtés, l'adulte étant assis en face de l'enfant. L'enfant regarde le début de la trajectoire de la balle lancée au sol, puis, lorsque l'adulte lui indique, il doit fermer les yeux. Au moment où il pense que la balle arrive à son niveau, il place ses mains devant lui pour essayer de l'attraper.

Pour faire varier la complexité de la tâche, la distance entre l'enfant et l'adulte peut être amenée à changer, tout comme la vitesse du lancer de la balle. Le type de balle peut aussi être modifié (taille, densité).

Ce qui est intéressant avec cet exercice, c'est que l'enfant peut lui-même juger de sa propre performance : en effet, il se rend compte directement s'il a placé ses mains trop tôt ou trop tard. Si c'est trop tôt, il attend la balle, si c'est trop tard, la balle l'a déjà percuté.

Pour rendre cet exercice plus interactif, je lançais la balle à l'enfant et en retour c'est elle qui la renvoyait et je devais aussi prédire quand la balle arrivait à mon niveau.

Cet exercice dure environ 5 minutes.

b. Exercices de méditation de pleine conscience

Ensuite, il était proposé aux enfants participants à l'étude un temps de méditation de pleine conscience qui est « un moyen pertinent de régulation des capacités d'attention et de ressenti des sensations corporelles » (in Puyjarinet, 2015, p.8). Le but de ce temps de méditation est de permettre à l'enfant de stabiliser son attention, de l'aider à se centrer sur les ressentis corporels qu'il peut avoir dans les différentes parties du corps mais aussi de « développer leur capacité à analyser et accueillir sans jugement ce qui pouvait s'y passer ». (in Puyjarinet, 2015, p.8)

Afin de réaliser les exercices de méditation de pleine conscience, je me suis servie des d'enregistrements CD existants dont Puyjarinet parle dans son article. Il s'agit des enregistrements du livre *Calme et attentif comme une grenouille* de Snel (2012), et de ceux *Tout est là, juste là* de Siaud-Facchin (2014). Cependant, il a tout de même fallu réaliser quelques aménagements notamment pour les enregistrements du livre de Snel. En effet, ce livre s'adresse à des enfants plutôt jeunes, entre 5 et 10 ans. Il m'a semblé que l'intonation du thérapeute n'était pas adaptée à l'enfant que j'avais choisi pour réaliser ce protocole (âgée de 10 ans). J'ai donc utilisé le contenu de l'enregistrement que je lisais lors du temps de pleine conscience.

Lors de ce temps, l'enfant est installé sur une chaise. Cet exercice dure entre 5 et 10 minutes.

c. Observation de séquences vidéo

L'enfant est ensuite amené à observer des vidéos de lettres isolées, de digrammes, de trigrammes ou de mots entiers, réalisées par un scripteur expert en perspective interne. Ces vidéos doivent être réalisées par un scripteur expert de même dominance latérale que l'enfant observateur. Sur ces vidéos, on voit seulement la main du scripteur qui produit les lettres (comme si cette main était celle de celui qui observe la vidéo), la feuille, le stylo et les graphies produites. La feuille utilisée sur la vidéo était simplifiée : elle ne comporte que deux lignes espacées de 4 millimètres. Dans ce protocole, chaque séquence vidéo est visionnée deux à quatre fois.

Je n'ai pas réalisé de modification par rapport au protocole de Puyjarinet.

Quand cela était possible (en fonction des lettres problématiques de l'enfant), j'ai regroupé l'observation des lettres isolées selon les caractéristiques isomorphiques du mouvement :

-a, c, d, q, o

-e, l, h, k, f, b

- i, t, u, v, w, j, y

- m, n, p, r, s, x, z

Le plus possible j'ai utilisé les digrammes et les trigrammes les plus courants dans la langue française.

Bigrammes	ES	DE	LE	EN	RE	NT	ON	ER	TE	EL	AN	SE	ET	LA	AI	IT	ME	OU	EM	IE
Nombres	3318	2409	2366	2121	1885	1694	1646	1514	1484	1382	1378	1377	1307	1270	1255	1243	1099	1086	1056	1030

Liste des 20 bigrammes les plus fréquents²

Trigrammes	ENT	LES	EDE	DES	QUE	AIT	LLE	SDE	ION	EME	ELA	RES	MEN	ESE	DEL	ANT	TIO	PAR	ESD	TDE
Nombres	900	801	630	609	607	542	509	508	477	472	437	432	425	416	404	397	383	360	351	350

Liste des 20 trigrammes les plus fréquents²

d. Imagerie motrice

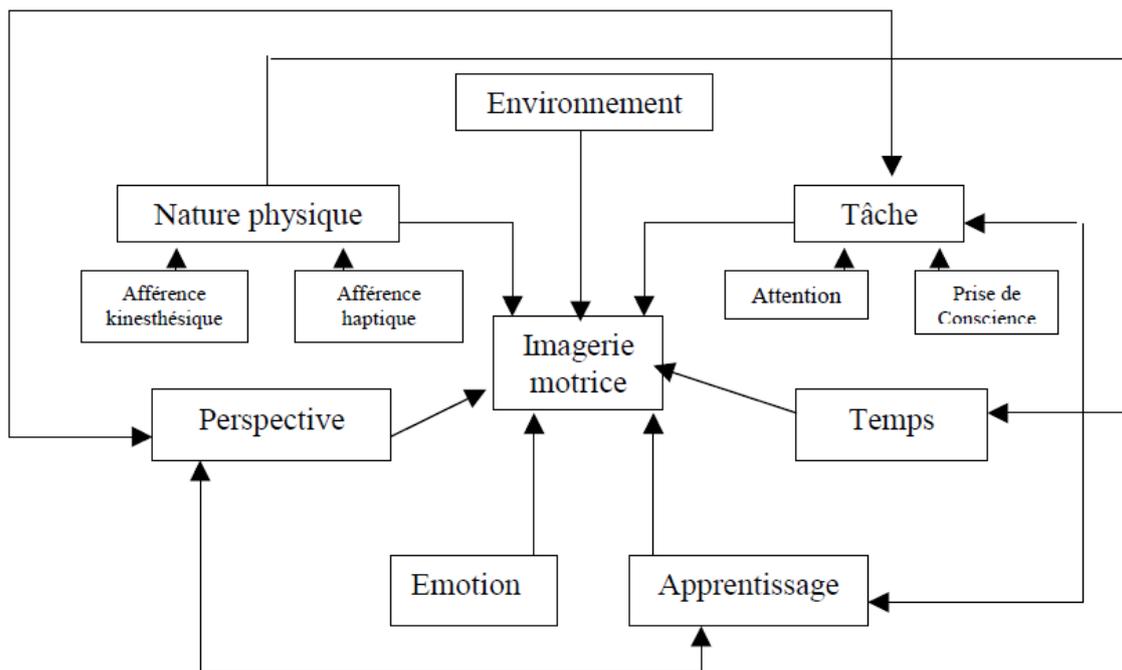
Après l'observation des vidéos, l'enfant doit fermer les yeux et se créer une image de la plus précise possible de ce qu'il vient de voir (s'imaginer avec le stylo dans la main, visualiser les lignes d'écriture sur la feuille). Ensuite, l'enfant s'imagine en train d'écrire les graphies précédemment observées. Il le fait trois fois : la première fois avec un guidage de l'adulte qui porte sur le ressenti de l'enfant en lui demandant de porter attention aux caractéristiques spatiales de la lettre ou aux caractéristiques temporelles ou aux sensations corporelles... Les deux autres fois, l'enfant effectue l'imagerie sans instructions de l'adulte.

Ensuite l'enfant écrit réellement les lettres ou mots, puis il simule à nouveau la production en imagerie et réécrit une dernière fois en condition réelle.

