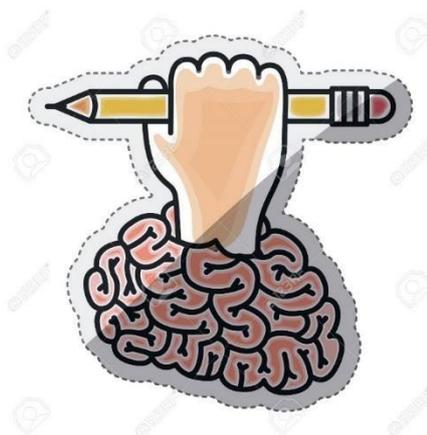


Utilisation de l'imagerie motrice en vue d'une amélioration de l'écriture d'une enfant TDA/H dysgraphique



Mémoire en vue de l'obtention du Diplôme d'Etat de Psychomotricien.

Table des matières

Introduction	1
PARTIE THEORIQUE	3
I. Troubles de l'écriture chez l'enfant	3
1. Définitions et modèles	3
a. La complexité de l'écriture.....	3
b. La stabilité de l'écriture.....	5
c. Les théories de l'apprentissage moteur.....	6
2. Développement de l'écriture	9
3. La dysgraphie	10
a. Définitions et critères.....	10
b. Ampleur du problème.....	11
c. Caractéristiques et évaluation de l'écriture dysgraphique.....	12
d. Techniques de rééducation de la dysgraphie.....	13
e. Les pathologies associées à la dysgraphie.....	13
II. Le TDA/H, une comorbidité de la dysgraphie	14
1. Généralités sur le TDA/H	14
2. Difficultés d'écriture chez l'enfant TDA/H	16
3. Substrats neurologiques impliqués dans la dysgraphie chez les TDA/H	17
III. L'imagerie motrice	18
1. Définitions	18

2.	L'imagerie motrice, une action simulée	19
	a. Caractéristiques biomécaniques du mouvement	19
	b. Caractéristiques temporelles du mouvement	20
	c. Caractéristiques neurophysiologiques du mouvement	20
	d. Caractéristiques neuroanatomiques du mouvement	21
3.	Modèles internes.....	21
	a. Contrôle du mouvement et modèles internes.....	21
	b. Description des modèles internes.....	22
	c. Théories de la simulation et liens avec l'imagerie motrice.....	23
4.	Développement de l'imagerie motrice chez l'enfant	25
5.	Imagerie motrice et plasticité cérébrale	26
	a. Efficacité dans le domaine sportif et musical.....	26
	b. Efficacité dans le cadre d'une pathologie.....	27
	IV. L'imagerie motrice, une technique de rééducation en psychomotricité	27
1.	Evaluation des capacités d'imagerie motrice	27
	a. Hand Rotation Task (HRT)/ Jugement de latéralité.....	28
	b. Movement Imagery Questionnaire- Revised Second Version (MIQRS).....	28
	c. Visually Guided Poited Task (VGPT).....	28
2.	Utilisation dans le cadre de troubles développementaux	30
	a. Intérêts et efficacité de l'utilisation de l'imagerie motrice auprès d'enfants présentant un Trouble Développementale de la Coordination (TDC).....	30
	b. Intérêt de l'utilisation de l'imagerie motrice dans le cadre d'un TDA/H associé au TDC.....	31

c. Utilisation de l'imagerie motrice dans la rééducation de la dysgraphie.....	32
3. Conditions de bonnes pratique de l'imagerie motrice	33

PARTIE PRATIQUE 36

I. Présentation d'Eloïse..... 36

1. Anamnèse d'Eloïse	36
2. Bilan psychologique (6 ans 2 mois, CP)	37
3. Bilan orthophonique (10 ans, CM1)	37
4. Bilan psychomoteur CMP (9 ans 5 mois, CM1)	38
5. Bilan psychomoteur actuel et tests d'imagerie motrice (10 ans 6 mois, CM2).....	38
a. Bilan psychomoteur	38
b. Bilan d'imagerie motrice	43
c. Conclusion générale du bilan psychomoteur et des tests d'imagerie motrice.....	46

II. Mise en place du protocole de rééducation 47

1. Réalisation du protocole	47
a. Entraînement au timing prédictif.....	48
b. Méditation pleine conscience.....	48
c. Observation de séquences vidéos.....	49
d. Imagerie motrice.....	49
e. Ecriture en réel.....	49
2. Choix des lettres et caractéristiques à travailler avec Eloïse	50
3. Déroulement et évolution des séances	51
a. Comportement général d'Eloïse au fil des séances	51

b. Timing prédictif	51
c. Méditation pleine conscience	51
4. Imagerie motrice et écriture	52
5. Autoévaluations	54
6. Conclusion	55
III. Adaptations mises en place auprès d'Eloïse	56
1. Rôle du psychomotricien concernant la prise en charge d'un enfant TDA/H.....	56
2. Adaptations mises en place.....	56
VI. Attentes de résultats	57
1. Hand Rotation Task (HRT)	58
2. Movement Imagery Questionnaire - Revised Second version (MIQ-RS)	58
3. Visually Guided Pointed Task (VGPT).....	58
4. BHK.....	59
Discussion	61
Conclusion.....	63
Bibliographie	65
Annexes	I
1. Critères diagnostics du TDA/H	I
2. Critères diagnostics du TDC.....	II
3. Movement Imagery Questionnaire (MIQ-R)	III
4. Hand Rotation Task (HRT)	IV
5. Visually Guided Pointed Task (VGPT)	IV
6. Autoévaluations.....	IV

Introduction

Aujourd'hui encore, à l'heure du numérique et du digital, l'écriture manuscrite demeure un acquis fondamental. Elle se situe en effet à la base de nombreuses productions, aussi bien scolaires que professionnelles. En tant qu'adultes, nous l'utilisons encore régulièrement : pour remplir un formulaire, pour prendre des notes, pour signer... (Kaiser 2009). Comme l'a décrit Page en 2018, l'écriture remplit de précieuses fonctions. Elle permet de garder une trace, de communiquer avec l'absent en transmettant un message (par une lettre par exemple), mais aussi de transmettre une image de soi (personnalité, émotion), de favoriser les apprentissages, ou encore de fixer sa pensée et participer à son élaboration.

L'écriture est cependant une habileté complexe qui nécessite un apprentissage long, en lien avec le développement de l'enfant. Les difficultés que peut rencontrer l'enfant au cours de cet apprentissage sont assez fréquentes. En effet, on compte à l'heure actuelle 5 à 27 % d'enfants dysgraphiques, dont le diagnostic est posé selon la qualité de l'écriture et la fréquence d'inscription (Soppelsa et *al.*, 2016).