2) Optimisation de l'efficacité de l'imagerie : Modèle PETTLEP

Ce modèle conçu par des chercheurs et psychologues du sport britannique permet une meilleure compréhension des processus impliqués dans l'imagerie afin d'optimiser son efficacité. Il présente sept composantes (la nature physique, l'environnement, la tâche, le temps, l'apprentissage, l'émotion, et la perspective) qui interagissent entre elles et que l'on peut influencer lors de la pratique de l'IM.

² <http://www.apprendre-en-ligne.net/crypto/stat/francais.html> (site consulté le 27 novembre 2016)



Modèle du PETTLEP

(Holmes et Collins, 2002 in Lopez, Calmels, Naman et Holmes, 2004)

Toutes les composantes du modèle du PETTLEP sont donc :

- P pour nature **Physique** : cet élément comprend la réalisation des mouvements réels, mais aussi la notion de position du corps au moment de la pratique de l'IM ainsi que la notion des ressentis kinesthésiques et proprioceptifs du geste à réaliser lors de l'IM.

L'application de cette composante dans le protocole se fait en positionnant l'enfant dans une position confortable et en mettant l'accent sur les ressentis kinesthésiques et proprioceptifs.

- E pour **Environnement** : la pratique de l'IM doit se faire dans les conditions les plus proches des conditions d'exécution réelle afin d'avoir accès plus facilement aux représentations du mouvement réel.

Ici, il est possible de modifier les modalités de présentation du mouvement d'écriture sur la séquence vidéo (écrire des mots sur une ardoise, sur une feuille avec simplement deux lignes...).

- T pour **Tâche** : la tâche effectuée en IM doit être la plus fidèle possible à la tâche réelle.

Dans le protocole s'intéressant à l'écriture on s'attachera à simuler le mouvement d'écriture d'un point de vue égocentré.

- T pour **Timing** : l'équivalence temporelle entre mouvement réel et simulé doit être respectée et conservée.

Dans le protocole, la durée du mouvement simulé doit respecter la durée du mouvement réel. Pour vérifier que c'est le cas, il est possible de demander à l'enfant, lors de la production en IM, de produire la forme écrite en l'air avec le doigt, bras tendu (Puyjarinet, 2016).

- L pour **Learning** (Apprentissage) : il est nécessaire de prendre en compte le stade d'apprentissage de l'habileté dans la pratique de l' IM.

Cette notion importante, renvoie au fait qu'il faille présenter à l'enfant des exercices de difficulté croissante en veillant à respecter le rythme de l'enfant et en prenant en compte les progrès qu'il a effectué.

- E pour **Emotion** : les émotions du sujet doivent être prises en compte lorsque l'on pratique l'IM, que ce soit l'état émotionnel initial ou les affects suscités par l'IM.

Il faut veiller à ce que l'enfant soit dans des conditions optimales pour pouvoir réaliser l'IM car cela lui demande beaucoup d'attention. Il est donc possible d'adapter la séance en fonction de l'état de l'enfant en allongeant le temps d'exercice de méditation de pleine conscience.

- P pour **Perspective** : lorsque que l'on veut privilégier les ressentis kinesthésiques et proprioceptifs et « approfondir la maîtrise spatio-temporelle de l'acte moteur à réaliser » (Puyjarinet, 2016), l'utilisation de la perspective interne, soit une perspective égocentrée, est privilégiée.

3) Observations qualitatives des séances

a. Choix des lettres travaillées

Après l'analyse du BHK, j'ai choisi de travailler sur les lettres les plus problématiques : « s », « r », « n », « t », « o », « d », « b », « h », « v ».

Les problématiques de ces lettres ne sont pas les mêmes : en effet, pour certaines de ces lettres c'est leur formation qui est incorrecte (« d » et « t »), pour d'autres ce sont leur taille, les liaisons entre les lettres ou encore leur caractère ambigu (le « s », « v », « n », « o » et « r »)

qui fait qu'on peut les confondre avec d'autres (notamment le cas pour le « v » qui ressemble particulièrement à un « u »).

La variabilité de la production des lettres est également très marquée dans l'écriture de Manon.

Manon étant rentrée en écriture cursive lors de son année de CM1 et ayant une dysgraphie importante, une mise en place d'adaptation en rééducation a été effectuée. Il s'agit de la conservation de lettres écrites en script au sein de lettres en cursives. C'est le cas pour la lettre « b », « v », « h ». Nous avons alors décidé de conserver cette adaptation en imagerie pour permettre une meilleure fonctionnalité de l'écriture. Nous avons supposé que modifier la formation de la lettre ne serait pas pertinent dans le cadre de ce travail.

b. Progression du travail des lettres

Pour la progression du travail de l'écriture, j'ai essayé de regrouper au maximum les lettres problématiques selon les caractéristiques isomorphiques du mouvement de formation des lettres comme le préconise F. Puyjarinet dans son protocole. Cependant, cela n'a pas toujours été possible du fait des caractéristiques différentes des lettres choisies.

Nous avons réalisé ce protocole sur 10 séances.

Trois lettres problématiques étaient abordées par séance. J'ai donc réuni lors des premières séances le s, r et n. Ensuite, nous avons travaillé les 3 lettres : t, d, o. Enfin le b, h et v ont été travaillé.

Les lettres étaient, lors d'une séance, réalisées isolément puis elles ont été soit intégré dans un digramme et/ou intégré dans un trigramme lors de la séance suivante. Cette progression renvoie à la notion d'apprentissage du modèle PETTLEP.

Lors des dernières séances, nous avons repris l'ensemble des lettres travaillées en utilisant des mots. Les mots ont été choisis par rapport aux intérêts de l'enfant : Manon pratiquant le cirque, nous avons choisis des mots tels que « acrobate », « voltige » par exemple.

c. Déroulement des séances

Les séances ont donc été réalisées en quatre étapes qui étaient bien repérées par Manon, elle savait comment allait se dérouler la séance.

○ Entraînement au timing prédictif

Le premier exercice (consistant à prédire quand une balle arrive à un endroit précis alors que la trajectoire est cachée) a été, dès les premières séances, plutôt bien réussi : elle arrivait très

souvent à dire au bon moment à quel endroit la balle arrivait au niveau du repère. Lorsqu'elle échouait, la balle était tout près du repère.

Pour le deuxième exercice en revanche, qui consiste à envoyer la balle à l'enfant assis au sol qui regarde le début de la trajectoire mais qui ferme les yeux ensuite et qui doit positionner ses mains de façon à attraper la balle quand elle pense qu'elle arrive devant elle, Manon a éprouvé plus de difficultés. Elle a eu du mal à positionner ses mains au bon moment malgré les feedbacks qui ont pu lui être apportés et les auto-observations que cet exercice permet. Cependant, au fil des séances, une amélioration a pu être observée lors de cet exercice. Lors des dernières séances, elle arrivait à placer ses mains au bon moment.

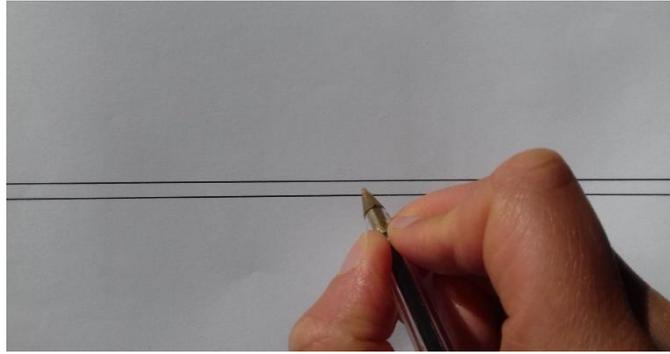
○ *Exercices de méditation de pleine conscience*

Manon a bien investi cet exercice, lors de chaque séance, elle arrivait à se centrer sur les ressentis corporels sur lesquels les instructions lui disaient de se focaliser. Elle pouvait verbaliser quand je lui posais des questions sur ses ressentis mais spontanément ses verbalisations étaient plutôt rares, et ce, tout au long du protocole. Elle a pu avouer que son esprit parfois partait dans ses pensées mais elle affirmait qu'elle arrivait à se recentrer.

○ *Observation de séquences vidéo*

Il était proposé à Manon des vidéos où elle pouvait observer un scripteur expert en train d'écrire la ou les lettres ou le mot travaillé lors de la séance, en perspective interne. Les mots étaient inscrits sur une page blanche où il y avait seulement deux lignes espacées de 4 millimètres. La vidéo était alors visionnée quatre fois. Nous nous focalisons sur les caractéristiques de la lettre (sens conventionnel, taille,..), les caractéristiques des enchaînements des lettres (liaisons, espace entre les lettres,...), et sur les variables cinétiques (temps de mouvement, fluidité, levées de stylo, ralentissement, pics d'accélération,...).

Manon était investie lors de ces observations, elle y participait activement et se montrait attentive. Le support vidéo semble avoir eu un effet plutôt attrayant.



Photographie de ce que pouvait observer Manon sur les vidéos

○ ***Imagerie motrice***

Venait ensuite le temps d'imagerie où Manon devait s'imaginer écrire en ressentant les sensations associées à cette tâche. Elle le faisait trois fois : la première fois, je la guidais en lui faisant porter son attention sur les caractéristiques spatiales de la lettre ou des groupes de lettres ou sur leurs caractéristiques temporelles ou encore sur les sensations corporelles. Les deux autres fois, elle s'imaginait écrire sans guidage.

Manon était très concentrée lors de ce temps d'imagination qu'elle réalisait les yeux fermés.

Du fait de son caractère interne et donc non observable, on ne peut pas être certain qu'elle utilisait à chaque fois l'IM. Par conséquent, je lui demandais après cet exercice ce qu'elle voyait et ce qu'elle ressentait. Elle me répondait qu'elle voyait comme sur la vidéo c'est-à-dire la feuille, le stylo, la main et les lettres et qu'elle ressentait les mêmes sensations que lorsqu'elle écrivait.

Elle pouvait se montrer assez lente lors de ce temps d'imagerie. Aussi, pour s'assurer que l'image mentale de la production écrite suit les mêmes lois du contrôle moteur (notamment l'invariance temporelle), je demandais régulièrement à Manon de produire la forme écrite en l'air avec le doigt. Lorsqu'elle le réalisait, il y avait une certaine isochronie. Mais quand je ne lui demandais pas, on pouvait retrouver cette lenteur signifiant une dissociation entre temps réel et temps en imagination.

Après ce temps, c'était celui de la pratique réelle. Elle se faisait sur des lignes de quatre couleurs (bleu, rouge, vert, marron : pour une lettre tronç, « elle pose ses pieds sur la terre (ligne marron) et va jusqu'à l'herbe » (ligne verte), pour les grandes lettres, elles vont « jusqu'au ciel (ligne bleue) alors que d'autres traversent la terre pour aller jusqu'au feu » (ligne rouge)) fréquemment utilisées avec les enfants dysgraphiques afin de donner des repères quant à l'organisation spatiale.

Après cette production, Manon, qui est suivie depuis quelques années en psychomotricité, évaluait elle-même sa production et proposait des retours pertinents.

III. Retest et mise en forme des résultats

1) BHK (10 ans et 5 mois)

Au niveau de la prise, elle se fait à 2 doigts sur le stylo, les doigts étant très proche de la mine. Le pouce est en extension, elle sollicite beaucoup son poignet.

Au niveau postural, ses coudes sont sur la table, son buste est penché vers l'avant, sa tête penchée vers la gauche. Sa main gauche tient la feuille.

Concernant la vitesse, elle obtient un score de -1,6 DS. Elle est donc plutôt lente comparé aux enfants de son âge.

Concernant la qualité, elle se situe à -2,9 DS avec 20 points.

Les critères qui sont en dessous sont :

- Ecriture grande (-3,39 DS)
- Lignes non planes (-2,5 DS)
- Liens interrompus (-3,19 DS)
- Hauteur relative incorrecte (-6,5 DS)
- Lettres ambiguës (-2,31 DS)

Le critère « lettres retouchées » est situé dans la zone limite avec -1,07 DS.

L'écriture est donc toujours une tâche difficile et coûteuse pour elle, la dysgraphie est toujours très marquée.

Voici un tableau récapitulatif des résultats obtenus en test et en retest :

BHK - Critères	TEST			RETEST	
1. Ecriture grande	2 points	-6,9 DS		1 point	-3,4 DS
2. Inclinaison de la marge	0 point	0,24 DS	=	0 point	0,24 DS
3. Lignes non planes	5 points	-3,47		4 points	-2,5 DS
4. Mots serrés	1 point	0,48 DS		3 points	-0,75 DS
5. Ecriture chaotique	1 point	-7,5 DS		0 point	0,15 DS
6. Liens interrompus	4 points	-0,48 DS		5 points	-1,03 DS
7. Télescopage	0 point	0,51 DS		1 point	-0,76 DS

8. Variation hauteur des lettres troncs	3 points	-0,05 DS		2 points	0,61 DS
9. Hauteur relative incorrecte	1 point	-6,46 DS	=	1 point	-6,46 DS
10. Distorsion de lettre	0 point	0,17 DS	=	0 point	0,17 DS
11. Lettres ambiguës	4 points	-5,6 DS		2 points	-2,6 DS
12. Lettres retouchées	1 point	-1,07 DS	=	1 point	-1,07DS
13. Hésitations et tremblements	0 point	0,12 DS	=	0 point	0,12 DS

2) Epreuve de chronométrie mentale

Taille de la boîte cible (niveau de difficulté croissant)	Temps de réalisation en condition réelle (moyenne des 2 essais) en secondes	Temps de réalisation en condition imaginée (moyenne des 2 essais) en secondes
40mm (la plus facile)	7,4 s	12,4 s
20mm	7,3 s	10 s
10mm	8,3 s	8 s
5mm	8,4 s	8,4 s
2,5mm (la plus difficile)	8,2 s	9 s

Ces résultats montrent qu'en condition réelle, le temps de réalisation augmente très peu en fonction du niveau de difficulté (exceptée pour la dernière boîte de 2,5mm). On ne peut donc pas affirmer aux vues de ces résultats que le mouvement réel suive la loi de Fitts.

En condition imaginée, la loi de Fitts n'est pas observée puisque en effet le temps en imagination pour les premières boîtes (ou le niveau de difficulté est le moins élevé) est plus important que pour les dernières boîtes qui demandent plus de précision.

On peut tout de même noter qu'il n'y a pas d'isochronie entre mouvement réel et imaginé pour les premières boîtes, mais pour les trois dernières en revanche, on peut observer une certaine isochronie. Elle a donc su réajuster son temps en imagerie.

3) Epreuve de jugement de latéralité

Voici les résultats obtenu par Manon lors du retest :

Taux de réussite	Temps de réaction moyen (en seconde)
66,7 %	6,64 secondes

Si on observe plus précisément les temps de réaction, on peut voir qu'elle prend un temps de réflexion avant de répondre

On peut observer aussi une augmentation de ce temps pour certains dessins dont les positions sont biomécaniquement inconfortables mais pas pour tous.

4) Questionnaire

Je n'ai pas refait passer le questionnaire évaluant les capacités d'imagerie motrice à Manon étant donné que les résultats au prétest montraient que c'était plus facile pour elle de former une image kinesthésique que visuelle donc qu'elle était capable de se représenter le mouvement avec des ressentis kinesthésiques et proprioceptifs, ce qui nous intéressait pour le protocole.