La dysgraphie est fréquemment associée à d'autres troubles neurodéveloppementaux, tels que le Trouble Dévelopmental de la Coordination (TDC), le Trouble Déficit de l'Attention avec ou sans Hyperactivité (TDA/H) et les troubles spécifiques des apprentissages (Langage Ecrit et Mathématiques). Lorsque ces pathologies se surajoutent, les difficultés, notamment au niveau de l'écriture ont tendance à s'amplifier. En effet, dans le cadre d'un TDA/H, les déficits attentionnels et des fonctions exécutives peuvent affaiblir les performances graphiques.

Lorsqu'elles sont trop envahissantes, les difficultés d'écriture peuvent avoir d'importantes conséquences pour l'enfant au niveau scolaire, notamment lors de situations de double tâche (travail de composition demandant une réflexion tout en écrivant, prise de notes...). Il est donc indispensable de les prendre en charge afin d'optimiser les apprentissages de l'enfant.

Diverses techniques, décrites dans la littérature, ont soulevé une efficacité dans la rééducation des troubles de l'écriture chez l'enfant. Parmi elles, l'Imagerie Motrice (IM) a récemment fait ses preuves dans ce domaine. Empruntée au domaine de la psychologie du sport, cette technique s'est montrée prometteuse dans la rééducation des troubles moteurs, notamment auprès d'enfants avec un TDC. Il existe peu d'études réalisées auprès d'enfants dysgraphiques, mais son efficacité a tout de même été mise en évidence.

Au cours de mon stage en cabinet libéral, une enfant TDA/H s'est présentée avec une problématique au niveau de l'écriture. J'ai eu à cœur de me pencher sur son cas et de mettre en place auprès d'elle

une rééducation adaptée, permettant de pallier au mieux à ses difficultés. En me renseignant sur l'imagerie motrice, je me suis interrogée sur son intérêt en psychomotricité et son efficacité dans la rééducation de l'écriture.

Cela m'a conduit à la question suivante : Une rééducation de l'écriture dysgraphique d'une enfant TDA/H par un protocole basé sur l'imagerie motrice pourrait-elle se montrer efficace ?

Une première partie sera dédiée aux bases théoriques issues de la littérature. Dans un premier temps, nous aborderons l'écriture et ses troubles, à travers différents modèles théoriques, tout en définissant la dysgraphie. Ensuite, nous étudierons plus précisément les caractéristiques de l'écriture dysgraphique associée au TDA/H. Dans un second temps, nous nous concentrerons sur l'imagerie motrice, et nous expliquerons en quoi cette technique a sa place en rééducation psychomotrice.

Une deuxième partie sera consacrée au travail pratique réalisé auprès de cette patiente TDA/H et dysgraphique, Eloïse, âgée de 10 ans. Nous tenterons alors de répondre à la problématique posée après la mise en place d'un protocole précis de rééducation, basé sur l'imagerie motrice.

PARTIE THEORIQUE

I. Troubles de l'écriture chez l'enfant

En 1952, Gelb, définit l'écriture comme un « système de communication par signes visibles entre des individus » (Zesiger, 1995). Il s'agit d'un prérequis essentiel dans les activités de la vie quotidienne. Dès le début de nos études, le succès et l'échec se mesurent souvent en termes d'écriture soignée. (Saddon R., 1990, in Racine et *al.*, 2008). C'est pourquoi il s'avère important de prendre en charge la dysgraphie le plus tôt possible.

1. Définitions et modèles

a. La complexité de l'écriture *a1*.

Généralités

L'écriture, carrefour entre langage et motricité, est définie par Hamstra et Bletz (1993) comme un geste complexe, une « forme d'expression du langage qui demande une capacité à transcrire un message sur un support permanent, à l'aide d'un nombre limité de signes et d'une organisation intrinsèque de ceux-ci » (Albaret et *al.*, 2013). L'écriture manuscrite occupe une place centrale dans la scolarité de l'enfant et constitue, parallèlement à l'apprentissage de la lecture, un outil essentiel pour accéder aux connaissances, les organiser et les restituer. Elle combine des compétences linguistiques et motrices et, de ce fait, s'acquiert sur une longue période. Elle trouve son origine dans les premières manifestations graphomotrices (2 ans), pour rentrer progressivement dans les normes calligraphiques (entrée au primaire) avant de se personnaliser (fin primaire). Les troubles pouvant apparaître au cours de son apprentissage ont des répercussions multiples sur l'adaptation des enfants à l'école. En fonction des difficultés et de ses origines, une rééducation spécifique et individualisée pourra être proposée aux enfants (Albaret et *al.*, 2013).

L'écriture manuscrite est une tâche de synchronisation faisant appel à de nombreuses compétences : contrôle moteur fin, intégration visuomotrice, planification motrice, manipulation manuelle, proprioception, perception visuelle, attention soutenue, conscience sensorielle des doigts (Feder et Majnemer, 2007). De plus, l'écriture nécessite une « production rapide de formes graphiques de petites tailles et de fortes similarités spatiales » : vitesse et précision sont requises (Zesiger, 2003). Cette habileté possède deux fonctions principales, incluant une composante spatiale et une composante temporelle (Zesiger, 1995) :

- Elle véhicule un message entre un émetteur et un récepteur qui ne se trouvent pas dans le même espace
- Elle traverse le temps : « les écrits restent ».

a2. Facteurs influençants

La qualité et la vitesse de l'écriture sont soumises à des contraintes endogènes et exogènes (Kaiser, 2009).

Au niveau endogène, de nombreuses fonctions influencent la vitesse et la qualité de l'écriture, répertoriées par Albaret et *al.* (2013), à savoir :

- La dextérité manuelle : c'est la capacité à faire habilement et de façon contrôlée des manipulations avec le bras et la main sur des objets relativement gros (Albaret et Soppelsa, 1999).
- La dextérité digitale : elle implique des mouvements fins et dissociés des doigts, sans objet (opposition des doigts, séquentielle ou non) ou avec objet (manipulations dans la main).
- Les fonctions visuelles (Chaix et Albaret, 2013) avec :
 - Les fonctions perceptives définies par Irani en 2011 :
 - Les habiletés visuo-spatiales permettent le traitement de l'orientation visuelle ou de l'emplacement des objets dans l'espace.
 - Les habiletés visuo-perceptives permettent l'« analyse et la synthèse des informations visuelles pour la reconnaissance des objets ».
 - Les fonctions motrices :
 - L'intégration visuo-motrice est définie comme l'« intégration d'un ensemble d'éléments perçus visuellement en un tout cohérent par le biais d'une réponse motrice ».
 - Les habiletés visuo-constructives permettent l'« analyse et la synthèse des informations visuelles pour la reconnaissance des objets » (Irani, 2011).
- L'attention visuelle
- Le langage oral : contrairement à l'écriture, le langage oral est génétiquement programmé (Zesiger, 1995). Selon Fitzgerald et Shanahan (2000), langage écrit et langage oral partagent des points communs :
 - La méta-connaissance sur les règles de la communication : l'enfant connaît les fonctions du langage oral et du langage écrit
 - La signification des mots lus ou écrits, faisant appel au système sémantique dans les deux cas
 - La conscience phonologique
 - La grammaire et l'orthographe

- Et enfin les connaissances procédurales : accès à des informations utiles, capacité à se questionner...).