5) Epreuve complémentaire : les signes préscripturaux

On peut observer pour la première ligne de signe que la réalisation est correctement réalisée, il n'y a pas de confusion entre les deux formes. La programmation du geste est bonne dès les premiers essais.

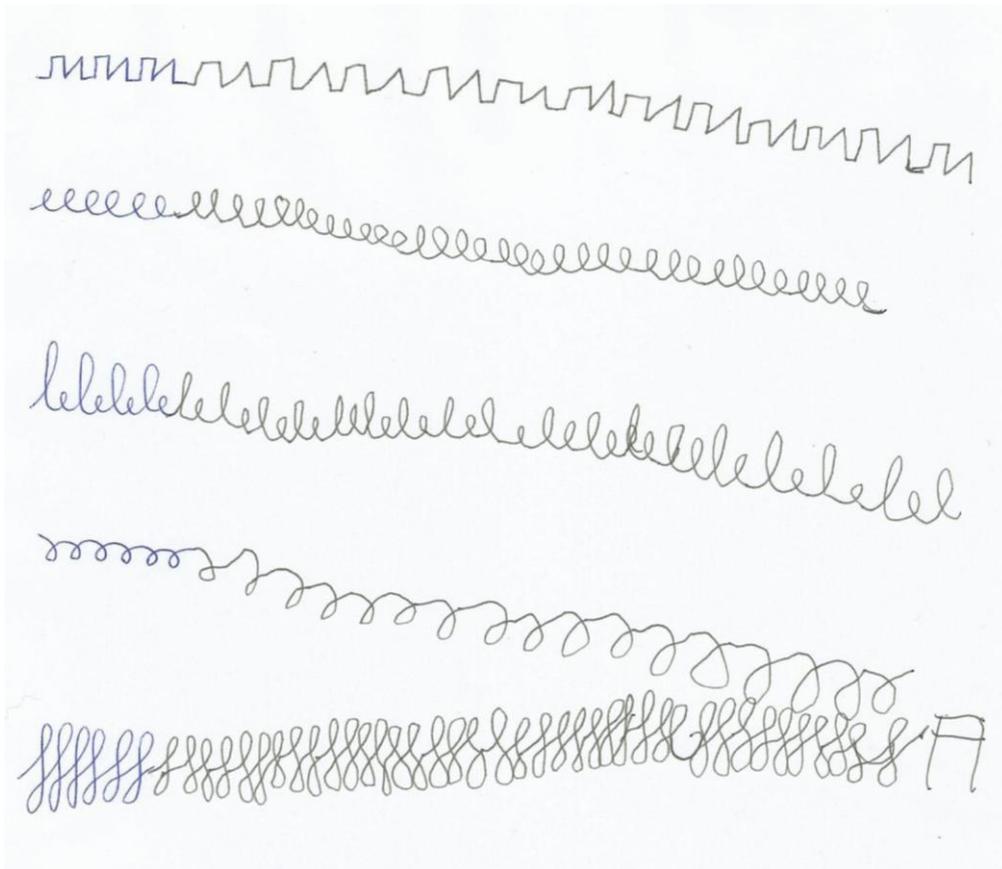
Concernant la réalisation des boucles anti-horaires, elle ne présente pas de difficulté particulière mise à part la variabilité dans la taille et la largeur des boucles.

Pour ce qui est de la réalisation du troisième signe (alternance d'une grande boucle et d'une petite boucle anti-horaire), elle est correctement exécutée. Pas de difficulté notable n'est observable.

En ce qui concerne le quatrième signe (boucle à l'envers), Manon le fait sans grande difficulté, l'organisation du geste est correcte. Au niveau des observations cliniques, on peut cependant dire que le geste manque de fluidité, il n'est pas encore tout à fait automatisé.

Enfin, la production du dernier signe est tout à fait correcte.

Production de Manon aux signes prescripturaux en retest



6) Tableau récapitulatif des résultats des épreuves de test et de retest

	Pré-protocole	Post-protocole
Epreuve de chronométrie mentale	<ul style="list-style-type: none"> • Mouvement réel : suit relativement bien la loi de Fitts • Mouvement imaginé : ne suit pas la loi de Fitts • Isochronie relative 	<ul style="list-style-type: none"> • Mouvement réel : ne suit pas la loi de Fitts • Mouvement imaginé : ne suit pas la loi de Fitts • Pas d'isochronie au départ puis isochronie (pour les 3 dernières boîtes)
Epreuve de jugement de latéralité		
- Réussite	64,58 %	66,7 %
- Temps	5,23 secondes	6,64 secondes
BHK qualité	-3,2 DS	-2,93 DS
BHK vitesse	-1,28 DS	-1,6 DS

DISCUSSION

A l'issue de la réalisation de ces séances, mais également de la rédaction de cet écrit, différents questionnements ont émergé sur l'impact qu'a pu avoir l'utilisation de cette technique que ce soit au niveau de l'écriture ou au niveau d'autres compétences, mais aussi sur les avantages et les inconvénients celle-ci. C'est pourquoi au cours de cette discussion nous allons porter notre attention sur l'impact de cette technique sur l'écriture et les processus sous-jacents à l'imagerie motrice ainsi que sur son impact sur le quotidien. Nous réfléchirons ensuite sur l'intérêt de son utilisation en clinique. Enfin, nous aborderons les limites que nous avons pu rencontrer.

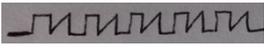
Quel fut l'impact de cette technique tant au niveau de l'écriture que sur les différents processus sous-jacents à l'imagerie motrice ?

Pour ce qui est de l'écriture, les résultats du BHK montrent une légère amélioration de la qualité puisqu'on est passé de -3,2 DS avant l'application du protocole à -2,9 DS après la rééducation par imagerie motrice. Si on s'intéresse de plus près aux critères, on peut noter que certains se sont améliorés : le critère écriture grande, lignes non planes, écriture chaotique, variation de la hauteur des lettres troncs et lettres ambiguës.

Ce que l'on peut noter c'est surtout une nette amélioration au niveau du critère « lettres ambiguës » puisque la forme de certaines lettres travaillées en séances prête moins à confusion (résultats plus marqués pour le « v » et le « s » notamment). Le critère « écriture chaotique » montre également une amélioration. Il est possible que ces améliorations soient la conséquence de l'entraînement à l'IM. En effet, cela est peut être lié à une meilleure représentation interne du mouvement permettant une meilleure programmation du mouvement et donc une meilleure anticipation. Ayant travaillé sur les lettres aux formes problématiques isolément, l'amélioration a pu porter directement sur ces lettres (ce qui expliquerait les meilleurs résultats au critère « lettres ambiguës » notamment) et ayant aussi travaillé sur la liaison de plusieurs lettres, l'utilisation de l'IM a pu permettre une amélioration de ces liaisons.

Les résultats du BHK montrent aussi qu'il y a des critères qui se sont dégradés comme le critère « lien interrompu » qui était, avant le protocole, dans la norme et qui, après son application, est désormais situé dans la zone limite. Cela peut s'expliquer par le fait que Manon écrive encore spontanément quelques lettres en script du fait d'importantes difficultés

lors de l'apprentissage des lettres cursives (pour rappel, elle n'est entrée dans l'écriture cursive qu'en CM1) et que, de ce fait même, et avec son aval, j'ai délibérément choisi d'affirmer ces lettres sous leur forme scripte afin d'éviter une écriture ambiguë. Nous avons ainsi donné priorité à la lisibilité de son écriture, au détriment de certaines liaisons mal maîtrisées.

Pour ce qui est des signes prescripturaux, on peut noter une nette amélioration notamment en ce qui concerne ce type boucle  entre le test et le retest. En effet, lors du test initial, Manon s'est trouvée en difficulté pour réaliser ces boucles. Elle n'arrivait pas à les enchaîner et à chaque début de boucle, elle partait dans l'autre sens et ensuite se corrigeait. Le mode contrôle moteur était alors rétroactif. Lors du retest par contre, les résultats ont été très différents : elle arrivait à réaliser du premier coup les boucles, à mieux à les enchaîner, le mouvement était plus fluide. Une nette amélioration à ce type de signe  est également observée : lors de la phase de test, Manon avait beaucoup mal à réaliser les formes demandées, il pouvait y avoir des confusions et le geste n'était pas fluide. Lors de la phase de retest, le mouvement a été correctement exécuté dès le départ, il était fluide, le changement de signe était anticipé. On peut émettre l'hypothèse que ces améliorations sont également dues à l'imagerie motrice en participant à modifier le mode de contrôle du mouvement qui serait devenu alors plus proactif. Il semblerait qu'elle anticipe davantage les gestes graphiques futurs. L'IM aurait donc eu un impact positif sur la programmation du geste à venir.

Intéressons nous maintenant à l'épreuve de jugement de latéralité qui a été réalisé avant et après le protocole. Les résultats concernant le taux de réussite ne montrent pas d'amélioration significative (une différence d'environ 3 points est observée soit seulement une seule bonne réponse de plus au retest). Par contre, le temps de réaction moyen lui a augmenté, et si on regarde de plus près le temps de réaction pour chaque dessin de main qui lui était présenté, on peut observer qu'il est plus important pour ceux présentant une main dans une position et dans un angle biomécaniquement inconfortable. Cela peut signifier qu'elle a utilisé implicitement l'IM pour répondre, en s'imaginant entrain de tourner sa main pour faire correspondre la position de sa propre main au modèle. Si c'est le cas, cela montrerait qu'elle s'est réellement approprié la technique d'IM.

Pour ce qui est de l'épreuve de chronométrie mentale, on pouvait voir lors de la phase de test que les mouvements réels suivaient la loi de Fitts mais que ce n'étaient pas le cas pour les mouvements imaginés. Par contre, une relative isochronie était relevée entre la plupart des mouvements réels et imaginés. On en avait conclu que l'application de ce protocole pouvait être pertinente. Les résultats ont été tout autre au retest. En effet, ni les mouvements réels ni les mouvements imaginés ne suivaient la loi de Fitts. Une équivalence temporelle pouvait être cependant relevée mais celle-ci n'étaient pas constante. Comment interpréter ces résultats qui sont finalement moins bon lors du retest ? On peut émettre l'hypothèse d'une fatigabilité plus importante le jour de cette épreuve qui entrainerait une variabilité des résultats, cette épreuve étant plutôt coûteuse cognitivement... Comme autre hypothèse, on peut aussi s'intéresser à la manière de réaliser cette épreuve. En effet, en observant le comportement de Manon au cours du test et du retest, je me suis rendue compte qu'il avait été différent : lors de la phase de test, quand elle devait imaginer le mouvement, elle réalisait beaucoup de mouvement oculaire, elle faisait le trajet avec ses yeux. Je me questionne donc sur sa façon d'imaginer l'action, a-t-elle vraiment senti le mouvement comme il était demandé dans la consigne, ou seulement fait un mouvement de va et vient avec ses yeux ? Avec du recul je pense que j'aurais peut-être dû plus insister sur cette consigne de « sentir comme si elle faisait vraiment le mouvement ». N'étant pas encore familiarisée avec la technique, elle n'a peut être pas su s'en saisir lors de cette première épreuve qui sollicitait l'IM... De ce fait, cela a peut être faussé les résultats du test, montrant une certaine isochronie entre les deux mouvements qui finalement n'étaient pas les mêmes (mouvement du bras pour la condition réelle, et mouvements oculomoteur en condition imaginée au lieu d'un mouvement uniquement imaginée). Ainsi, Manon a également réalisé une action motrice, sollicitant les muscles oculomoteurs cette fois, en condition imaginée. Par contre, lors de la phase de retest, ses mouvements oculaires n'étaient pas aussi marqués laissant supposer qu'elle a utilisé l'IM. Le fait que les mouvements réels et imaginés ne soit que partiellement équivalents temporellement peut laisser supposer que Manon a utilisé l'IM, se montrant alors plus lente dans la condition imaginée. A noter que cette lenteur a été observée lors des temps de séances où il lui était demandé d'écrire « dans sa tête ». Or d'après les études citées précédemment, cette lenteur est fréquemment retrouvée chez les sujets ayant un TAC.

La technique d'imagerie motrice a-t-elle eu des répercussions dans la vie quotidienne ? La maman de Manon nous a rapporté qu'elle mettait moins de temps dans certaines activités de la vie quotidienne notamment pour l'habillage. Cela pourrait-il être un des bénéfices de

l'utilisation de cette technique ? Ce transfert laisse supposer une généralisation à d'autres domaines de l'amélioration du contrôle moteur proactif. Il serait intéressant d'étudier plus précisément cette question du transfert d'apprentissage car finalement avec cette technique on s'intéresse à une seule compétence mais la portée de ce travail pourrait peut être s'avérer plus importante en travaillant de par son impact positif sur la représentation gestuelle et les modèles internes...

Un questionnaire sur la durée du protocole (que j'ai utilisé sur 10 séances) semble se poser ici. Peut-être que des séances supplémentaires aurait permis à l'enfant d'encore mieux s'approprier la technique, de mieux l'intégrer, de renforcer les modèles internes travaillés et ainsi améliorer d'autant plus le contrôle moteur proactif.

De plus, le fait de prolonger l'utilisation de cette technique aurait pu avoir un impact sur d'autres compétences en plus de l'habillage permettant ainsi un transfert d'apprentissage plus vaste.

Quels sont les avantages de cette technique au niveau de son application en clinique ? Nous avons pu voir tout au long de cet écrit les bénéfices que peut avoir cette technique et son intérêt dans l'amélioration des capacités motrices des enfants présentant un TAC. Mais ce qui est intéressant au niveau clinique, c'est son caractère adaptable. En effet, on peut l'adapter en fonction des compétences de l'enfant : par exemple, en complexifiant les exercices de timing prédictif ou en insistant sur les caractéristiques qui lui font défaut au départ (forme des lettres, liaisons...), le moduler en fonction de son état lors de la séance, en prolongeant le temps de méditation si l'enfant en éprouve le besoin en cas de fatigue par exemple.

Cette technique présente cependant des limites. Une des premières difficultés rencontrées est celle liée à la motivation. Ce protocole demande, selon moi, un investissement important de la part de l'enfant ainsi qu'une grande implication. J'ai pu le constater lorsque j'ai voulu essayer de le mettre en place auprès d'autres enfants dysgraphiques. En effet, je me suis heurtée à cette limite auprès d'un enfant ayant un TAC ainsi qu'un trouble déficitaire de l'attention âgé de 10 ans et 6 mois lors des épreuves de test. Dès les épreuves d'évaluation des capacités d'imagerie, il a fait preuve d'un manque d'implication. Cela s'est manifesté par des réponses au hasard lors de l'épreuve de jugement de latéralité ainsi que par des difficultés à intégrer la consigne de l'épreuve de chronométrie mentale malgré la répétition des consignes chez cet enfant qui n'a pas de problème de compréhension par ailleurs. J'ai voulu lui présenter à nouveau ces épreuves lors d'une autre séance pour être sûre qu'il ne s'agissait

pas d'un manque d'implication ponctuel, mais encore une fois cela n'a pas été fructueux. J'ai également tenté d'appliquer la technique auprès d'une enfant ayant un TAC qui était légèrement plus âgée (11 ans et 3 mois lors des épreuves du test). Elle n'était pas en demande d'amélioration de son écriture malgré la dysgraphie, de ce fait elle, ne voyait pas forcément l'intérêt d'un tel travail... Du fait de la lourdeur de ce protocole qui dure entre 30 et 45 minutes ainsi que de son caractère répétitif (puisque'il n'y a pas de grande variation entre les séances), je pense que la motivation et l'adhésion du patient sont des facteurs essentiels et nécessaires quant au choix d'utiliser ce protocole. Le fait que Manon soit désireuse d'améliorer son écriture et qu'elle soit très impliquée a été un facteur important dans les résultats obtenus.