Les paramètres de l'écriture sont aussi soumis à des facteurs exogènes, comme le style d'écriture de l'enfant (script, cursif), le support utilisé, l'éclairage, les bruits environnants ou encore la position de l'enfant (Smith-Zuzovsky et Exner, 2004). La posture « idéale » pour une écriture de bonne qualité serait la posture ergonomique suivante : l'enfant est assis sur une chaise adaptée (stable, à une hauteur ajustée par rapport à la table), les pieds au sol, la table inclinée entre 7 et 10°, le bord de la table à hauteur du coude. Le dos de l'enfant est droit, son coude légèrement penché par rapport au bord de la table pour permettre la grande progression (rotation du bras sur l'épaule) et la petite progression (mouvements du poignet d'avant en arrière) (Penso, 1990, in Feder & Majnemer, 2007). Selon Soppelsa et ses collaborateurs (2016), plusieurs types de prise de l'outil scripteur sont possibles et efficaces. Elles n'ont aucun impact sur la qualité et sur la vitesse de production. Cependant, certaines prises sont inefficaces : celles qui ne sont pas stables et celles qui entraînent de la douleur. La stabilité est présidée par le tonus et par la précision.

a3. Influence contextuelle

La qualité graphique est aussi influencée par un effet de contexte. En effet, la forme d'une lettre dépend des lettres qui l'entourent dans le mot : on parle d'effet de position. L'effet de fréquence se manifeste au sein de digrammes ou de trigrammes dont les formes sont congruentes. Par exemple, la lettre « l » est tracée différemment dans le digramme « ln » et « nl », la liaison ne se faisant pas de la même manière. En 1993, Orliaguet et Boë (1993) parlent d'effet d'anticipation (en fonction de la lettre suivante) et d'effet consécutif (en fonction de la lettre précédente) (in Benoit et Soppelsa, 1996).

b. La stabilité de l'écriture

L'écriture est caractérisée par une certaine stabilité, au travers d'invariants spatio-temporels. Albaret et *al.* (2013) reprennent ces caractéristiques dans leur livre. En effet, quelle que soit la partie du corps utilisée (coude, main, bouche...), la trace possède les mêmes critères : on parle **d'équivalence motrice**, caractérisée par une invariance des effecteurs (Bernstein, 1947 ; Merton, 1972 ; Teulings & Schomaker, 1993).

De plus, l'écriture décrit un mouvement de durée invariable, l'**isochronie** : l'augmentation de la vitesse de réalisation du mouvement est proportionnelle à l'augmentation de la taille de l'écriture. On retrouve ce phénomène dans les tâches d'imagerie mentale (Decety 1992, in Perrin 2002). Viviani et

Terzuolo, (1982) décrivent le phénomène **d'homothétie temporelle** : la durée d'un trait reste constante malgré une modification de la taille ou de la vitesse. Enfin, lorsque la taille des lettres varie, les rapports géométriques entre les lettres sont maintenus : il s'agit de **l'homothétie spatiale**. En 1983, Viviani décrit la **loi puissance 2/3** : tous les tracés respectent une règle qui associe la courbure de la trajectoire et la vitesse tangentielle du mouvement, selon un rapport de 2/3. La vitesse diminue lors du tracé d'une courbe et augmente lors de traits rectilignes.

c. Les théories de l'apprentissage moteur *c1.*

Le modèle de Schmidt

L'écriture constitue l'une des habiletés les plus rapides de notre répertoire moteur lorsqu'elle est automatisée. Trop rapide pour être contrôlée par des feedbacks sensoriels, son mouvement nécessite en amont un contrôle moteur, via un programme moteur : « ensemble de commandes musculaires organisées avant qu'une séquence motrice commence et qui permet à l'ensemble des séquences d'être exécuté sans influence d'un feedback périphérique » (Keele, 1968, in Albaret et *al.*, 2013). En 1975, Schmidt propose un modèle comportant un « programme moteur généralisé » constitué de classes générales de mouvements. Ces derniers sont stockés en mémoire et activés à chaque fois que le type de mouvement est nécessaire à l'action. Le mouvement s'effectue selon un schéma de rappel, pour les mouvements rapides en « boucle ouverte » (lorsqu'il est automatisé) et selon un schéma de reconnaissance, pour les mouvements lents en « boucle fermée » (lors de l'apprentissage). Le schéma de rappel déclenche le mouvement en mettant en relation les conditions initiales, les spécifications de la réponse et les résultats effectifs. Le schéma de reconnaissance corrige les erreurs, contrôle le mouvement et estime les conséquences sensorielles prévisibles en les mettant en relation avec les conditions initiales et les résultats effectifs. Ces deux schémas sont utilisés dans la production écrite.

c2. Les modèles neuropsychologiques de l'écriture

Les modèles neuropsychologiques naissent à partir d'études cliniques réalisées auprès de patients cérébrolésés. En effet, certains, souffrant d'un trouble du langage oral peuvent avoir un langage écrit préservé, ou inversement. De plus, une fois le mouvement de l'écriture automatisé, l'individu est normalement capable de réaliser simultanément une activité relative au langage oral et une autre relative au langage écrit (écrire et parler) (Zesiger, 1995). Ces différentes observations mettent en évidence une indépendance entre langage oral et langage écrit, aussi appelée double dissociation. Ellis et Young (1988) et Van Galen (1991) élaborent alors des modèles constitués de modules : « ensemble

de sous-systèmes effectuant chacun une étape particulière du traitement de l'information (Siéoff, 2004, in Albaret et *al.*, 2013).

Ellis et Yong proposent en 1988 un modèle qui servira de référence à de nombreux auteurs (voir schéma ci-dessous). Ce modèle schématise les processus de reconnaissance et de reproduction du langage oral et du langage écrit à travers des voies neurologiques descendantes (SNC¹-muscle) et des voies neurologiques ascendantes (mouvement-SNC). Différents modules permettent de transposer par écrit un mot entendu ou lu.

Concentrons-nous sur les processus de transposition d'un mot lu en un mot écrit. Tout d'abord, au sein de la voie croisée de l'écriture, **l'analyse visuelle** permet d'identifier les lettres du mot écrit. Elle active le module « **lexique d'entrée visuelle** » permettant la reconnaissance des mots familiers. Ensuite, le système sémantique permet de donner un sens au mot lu et analysé.