Une autre condition qui paraît importante à prendre en compte quand on veut utiliser cette technique est celle des capacités mnésiques de l'enfant. En effet, le fait d'effectuer mentalement le geste graphique implique la mémoire. Le fait que Manon ait de bonnes capacités mnésiques a été aussi, sans doute, un facteur important.

Une autre limite est qu'il est difficile de savoir si l'enfant réalise réellement le mouvement en imagerie et s'il ressent réellement au niveau proprioceptif les sensations du mouvement inhibé étant donné le caractère interne de ce processus. Nous n'avons pas d'autre choix que de nous fier à la seule parole de l'enfant d'où à nouveau l'importance de sa motivation.

CONCLUSION

Le travail effectué dans le cadre de ce mémoire visait donc à appliquer auprès d'un enfant présentant un TAC, un protocole de rééducation de sa dysgraphie, en utilisant une technique innovante qu'est l'imagerie motrice. Ce protocole a montré son efficacité en entraînant une légère amélioration de la qualité de l'écriture chez Manon. On peut en conclure que Manon a su accéder à la technique, se l'approprier et la mettre en pratique. Ses très bonnes capacités verbales y ont sans doute contribué car elles lui ont permis de bien comprendre la technique.

Ce qui est intéressant avec ce protocole, c'est que l'on peut l'adapter en fonction des compétences de l'enfant et de sa progression. Ces modulations sont nécessaires pour permettre d'amener l'enfant vers une meilleure efficacité de ses capacités de représentation interne du mouvement.

Des séances supplémentaires auraient peut-être permis d'améliorer d'autant plus les compétences d'imagerie pour permettre à l'enfant de mieux l'intégrer.

Nous avons pu noter des progrès dans d'autres domaines d'habiletés motrices non travaillés en séance (exemple de l'habillage...), laissant supposer une généralisation de l'amélioration du contrôle proactif observé au niveau de l'écriture.

Nous avons pu voir aussi que la motivation avait un impact important sur l'implication de l'enfant pouvant ainsi avoir des répercussions évidentes sur l'efficacité de la technique fastidieuse.

À l'issue de ce travail, des questions nouvelles peuvent émerger : les bénéfices qui peuvent résulter de cette rééducation se maintiennent-ils à long terme ? Est-elle aussi efficace pour la rééducation de l'écriture auprès d'un enfant ayant un TAC léger qu'un TAC sévère ? On peut aussi s'interroger sur l'intérêt de cette technique auprès d'autres types de pathologies que l'on peut rencontrer en psychomotricité...

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., 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. (1995). Evaluation psychomotrice des dysgraphies. *Rééducation Orthophonique*, *33*, 181, 71-80.

Albaret, J.-M., & Chaix, Y. (2015). Trouble d'Acquisition de la Coordination (TAC). C'est quoi ? Et comment ça se soigne ? *Pédiatrie Pratique*, *265*, 1;5-6

Albaret, J. M., Kaiser, M. L., Soppelsa, R. (2013). Troubles de l'écriture chez l'enfant : Des modèles à l'intervention. De Boeck Solal.

Benoit, C., Soppelsa, R. (1996). Mise en pratique de l'analyse neuropsychologique de l'écriture dans la rééducation. *Evolutions psychomotrices*, *8*, 33, 113-117.

Caeyenberghs, K., Tsoupas, J., Wilson, P. H., & Smits-Engelsman, B. C. (2009). Motor imagery development in primary school children. *Developmental Neuropsychology*, *34*(1), 103-121.

Choudhury, S., Charman, T., Bird, V., & Blakemore, S. J. (2007). Adolescent development of motor imagery in a visually guided pointing task. *Consciousness and Cognition*, *16*(4), 886-896.

Decety, J. (1996). The neurophysiological basis of motor imagery. *Behavioural brain research*, *77*(1), 45-52.

Decety, J., & Jeannerod, M. (1995). Mentally simulated movements in virtual reality: does Fitt's law hold in motor imagery?. *Behavioural brain research*, 72(1), 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.

Decety, J., Jeannerod, M., & Prablanc, C. (1989). The timing of mentally represented actions. *Behavioural brain research*, 34(1), 35-42.

Decety, J., Michel, F. (1989). Comparative analysis of actual and mental movement times in two graphic tasks. *Brain and Cognition*, 11, 87-97.

Deuel, R. K. (1995). Developmental dysgraphia and motor skills disorders. *Journal of Child Neurology*, 10, 6-8.

Ferguson, G. D., Wilson, P. H., & Smits-Engelsman, B. C. M. (2015). The influence of task paradigm on motor imagery ability in children with Developmental Coordination Disorder. *Human movement science*, 44, 81-90.

Geuze, R. H. (2005). *Le trouble de l'acquisition de la coordination: évaluation et rééducation de la maladresse chez l'enfant*. Groupe de Boeck.

Grangeon, M., Guillot, A., & Collet, C. (2009). Effets de l'imagerie motrice dans la rééducation de lésions du système nerveux central et des atteintes musculo-articulaires. *Science & Motricité*, 67(2), 9-38.

Guilbert, J., Jouen, F., Lehalle, H., & Molina, M. (2013). Imagerie motrice interne et simulation de l'action chez l'enfant. *L'Année psychologique*, 113(03), 459-488.

Hamstra-Bletz, L., & Blöte, A. W. (1993). A longitudinal study on dysgraphic handwriting in primary school. *Journal of Learning Disabilities*, 26(10), 689-699.

Jackson, P. L., Lafleur, M. F., Malouin, F., Richards, C. L., & Doyon, J. (2003). Functional cerebral reorganization following motor sequence learning through mental practice with motor imagery. *Neuroimage*, 20(2), 1171-1180.

Jeannerod, M. (1994). The representing brain: Neural correlates of motor intention and imagery. *Behavioral and Brain sciences*, 17(02), 187-202.

Jeannerod, M. (1995). Mental imagery in the motor context. *Neuropsychologia*, 33(11), 1419-1432.

Jolly, C., Huron, C., Albaret, J. M., & Gentaz, E. (2010). Analyse comparative des tracés de lettres cursives d'une enfant atteinte d'un trouble d'acquisition de la coordination et scolarisée en CP avec ceux d'enfants ordinaires de GSM et de CP. *Psychologie française*, 55(2), 145-170.

Kaiser, M. L. (2009). Facteurs endogènes et exogènes influençant l'écriture manuelle chez l'enfant. *Thèse de doctorat de l'Université de Toulouse III*.

Lameira, A. P., Guimarães-Silva, S., Ferreira, F. M., Lima, L. V., Pereira Jr, A., & Gawryszewski, L. G. (2008). Hand posture and motor imagery: a body-part recognition study. *Brazilian Journal of Physical Therapy*, 12(5), 379-385.

Lebon, F. (2009). *Efficiencie du travail mental sur le développement et le recouvrement des capacités motrices: force musculaire et imagerie motrice* (Doctoral dissertation, Université Claude Bernard-Lyon I).

Lebon, F., Gueugneau, N., & Papaxanthis, C. (2013). Modèles internes et imagerie motrice. *Movement & Sport Sciences*, (4), 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.

Longcamp, M., Boucard, C., Gilhodes, J. C., & Velay, J. L. (2006). Remembering the orientation of newly learned characters depends on the associated writing knowledge: A comparison between handwriting and typing. *Human Movement Science*, 25(4), 646-656.