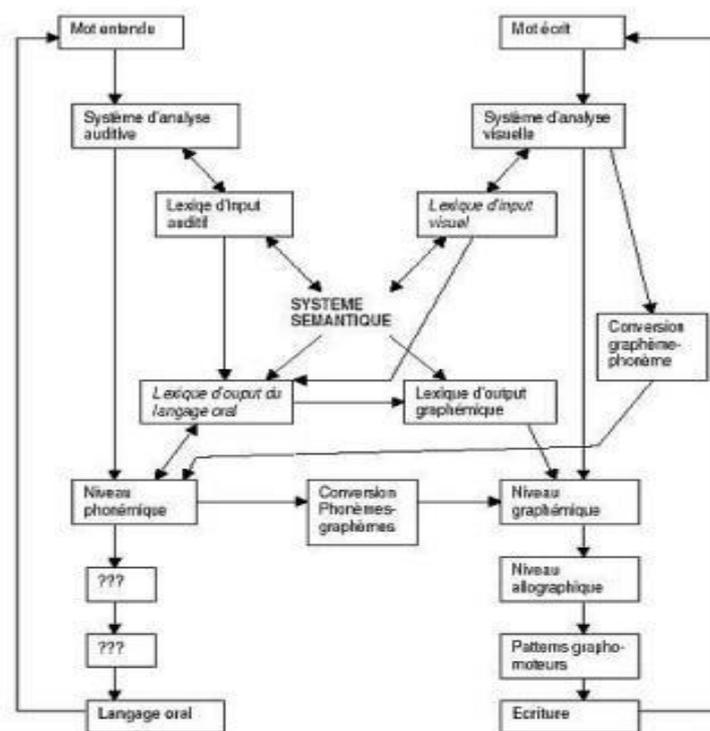
Les **buffers** sont par la suite sollicités (lexique de sortie graphémique) : le buffer graphémique stocke, en mémoire à court terme, les différentes unités graphiques et organise les lettres dans les mots. Le buffer allographique stocke, en mémoire à long terme, la forme des lettres, et définit ainsi le style de l'écriture (majuscule/minuscule, script/cursif...). Les informations de ces deux tampons sont synthétisées par le **pattern graphomoteur**, qui guide ainsi le programme moteur. Ce dernier peut alors prédire la direction, la séquence, la taille, l'organisation spatiale et la visuo-construction en vue de la réponse motrice : **l'écriture**.

La voix directe de l'écriture ne passe pas par le système sémantique : elle permet de copier un mot lu sans sa compréhension.

Alors que la composante motrice traduit les représentations orthographiques en écriture, la composante linguistique, elle, associe les mots à leur représentation graphémique (Adi-Japha et *al.*,

¹ Système Nerveux Central

2007). En d'autres termes, lorsqu'un mot est entendu, les phonèmes peuvent être convertis en graphèmes au niveau du buffer graphémique.



Modèle de la reconnaissance et de la reproduction du langage oral et du langage écrit

(Ellis et Young, 1988.)

En 1991, **Van Galen** complète le modèle d'Ellis en précisant les processus moteurs mis en jeu : des processus sériels et parallèles. Il propose un modèle du comportement d'écriture dans lequel les différents modules fonctionnent en hiérarchie, du centre vers la périphérie (voir schéma ci-dessous). Chaque sous-système traite l'information indépendamment des autres. Les modules intervenant dans

le contrôle moteur, les unités linguistiques et les différents types de mémoire travaillent simultanément.

Le contrôle moteur débute avec le module « sélection des allographes », lieu de stockage des différents allographes d'une même lettre (majuscule/ minuscule, script/ cursif...). Selon le style d'écriture choisi, le programme moteur de la lettre est alors activé dans la mémoire à long terme. Enfin, les unités motrices nécessaires à la production sont activées au niveau du module « ajustement musculaire ». L'intégration visuomotrice associe coordination oculo-manuelle et visuo-construction. Elle guide ainsi l'agencement des formes pour aboutir à l'écriture. Ce modèle ne prenant pas en compte les feedbacks sensoriels, il n'est pertinent que dans le cas où l'écriture est automatisée, à une vitesse rapide (en boucle ouverte).



Modèle de l'écriture manuelle de Van Galen (1991)

2. Développement de l'écriture

Contrairement au dessin, l'écriture résulte d'un enseignement obligatoire à l'entrée en classes préparatoires (CP). Cependant, des aspects développementaux constituent un prérequis indispensable. Le pré-graphisme permet de maîtriser l'outil scripteur. A 2 ans, l'enfant peut tracer un trait vertical.

A 2 ans et 6 mois, il maîtrise le trait horizontal, puis le cercle à 3 ans. Vers 4-5 ans, il peut reproduire les figures de base (Beer, 1989, in Albaret et *al.*, 2013). D'après des études réalisées par Adi-Japha et Freeman en 2001, les enfants de 4 ans ne différencient pas encore l'écriture du dessin : les mêmes circuits neuronaux sont activés. (Albaret et *al.*, 2013).

L'écriture évolue de façon discontinue avec des changements de stratégies. Vers l'âge de 6-7 ans, l'apprentissage est axé sur la formation des lettres et leur assemblage en mots. Il s'agit d'un contrôle rétroactif, basé sur la vision : l'enfant se corrige au cours de la production à l'aide d'un contrôle permanent. La vitesse du mouvement est donc saccadée. Il s'agit d'un mouvement en boucle fermée (rétroactif). Vers 7-8 ans s'opère une amélioration de la forme des lettres, de l'alignement et de l'espacement entre elles, avec un tracé plus fluide. Vers 9 ans, on observe une régression au niveau de la vitesse et de la fluidité. Cela résulterait, selon Vinter et Zesiger (2008), d'une centration privilégiée sur l'aspect qualitatif de la production. La forme des lettres se stabilise et la vitesse progresse vers 10 ans. Vers 11-12 ans, l'enfant personnalise son écriture, automatisée grâce à la mise en place du programme moteur. Ce dernier permet à l'enfant de produire des mouvements rapides sans porter une attention accrue à la forme des graphèmes. On parle alors de mouvement en boucle ouverte (proactif), qui se met en place dès 10 ans (Albaret et *al.*, 2013). L'organisation spatiale dans la page et les composantes topocinétiques, caractéristiques spatiales générales de l'écritures (barre du « t » ou point du « i »), nécessitent un contrôle rétroactif tout au long de la vie (Paillard, 1990, in Chartrel et Vinter, 2006.)

Des feedbacks extéroceptifs (vision) et proprioceptifs sont utilisés par l'enfant au cours de sa production. La vision contrôle l'agencement spatial sur la ligne et le déroulement de la séquence des traits au sein d'un mot. La proprioception permet de contrôler la forme des lettres et d'automatiser le geste. En effet, tenir le stylo et le guider sur le papier nécessite la prise en compte des signaux sensoriels au niveau de la peau, des articulations et des muscles de la main (Hepp-Reymond et *al.*, 2009).

3. La dysgraphie

a. Définitions et critères

Différentes dénominations sont utilisées pour caractériser les difficultés d'écriture manuelle : écriture manuelle non performante, troubles de l'acquisition de la graphomotricité, faible écriture manuelle et dysgraphie développementale (Volman et *al.*, 2006, in Albaret et *al.*, 2013).

En 1974, Ajuriaguerra définit la dysgraphie comme une « atteinte de la qualité et/ou de la vitesse de production de l'écriture en l'absence de trouble neurologique ou intellectuel » (Puyjarinet, 2019).