Lopez, E., Calmels, C., Naman, V., & Holmes, P. S. (2004). Le modèle du PETTLEP ou comment optimiser l'efficacité de l'imagerie mentale.

Lotze, M. (2013). Kinesthetic imagery of musical performance. *Frontiers in human neuroscience*, 7, 280.

Lotze, M., Flor, H., Grodd, W., Larbig, W., & Birbaumer, N. (2001). Phantom movements and pain An fMRI study in upper limb amputees. *Brain*, 124(11), 2268-2277.

Lotze, M., & Halsband, U. (2006). Motor imagery. *Journal of Physiology-Paris*, 99(4), 386-395.

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.

Molina, M., Tijus, C., & Jouen, F. (2008). The emergence of motor imagery in children. *Journal of experimental child psychology*, 99(3), 196-209.

Puyjarinet, F. (2015). Intérêt de l'imagerie motrice dans la rééducation de la dysgraphie chez l'enfant. In J.-M. Albaret, E. Martin & R. Soppelsa (Eds.), *Les entretiens de Psychomotricité 2015* (pp. 80-96). Toulouse : Europa Digital & Publishing.

Puyjarinet, F. (2016). L'imagerie motrice dans la rééducation de la dysgraphie: de la théorie à l'organisation de la pratique thérapeutique.

Reynolds, J. E., Thornton, A. L., Elliott, C., Williams, J., Lay, B. S., & Licari, M. K. (2015). A systematic review of mirror neuron system function in developmental coordination

disorder: Imitation, motor imagery, and neuroimaging evidence. *Research in developmental disabilities*, 47, 234-283.

Rosenblum, S., Dvorkin, A. Y., & Weiss, P. L. (2006). Automatic segmentation as a tool for examining the handwriting process of children with dysgraphic and proficient handwriting. *Human movement science*, 25(4), 608-621.

Rosenblum, S., & Livneh-Zirinski, M. (2008). Handwriting process and product characteristics of children diagnosed with developmental coordination disorder. *Human Movement Science*, 27(2), 200-214.

Rulleau, T., & Toussaint, L. (2014). L'imagerie motrice en rééducation. *Kinésithérapie, la Revue*, 14(148), 51-54.

Siaud-Facchin, J. (2014). Tout est là, juste là. *Paris: Odile Jacob*.

Sirigu, A., Duhamel, J. R., Cohen, L., & Pillon, B. (1996). The mental representation of hand movements after parietal cortex damage. *Science*, 273(5281), 1564.

Smits-Engelsman, B., Blank, R., Van Der Kaay, A. C., Mosterd-Van Der Meijs, R., Vlugt-Van Den Brand, E., Polatajko, H. J., & Wilson, P. H. (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. C. M., Niemeijer, A. S., Van Galen, G. P. (2001). Fine motor deficiencies in children diagnosed as DCD based on poor grapho-motor ability. *Human Movement Science*, 20, 161-182.

Smits-Engelsman, B. C., & Van Galen, G. P. (1997). Dysgraphia in children: Lasting psychomotor deficiency or transient developmental delay?. *Journal of experimental child psychology*, 67(2), 164-184.

Smits-Engelsman, B. C. M., & Wilson, P. H. (2013). Noise, variability, and motor performance in developmental coordination disorder. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 55(s4), 69-72.

Snel, E. (2012). Calme et attentif comme une grenouille. *La méditation pour les enfants... avec leurs parents*. Paris: Les Arènes.

Soppelsa R. Cours magistral sur l'écriture de 2^{ème} année de psychomotricité.

Spruijt, S., Jongma, M. L., van der Kamp, J., & Steenbergen, B. (2015). Predictive models to determine imagery strategies employed by children to judge hand laterality. *PloS one*, 10(5), e0126568.

Volman, M. J. M., Van Schendel, B. M., Jongmans, M. J. (2006). Handwriting difficulties in primary school children : a search for underlying mechanisms. *American Journal of Occupational Therapy*, 60, 451-460.

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 & 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), 135-159.

Wilson, P. H., Ruddock, S., Smits-Engelsman, B. C. M., 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., Thomas, P. R., & Maruff, P. (2002). Motor imagery training ameliorates motor clumsiness in children. *Journal of Child Neurology*, 17(7), 491-498.

Zesiger, P. (2003). Acquisition et troubles de l'écriture. *Enfance*, 55, 56-64.

Zwicker, J. G., Missiuna, C., Harris, S. R., & Boyd, L. A. (2011). Brain activation associated with motor skill practice in children with developmental coordination disorder: an fMRI study. *International Journal of Developmental Neuroscience*, 29(2), 145-152.

ANNEXE

Questionnaire d'évaluation de l'imagerie mentale (MIQ-RS)

Échelles d'évaluation

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
-------------------------	--------------------	--------------------------	---------------------------------	-----------------------	-----------------	----------------------

1. Position de départ : Debout, pieds joints, bras le long du corps.

Action : Montez votre genou aussi haut que possible afin de vous tenir sur une jambe. Le genou de la jambe levée doit être maintenu fléchi. Maintenant abaissez votre jambe jusqu'à ce que vous vous retrouviez en position pieds joints. Exécutez ces actions lentement.

Tâche Mentale : Prenez la position de départ. Essayez de vous sentir en train de faire le mouvement que vous venez d'exécuter sans le faire réellement. Maintenant, estimez la facilité ou la difficulté avec laquelle vous étiez capable de faire cette tâche mentale.

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
-------------------------	--------------------	--------------------------	---------------------------------	-----------------------	-----------------	----------------------

2. Position de départ : Assis, mettez votre poing fermé sur votre genou.

Action : Déplacer votre bras au-dessus de votre tête. Gardez votre bras tendu pendant le mouvement et le poing fermé. Ensuite baisser votre bras jusqu'à votre genou en maintenant le bras tendu et le poing fermé.

Tâche Mentale : Prenez la position de départ. Essayez de vous voir en train de faire le mouvement que vous venez d'exécuter avec une image aussi claire et vive que possible. Maintenant, estimez la facilité ou la difficulté avec laquelle vous étiez capable de faire cette tâche mentale.

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
-----------------------------	------------------------	------------------------------	---------------------------------	---------------------------	---------------------	--------------------------

3. Position de départ : Élevez latéralement (sur le côté) votre bras afin qu'il soit parallèle au sol, la paume vers le bas. Gardez celui-ci tendu, main ouverte.

Action : Déplacez votre bras parallèlement au sol jusqu'à ce qu'il soit directement devant vous. Gardez votre bras tendu pendant le mouvement et faites le mouvement lentement.

Tâche Mentale : Prenez la position de départ. Essayez de vous sentir en train de faire le mouvement que vous venez d'exécuter sans le faire réellement. Maintenant, estimez la facilité ou la difficulté avec laquelle vous étiez capable de faire cette tâche mentale.

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
-------------------------	--------------------	--------------------------	---------------------------------	-----------------------	-----------------	----------------------

4. Position de départ : Debout, pieds légèrement écartés, et vos bras complètement étendus au-dessus de votre tête.

Action : Lentement, fléchissez le haut du corps vers l'avant au niveau de la taille et essayez de toucher vos orteils avec le bout de vos doigts (ou si possible, touchez le sol avec le bout de vos doigts ou vos mains). Maintenant revenez à la position de départ en vous redressant avec les bras tendus au-dessus de votre tête.

Tâche Mentale : Prenez la position de départ. Essayez de vous voir en train de faire le mouvement que vous venez d'exécuter avec une image aussi claire et vive que possible. Maintenant, estimez la facilité ou la difficulté avec laquelle vous étiez capable de faire cette tâche mentale.

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

5. Position de départ : Mettez votre main devant vous à hauteur d'épaule comme si vous alliez pousser pour ouvrir une porte battante. Paume dirigée vers l'avant et vos doigts doivent être dirigés vers le haut.