Les difficultés d'écriture touchent environ 5 à 27 % des enfants en âge scolaire, selon les différents critères d'évaluation : âge considéré, critères retenus, outils d'évaluation utilisés (Smith-Engelsman et *al.*, 2001, in Soppelsa et *al.*, 2016). Face à la complexité des processus psychomoteurs mis en jeu dans la dysgraphie, son étiologie est floue.

Les troubles de la graphomotricité ne sont présents dans aucune classification en tant que syndrome à part entière, mais sont associés à d'autres troubles. Le DSM IV-TR (2000) classe les « troubles de l'expression écrite » parmi les troubles des apprentissages, mais seuls l'orthographe et la syntaxe sont pris en compte. L'écriture illisible y est associée au Trouble d'Acquisition de la Coordination (TAC). Le DSM-5 (2013) classe « écriture lisible et fluide » dans les troubles spécifiques des apprentissages, comprenant les troubles de la lecture, de l'expression écrite et du calcul. L'European Academy of Childhood Disabilities considère les « enfants avec trouble de l'écriture » comme appartenant à une sous-catégorie du Trouble Développementale de la Coordination (EACD Blank et *al.*, 2012, in Puyjarinet, 2019).

Albaret propose en 2013 les critères suivants concernant le Trouble de l'Acquisition de la Graphomotricité :

1. Les réalisations en écriture, évaluées par des tests standardisés passés de façon individuelle mesurant la qualité et la fréquence de l'écriture, sont nettement en dessous du niveau escompté compte tenu de l'âge chronologique du sujet, de son niveau intellectuel, de son niveau de développement psychomoteur général et d'un enseignement approprié à l'âge. Cela peut se traduire par une écriture lente, illisible, comportant des ratures et des formes de lettres irrégulières et variables, un geste manquant de fluidité et de régularité.
2. La perturbation décrite dans le critère 1 interfère de façon significative avec la réussite scolaire ou les activités de la vie courante faisant appel à l'écriture.
3. La perturbation n'est pas due ni à une affection médicale générale (par ex., infirmité motrice cérébrale, hémiplégie ou dystrophie musculaire), ni à un trouble de l'acquisition de la coordination.

b. Ampleur du problème

Les élèves consacrent 31 à 60 % de leur journée scolaire à l'écriture et autres tâches de motricité fine (Feder & Majnemer, 2007). Une mauvaise écriture est susceptible d'engendrer des effets négatifs sur la réussite scolaire, sur l'estime de soi et sur la motivation de l'enfant, pouvant ainsi créer un obstacle

dans la réalisation d'autres compétences du niveau supérieur (compositions, prises de notes, apprentissages, rejet du travail en groupe...).

De plus, l'écriture est le moyen principal d'évaluation des connaissances acquises par les élèves. Selon une étude de Hughes et *al.* (1983) auprès d'étudiants, des copies mal écrites sont notées plus sévèrement.

Les exigences concernant l'écriture évoluent au fil des années scolaires. A l'école primaire, l'écriture a pour première utilisation des fins de communication. Elle est à prendre en charge durant ces années car les attentes ne sont ensuite pas les mêmes. Au collège, l'écriture prend place dans la composition, l'organisation du discours : il s'agit d'écriture spontanée. Au lycée et à l'université, la production est davantage formelle. L'écriture possède des fins de mémorisation, de production de la pensée et s'avère primordiale dans l'évaluation des capacités de l'élève/étudiant. Enfin, les enfants présentant des difficultés d'écriture seront ralentis par la contrainte de double tâche : ils devront porter attention à la forme de leurs lettres tout en se concentrant sur les autres exigences de la tâche : grammaire, orthographe, contenu... (Berniger et *al.*, 1997, in Kaiser 2009).

c. Caractéristiques et évaluation de l'écriture dysgraphique

Caractéristiques : plusieurs auteurs se sont penchés sur les caractéristiques d'une faible écriture manuelle. Les difficultés se retrouvent dans la qualité et dans la vitesse de l'écriture, avec principalement un manque de lisibilité. D'après une étude réalisée auprès d'un groupe d'enfants dysgraphiques et d'un groupe d'enfants contrôle, Simmer et Eidmütz retiennent quatre erreurs appuyant l'absence de stabilité (in Albaret et *al.*, 2013) :

- Distorsion de la forme générale des lettres
- Non-respect de la taille relative des parties des lettres
- Espace irrégulier entre les lettres
- Mots serrés au sein de la phrase.

Selon Graham et *al.* (2006), des lettres retouchées sont souvent retrouvées, témoignant d'un manque de stabilité du programme moteur (Kaiser 2009). On retrouve aussi des angles aigus dans la formation des lettres ou au niveau des liens entre les lettres (Karlsdottir et Stefansson, 2002, in Kaiser 2009), et des erreurs d'alignement des lettres (Resenblum et *al.*, 2006, in Kaiser 2009).

Cette instabilité peut aussi se rendre évidente au niveau cinématique, avec des accélérations de la trace et des pics de vitesse (Bernhardt, 2005 in Albaret et *al.*, 2013).

Plusieurs auteurs ont proposé une classification des différents types de dysgraphie. En 1992, Sandler et al. en définissent 4 :

- La dysgraphie avec trouble du langage et trouble de la motricité fine sous-tendrait une mémoire immédiate perturbée.
- La dysgraphie avec déficits visuo-spatiaux se caractérise par des lettres mal formées et une organisation spatiale altérée.
- La dysgraphie avec troubles de l'attention et de la mémoire est accompagnée de troubles de la lecture, de l'orthographe et de la phonation.
- Enfin, la dysgraphie avec troubles séquentiels se manifesterait par une écriture manuelle préservée mais une production de lettre peu automatisée.

D'autres auteurs ont de même décrit des classifications en regroupant différentes caractéristiques (Gaddes et Edgell, 1994, Brown et Minns, 1999).

La dysgraphie est donc un trouble hétérogène, qui se manifeste à travers divers tableaux.

Evaluation : Aujourd'hui, le principal outil d'évaluation de l'écriture de l'enfant utilisé est l'échelle d'évaluation rapide de l'écriture chez l'enfant (BHK). Cette dernière a été créée en 1987, inspirée de deux autres échelles, les échelles D et E d'Ajuriaguerra (1964). Une version française a été étalonnée par Charles et *al.*, en 2003. Ce test consiste à faire copier aux enfants un texte pendant 5 minutes. 13 critères permettent d'évaluer la qualité de l'écriture chez l'enfant scolarisé entre le CP et le CM2 et 9 critères chez le collégien. Ainsi, le BHK contribue à une identification précise du type de difficulté de l'enfant. La vitesse d'écriture est évaluée selon le nombre de caractères écrits en 5 minutes. (Albaret et *al.*, 2013).

d. Techniques de rééducation de la dysgraphie

Bien que les compétences déficitaires puissent se normaliser naturellement dans certains cas, les études montrent qu'une intervention est souvent nécessaire auprès des enfants dysgraphiques (Hamstra-Bletz et Bloite, 1993, in Smits-Engelsman et Galen, 1997). Il existe différentes approches dans la rééducation des troubles de l'écriture. Les techniques orientées sur la tâche sont majoritairement utilisées, pour preuve d'efficacité.

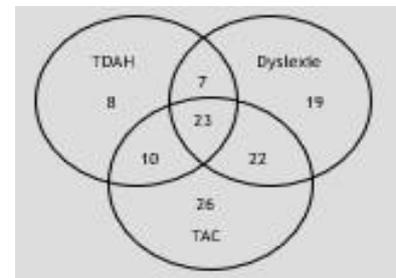
Parmi ces méthodes se trouvent les thérapies neuromotrices (Neuromotor Task Training, NTT) qui s'inspirent des théories sur le contrôle moteur. Ces dernières présentent à la fois un versant psychologique, centré sur la peur de l'échec, sur le trouble attentionnel, sur le manque de motivation et sur les difficultés de compréhension, et un versant centré sur le contrôle moteur : planification,

anticipation, organisation de la séquence motrice (Schoemaker M.M., Niemeijer A.S., Reynders K. & Smits-Engelsman B.C.M., 2003, in Soppelsa et *al.*, 2016).

De plus, il existe les rééducations cognitives et métacognitives de type cognitivo-comportementales, comme la méthode Jongmans. L'enfant est invité à produire des lettres plusieurs fois puis à juger lui-même de la qualité de sa production (Jongmans et *al.*, in Puyjarinet, 2019). Graham et *al* (2005, 2016) ont mis en place un dispositif basé sur l'enseignement explicite de stratégies (Self-Regulated Strategy Development, SRSD). L'enfant est amené à prendre plaisir dans la production graphique (par l'analyse d'exemples dans la littérature, de création de scénarios...) (Soppelsa et *al.*, 2016). L'imagerie motrice a aussi montré des preuves d'efficacité dans l'amélioration des troubles de l'écriture (Puyjarinet 2016, 2019). Cette méthode sera détaillée dans les parties qui suivent.

e. Les pathologies associées à la dysgraphie

La dysgraphie est présente dans de nombreuses pathologies. Elle peut être la conséquence d'une pathologie, et donc un symptôme de cette dernière, ou en être une comorbidité. On peut la retrouver, par exemple, dans la neurofibromatose de type 1 (NF1), la dystonie, le trouble du spectre autistique (TSA), ou encore la paralysie cérébrale. Mais les principaux troubles associés à la dysgraphie sont les troubles de la communication, la dyslexie, le Trouble Dévelopmental de la Coordination (TDC) et le Trouble Déficit de l'Attention avec ou sans Hyperactivité (TDA/H) (Albaret et *al.*, 2013). Environ la moitié des enfants TDC ont des difficultés d'écriture (Biotteau et *al.* 2019). Ces enfants présentent généralement un trouble de coordination fine qui impacterait ainsi l'écriture.



Harvey et Henderson (1997), ou encore Simmer (1997)

considèrent la dysgraphie comme facteur prédictif des troubles des apprentissages (Kaiser 2009).

D'après le modèle du développement atypique de Kaplan et *al.*, (1998), les troubles neurodéveloppementaux sont fortement intriqués. Une association entre TAC (Trouble de l'Acquisition des Coordination, ancien terme du TDC), TDA/H et dyslexie aurait lieu dans 23% des cas. La dysgraphie se surajoute à ces troubles. De plus, selon le rapport de l'expertise collective Inserm de 2019 (Albaret et *al.*) les associations de troubles neurodéveloppementaux existent dans 15 à 20 % des cas dans la population générale. Les enfants avec des difficultés associées sont souvent plus impactés que ceux avec des difficultés isolées.

II. Le TDA/H, une comorbidité de la dysgraphie

1. Généralités sur le TDA/H

Le TDA/H est un problème de santé publique majeur. En effet, il regroupe 3,5 à 5,6 %² de la population en France, et il entraîne de nombreuses complications. Son étiologie, difficile à définir, fait du TDA/H une pathologie d'origine multifactorielle. Il existe des facteurs de risque physicochimiques, psychosociaux ou encore génétiques qui, surajoutés, amplifient le risque d'être atteint. Ce trouble est caractérisé par une triade symptomatique : Inattention, Hyperactivité, Impulsivité

(DSM IV, APA, 1994). (in Giromini, Albaret, Scialom, 2015).

L'attention, très fortement impliquée dans l'écriture (notamment l'attention visuelle, citée précédemment) est constituée, selon le modèle de Van Zomeren et Brouwer (1994) de :

- L'alerte : capacité à réagir rapidement à un événement, état se trouvant entre la conscience et l'attention.
- La vigilance : capacité à maintenir son attention dans le temps dans une situation comportant peu de stimuli à traiter
- L'attention soutenue : capacité à maintenir son attention dans le temps dans une situation nécessitant un effort cognitif important

-
- L'attention sélective : capacité à sélectionner une information parmi des distracteurs.
 - L'attention divisée : capacité à se focaliser sur plusieurs tâches simultanément.

Le modèle à deux voies de Sonuga-Barke (2003) est l'un des modèles les plus récents et les plus complets décrivant la physiopathologie du TDA/H. Il réunit le modèle de Barkley (1997) et le modèle de Sonuga-Barke et *al.*, (1992) en proposant deux voies (Habib, 2011) :

↳ **La voie correspondant au déficit du contrôle moteur :**

Elle se manifeste par une dysrégulation cognitive et comportementale, se traduisant par un déficit des fonctions exécutives. Ces dernières permettent de « réaliser et de contrôler les comportements orientés vers un but, particulièrement lorsque le sujet doit s'adapter à une situation nouvelle ou complexe. »

² Chiffres obtenus par Lecendreux et l'Association HyperSuper (2010) au travers d'une enquête téléphonique sur un échantillon de 1012 foyers, se basant sur le DSM-IV-TR (APA, 2004).

(Goldstein et Naglieri, 2014) : mémoire de travail, contrôle de l'inhibition, flexibilité cognitive, planification...

Le modèle de l'inhibition de Barkley (1997) considère le défaut d'inhibition comportementale comme étant responsable d'un déficit au niveau des fonctions exécutives, décrites selon les théories de Bronowski (1977), Fuster (1989) et Damasio (1995) (in Marquet-Doléac et *al.*, 2006).

Ces déficits réduisent, selon Barkley (1997), le contrôle moteur, la fluence et la syntaxe.

↳ **La voie correspondant au « style motivationnel » :**

Cette voie reprend le modèle de l'aversion du délai de Sonuga-Barke (1992). Ce modèle propose deux situations. Lorsque le délai est imposé, l'enfant TDA/H a tendance à se détourner vers l'environnement extérieur à la tâche pour échapper au caractère insupportable de l'attente (inattention), ou à s'auto-stimuler par de l'agitation (hyperactivité). Lorsqu'il a le choix du moment de la réponse, l'enfant TDA/H a tendance à réduire au maximum le délai (impulsivité) (Albaret et *al.*, 2011).