Action : Étendez votre bras complètement comme si vous alliez pousser pour ouvrir la porte. Gardez vos doigts pointés vers le haut. Maintenant laissez la porte battante se refermer en ramenant votre bras et votre main vers vous en position de départ.

Tâche Mentale : Prenez la position de départ. Essayez de vous voir en train de faire le mouvement que vous venez d'exécuter avec une image aussi claire et vive que possible. Maintenant, estimez la facilité ou la difficulté avec laquelle vous étiez capable de faire cette tâche mentale.

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

6. Position de départ : Assis, mettez votre main sur votre genou. Feignez que vous voyez un verre d'eau sur une table juste devant vous.

Action : Inclinez vous vers l'avant, saisissez le verre et soulevez-le légèrement au-dessus de la table. Maintenant reposez- le sur la table et remettez votre main sur le genou.

Tâche Mentale : Prenez la position de départ. Essayez de vous sentir en train de faire le mouvement que vous venez d'exécuter sans le faire réellement. Maintenant, estimez la facilité ou la difficulté avec laquelle vous étiez capable de faire cette tâche mentale.

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

7. Position de départ : Votre main est le long du corps. Feignez qu'il y a devant vous une porte fermée.

Action : Inclinez vous vers l'avant et tendez le bras en avant, saisissez la poignée. Tirez celle-ci pour ouvrir la porte. Fermez maintenant doucement la porte, lâchez la poignée et ramenez votre main le long du corps.

Tâche Mentale : Prenez la position de départ. Essayez de vous sentir en train de faire le mouvement que vous venez d'exécuter sans le faire réellement. Maintenant, estimez la facilité ou la difficulté avec laquelle vous étiez capable de faire cette tâche mentale.

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

8. Position de départ : Debout, pieds joints, bras le long du corps.

Action : Montez votre genou aussi haut que possible afin de vous tenir sur une jambe. Le genou de la jambe levée doit être maintenue fléchi. Maintenant abaissez votre jambe jusqu'à ce que vous vous retrouviez en position pieds joints. Exécutez ces actions lentement.

Tâche Mentale : Prenez la position de départ. Essayez de vous voir en train de faire le mouvement que vous venez d'exécuter avec une image aussi claire et vive que possible. Maintenant, estimez la facilité ou la difficulté avec laquelle vous étiez capable de faire cette tâche mentale.

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

9. Position de départ : Assis, mettez votre poing fermé sur votre genou.

Action : Déplacer votre bras au-dessus de votre tête. Gardez votre bras tendu pendant le mouvement et le poing fermé. Ensuite baisser votre bras jusqu'à votre genou en maintenant le bras tendu et le poing fermé.

Tâche Mentale : Prenez la position de départ. Essayez de vous sentir en train de faire le mouvement que vous venez d'exécuter sans le faire réellement. Maintenant, estimez la facilité ou la difficulté avec laquelle vous étiez capable de faire cette tâche mentale.

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

10. Position de départ : Elevez latéralement (sur le côté) votre bras afin qu'il soit parallèle au sol, la paume vers le bas. Gardez celui-ci tendu, main ouverte.

Action : Déplacez votre bras parallèlement au sol jusqu'à ce qu'il soit directement devant vous. Gardez votre bras tendu pendant le mouvement et faites le mouvement lentement.

Tâche Mentale : Prenez la position de départ. Essayez de vous voir en train de faire le mouvement que vous venez d'exécuter avec une image aussi claire et vive que possible. Maintenant, estimez la facilité ou la difficulté avec laquelle vous étiez capable de faire cette tâche mentale.

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

11. Position de départ : Debout, pieds légèrement écartés, et vos bras complètement étendus au-dessus de votre tête.

Action : Lentement, fléchissez le haut du corps vers l'avant au niveau de la taille et essayez de toucher vos orteils avec le bout de vos doigts (ou si possible, touchez le sol avec le bout de vos doigts ou vos mains). Maintenant revenez à la position de départ en vous redressant avec les bras tendus au-dessus de votre tête.

Tâche Mentale : Prenez la position de départ. Essayez de vous sentir en train de faire le mouvement que vous venez d'exécuter sans le faire réellement. Maintenant, estimez la facilité ou la difficulté avec laquelle vous étiez capable de faire cette tâche mentale.

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

12. Position de départ : Mettez votre main devant vous à hauteur d'épaule comme si vous alliez pousser pour ouvrir une porte battante. Paume dirigée vers l'avant et vos doigts doivent être dirigés vers le haut.

Action : Étendez votre bras complètement comme si vous alliez pousser pour ouvrir la porte. Gardez vos doigts pointés vers le haut. Maintenant laissez la porte battante se refermer en ramenant votre bras et votre main vers vous en position de départ.

Tâche Mentale : Prenez la position de départ. Essayez de vous sentir en train de faire le mouvement que vous venez d'exécuter sans le faire réellement. Maintenant, estimez la facilité ou la difficulté avec laquelle vous étiez capable de faire cette tâche mentale.

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

13. Position de départ : Assis, mettez votre main sur votre genou. Feignez que vous voyez un verre d'eau sur une table juste devant vous.

Action : Inclinez vous vers l'avant, saisissez le verre et soulevez-le légèrement au-dessus de la table. Maintenant reposez le sur la table et remettez votre main sur le genou.

Tâche Mentale : Prenez la position de départ. Essayez de vous voir en train de faire le mouvement que vous venez d'exécuter avec une image aussi claire et vive que possible. Maintenant, estimez la facilité ou la difficulté avec laquelle vous étiez capable de faire cette tâche mentale.

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

14. **Position de départ** : Votre main est le long du corps. Feignez qu'il y a devant vous une porte fermée.

Action : Inclinez vous vers l'avant et tendez le bras en avant, saisissez la poignée. Tirez celle-ci pour ouvrir la porte. Fermez maintenant doucement la porte, lâchez la poignée et ramenez votre main le long du corps.

Tâche Mentale : Prenez la position de départ. Essayez de vous voir en train de faire le mouvement que vous venez d'exécuter avec une image aussi claire et vive que possible. Maintenant, estimez la facilité ou la difficulté avec laquelle vous étiez capable de faire cette tâche mentale.

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

RESUME

L'imagerie motrice, qui est définie comme l'accès conscient à la représentation d'un mouvement intentionnel pendant sa phase de préparation, est une technique qui connaît un essor important dans le domaine des sciences du mouvement. De nombreuses études ont montré ses effets positifs chez le sujet sain (comme les sportifs, les musiciens,...) et chez les sujets présentant certaines pathologies (comme les patients amputés du membre supérieur, les patients ayant été victimes d'un accident vasculaire cérébral...). Des recherches récentes ont montré que l'imagerie motrice pouvait aussi être efficace auprès des enfants ayant un Trouble de l'Acquisition de la Coordination (TAC) probablement en participant à l'amélioration du contrôle moteur proactif.

Ce mémoire présente donc l'utilisation d'un protocole d'imagerie motrice, déjà existant, pour la rééducation de l'écriture auprès d'une enfant dysgraphique ayant un TAC.

Mots clés : Imagerie motrice, dysgraphie, Trouble de l'acquisition de la coordination, contrôle moteur proactif.

ABSTRACT

Motor imagery, which is defined as conscious access to the representation of an intentional movement during its preparation phase, is a technique which has developed in the field of movement sciences. Many studies have shown its positive effects in healthy subjects (such as athletes, musicians, ...) and in subjects with some pathologies (such as upper limb amputees, stroke patients ...). Recent research has shown that motor imagery could also be effective with children with a Developmental Coordination Disorder (DCD) probably by participating in enhanced proactive motor control.

This paper presents the use of an already existing motor imagery protocol for the rehabilitation of writing with a dysgraphic child with a DCD.

Key words : motor imagery, dysgraphia, Developmental Coordination Disorder, proactive motor control.