En somme, selon le modèle à deux voies de Sonuga-Barke, inattention, hyperactivité et impulsivité seraient le résultat du dysfonctionnement exécutif (déficit de l'inhibition) et de l'intolérance au délai (Bioulac, 2011).

Sonuga-Barke et *al.* proposent une troisième voie en 2010, correspondant à un déficit du traitement des informations temporelles. Cette composante est mesurée par une épreuve de continuation (synchronisation d'une frappe digitale avec un signal auditif périodique), la discrimination des durées et l'anticipation-coïncidence. Les enfants TDA/H pourraient présenter un déficit dans une seule voie, ou en combiner 2 voire les 3 (Albaret et *al.*, 2011).

Comme les autres troubles neurodéveloppementaux, le TDA/H est très souvent sujet à des troubles associés, dans 25 à 50 % des cas. Il s'agit généralement de troubles des apprentissages comme la dyslexie, la dyscalculie, la dysorthographe et la dysgraphie (Barkley, 1997, in Adi-Japha et *al.*, 2007).

2. Difficultés d'écriture chez l'enfant TDA/H

Parmi les enfants TDA/H, 50% ont des déficits au niveau moteur (Barkley, 1998, in Racine et *al.*, 2008). De plus, on estime qu'environ 60 % ont des difficultés en graphomotricité (graphisme et écriture). Selon Capodieci et *al.* (2018), l'écriture dégradée des enfants TDA/H présente des caractéristiques spécifiques : des additions, des omissions, des substitutions, des transpositions de lettres et de nombreuses corrections. Les agencements spatiaux sont irréguliers, certaines lettres sont

méconnaissables et la taille des lettres est instable. Bien évidemment, ces critères varient d'un enfant à l'autre.

Les difficultés rencontrées en lien avec la symptomatologie du TDA/H peuvent avoir un impact important sur la qualité graphique. Roy (2015) met l'accent sur les lacunes au niveau des fonctions suivantes : planification, organisation, coordination d'actions en séquences, automatisation, acquisition de gestes complexes au cours de l'apprentissage de tâches motrices. Ces perturbations sont susceptibles d'altérer la fluidité de l'écriture, de par la complexité de cette dernière, décrite précédemment. Selon Roy, la question d'un déficit axé sur les fonctions exécutives ou sur le geste peut alors se poser.

Les difficultés motrices sont davantage présentes chez les enfants TDA/H de sous-type inattention (Cohen et *al.*, 2019). En effet, l'**inattention** a une influence négative sur certaines des fonctions citées ci-dessus et sur la l'écriture. L'analyse visuelle, par exemple, première étape du processus de reproduction d'un mot écrit dans le modèle de Ellis et Young (1988), peut être mise à mal par les déficits attentionnels (Massé, 2012).

Le **déficit de planification**, lui, a des répercussions dans l'organisation, la production et la transcription des idées (Re et *al.*, 2007). Il s'agit ici non seulement d'un frein à l'expression écrite, mais aussi dans l'organisation des lettres les unes par rapport aux autres. De plus, l'écriture des enfants TDA/H est souvent dégradée par des corrections excessives et des lettres de taille démesurée, empêchant parfois les enfants de respecter le temps imparti à leur rédaction (Adi Japha, 1997).

Enfin, les enfants TDA/H exercent souvent une pression inappropriée sur leur stylo, altérant la fluidité de la trace et engendrant un manque de coordination visuo-motrice. Une mauvaise cinématique motrice serait à l'origine d'une modification du paramétrage de la force, du rythme d'écriture et de la taille des lettres : l'acquisition de l'automatisme est alors perturbée (Smith-Engelsman et Van Galen, 1997; Adi-Japha et *al.*, 2007). Ces difficultés peuvent être mises en relation avec un **pattern moteur inadapté**.

Plusieurs auteurs mettent en évidence un **déficit de la mémoire de travail** dans la dégradation de l'écriture. C'est le cas de Capodieci, Lachina et Cornoldi (2018). De même, en 2007, Adi Japha et *al.* réalisent une étude portant sur les caractéristiques dysgraphiques d'enfants TDA/H, dont la lecture ne pose pas de problème : le traitement linguistique n'est donc pas à l'origine de la dysgraphie chez les enfants choisis. Selon cette étude, les enfants TDA/H présenteraient un **dysfonctionnement du**

tampon graphémique, s'expliquant par un déficit de la mémoire de travail (voir modèle de Ellis et Young, partie 1.c2). Or, dans l'écriture, la mémoire de travail « permet de garder à l'esprit toutes les informations conceptuelles et linguistiques nécessaires pour produire une phrase, tout en surveillant ce qui est écrit » (Molitor et *al.*, 2016, in Capodieci et *al.*, 2018). Cette perturbation se manifeste par l'écriture spécifique décrite au début de cette sous-partie.

Enfin, les copies d'enfants TDA/H sont souvent sujettes à de nombreuses fautes d'orthographe : celles-ci peuvent s'expliquer par le déficit attentionnel, mais aussi par une correspondance inadéquate entre phonème et graphème, impliquant la mémoire de travail verbale et visuelle, affectée dans le TDA/H (Smits-engelsman & Galen, 1997).

Concernant la vitesse d'écriture, les auteurs trouvent des résultats contradictoires. Pour certains (Brossard-Racine et *al.*, 2008 ; Shen et *al.*, 2012), la trace est plus rapide (in Capodieci et *al.*, 2018), tandis que pour d'autres (Adi Japha et *al.*, 2007), les enfants TDA/H mettent plus de temps à cause des nombreuses corrections.

En conclusion, les particularités présentées dans la symptomatologie du TDA/H peuvent avoir une influence sur leur écriture. Plusieurs hypothèses sont proposées par différents auteurs. Les causes semblent finalement intriquées, et il est difficile d'en pointer une seule à l'origine des caractéristiques d'une telle écriture. Une perturbation de la mémoire de travail, et donc du tampon graphémique rejoint l'hypothèse d'un dysfonctionnement au niveau des sous-unités du programme moteur.

3. Substrats neurologiques impliqués dans la dysgraphie chez les TDA/H

Certaines zones cérébrales impliquées dans l'écriture sont altérées dans le TDA/H. Adi-Japha (2007) et ses collaborateurs en énumèrent quelques-unes, tirées de recherches antérieures. Selon Seidman et *al.*, (2005), le cortex prémoteur et le cervelet droit en font partie. Le cortex prémoteur gauche serait impliqué dans la récupération d'images de lettres à partir de phonèmes donnés (Tohgi et *al.*, 1995). Le cervelet, lui, joue un rôle dans les compétences visuomotrices et dans la composante non linguistique de l'écriture. Un dysfonctionnement cérébelleux peut donc en partie expliquer les nombreuses variations de la taille des lettres (Langmaid et *al.*, 2014). Habib (2011) relève lui aussi des altérations au niveau du cervelet des enfants TDA/H, affaiblissant la rapidité et l'efficacité du traitement du signal. Docking et *al.* (2003) ajoutent que ce dernier, étant richement connecté au cortex prémoteur, pourrait avoir un rôle dans l'orthographe et dans l'automatisation.

III. L'imagerie motrice

1. Définitions

L'imagerie motrice a suscité l'intérêt de nombreux chercheurs ces dernières années. Alors que Stricker supposait déjà des liens entre les processus impliqués dans l'action et dans la simulation mentale, c'est dès les années 1900 que Ribot donne une première définition de l'imagerie motrice : « En termes psychologiques, c'est la reviviscence spontanée ou provoquée de sensations kinesthésiques simples ou complexes éprouvés antérieurement. En termes physiologiques, c'est l'excitation des zones corticales (quelles qu'elles soient) où aboutissent les sensations du mouvement. Ces images ne peuvent être que des mouvements qui commencent, mais restent internes, sans se réaliser en mouvement objectif » (in Guilbert et *al.*, 2013).

En 1995, Jeannerod définit plus précisément l'imagerie motrice, comme un « état cognitif dynamique permettant l'accès conscient de la représentation d'un mouvement intentionnel, réalisé habituellement de manière non consciente pendant la préparation d'un mouvement ». Autrement dit, il s'agit de s'imaginer en train de réaliser un mouvement, tout en simulant les caractéristiques proprioceptives ou temporelles. Cela permettrait déjà de tirer profit des informations sensorielles simulées pour optimiser le contrôle réel de ce mouvement (Jeannerod, 1995).

D'autres auteurs ont récemment repris cette définition avec d'autres termes, comme Puyjarinet qui la cite ainsi dans son article en 2016 : il s'agit d'un « état cognitif dynamique de simulation interne d'un mouvement à partir d'une perspective égocentrée », permettant d'accéder à une représentation interne d'un mouvement et de ses caractéristiques spatiales, temporelles, proprioceptives et kinesthésiques pendant sa phase de préparation. Tout cela se fait sans qu'aucun mouvement ne soit exécuté.

Puyjarinet (2015) différencie l'imagerie visuelle, externe, ou imagerie mentale, de l'imagerie kinesthésique, interne. Au cours de l'imagerie visuelle, la personne voit le mouvement à faire, d'un point de vue allocentrée, à la troisième personne, tandis qu'au cours de l'imagerie kinesthésique, elle ressent le mouvement, dans une perspective égocentrée, à la première personne. Il s'agit de l'imagerie motrice.

Il n'y a donc pas de consensus concernant la définition d'imagerie motrice, mais de multiples façons de la définir.

2. L'imagerie motrice, une action simulée

L'IM partage une base neurale commune avec l'action réelle, et préserve ainsi des caractéristiques de cette dernière (Berthoz 2008, in Puyjarinet 2015). De ce fait, il existe de nombreuses corrélations entre les caractéristiques d'un mouvement réalisé et d'un mouvement imaginé, mises en évidence par plusieurs auteurs, cités dans les paragraphes qui suivent.

Jeannerod (2001) parle d'un « continuum fonctionnel entre action réelle et imaginaire » (Puyjarinet, 2015).

a. Caractéristiques biomécaniques du mouvement

Decety (1999) ou encore Gentili (2004) montrent par des études que les mouvements réels et imaginaires respectent les mêmes contraintes biomécaniques (Gentili et *al.*, 2006). Ces dernières sont également prises en compte lorsque le sujet s'imagine en train de réaliser un mouvement particulier : plus l'action simulée est difficile à réaliser (à cause de ces contraintes), plus le temps de réaction sera élevé. Lorsque l'on demande à un individu de juger s'il est possible ou non de réaliser une action donnée, il utilise implicitement l'IM, en s'imaginant réaliser l'action (Guilbert et *al.*, 2013). La plupart des chercheurs utilise une tâche de jugement de latéralité à partir de photographies de mains sous différentes orientations angulaires. La rotation mentale mise en place ou utilisée par les sujets dans ce test nécessite en effet une simulation mentale, expliquant l'utilisation implicite de l'IM (Munzert, 2009). D'après les résultats des recherches, le temps de réaction (réponse du sujet lorsqu'il reconnaît la latéralité) des sujets dépend de l'écart angulaire que produirait la rotation de la cible et des contraintes biomécaniques qu'implique cette rotation (Guilbert et *al.*, 2013). En d'autres termes, lorsque l'orientation des mains est difficile à reproduire au niveau biomécanique, le sujet prend plus de temps à imaginer sa main dans cette même position, et donc à reconnaître la latéralité correspondante.

b. Caractéristiques temporelles du mouvement

En 1989, Decety et *al.* ont montré une corrélation significative entre les durées d'un mouvement exécuté et imaginé (Lebon et *al.*, 2013).

Chez l'adulte, les expériences mettent en évidence une **invariance temporelle**, expliquant le paradigme de « **chronométrie mentale** » entre l'action réelle et l'action imaginée (Decety, 1989, Jeannerod, 1994, in Munzert et *al.*, 2009). Autrement dit, simuler une action prend autant de temps que de la réaliser. Cette invariance temporelle fait appel à l'IM de façon explicite.

De plus, les mouvements réels et les mouvements imaginés peuvent être régis par des « relations d'amplitude-précision similaires » (Jeannerod, 1995). Cela illustre parfaitement la loi de Fitts :

l'augmentation de la durée des mouvements est due à une augmentation de la quantité d'informations de retours à traiter pour des exigences de précision plus élevées. Pour simplifier, la durée du mouvement est proportionnelle à sa difficulté : plus le geste demande de la précision, plus il sera lent, et ce, en réel comme en imaginaire (Grangeon, 2009).

Dans l'expérience de Decety et ses collaborateurs (1989), des sujets devaient marcher sur une distance prédéfinie, puis s'imaginer en train de marcher cette même distance, afin de constater la corrélation entre les deux durées. Ensuite, on leur a demandé de marcher la même distance avec un sac de 25 kg sur le dos. La durée réelle de marche n'a pas été affectée, tandis que la durée en imagerie s'est montrée plus longue. Cela suppose que les sujets ont programmé une plus grande force musculaire, nécessaire pour compenser le poids supplémentaire (Munzert et *al.*, 2009).

c. Caractéristiques neurophysiologiques du mouvement

Une action motrice simulée sollicite les mêmes structures neurologiques que celles impliquées dans l'action : cela est mis en évidence par de nombreux auteurs. Par exemple, en 2001, Jeannerod parle d'« équivalence fonctionnelle entre imagerie motrice et exécution motrice » (in Munzert et *al.*, 2009). Il nomme « états S » tous les processus « cachés », non visibles, partagés entre l'action et sa représentation. Ces états simulent l'action réelle. Ainsi, les mêmes conséquences physiologiques sont anticipées lorsque l'action est à exécuter ou lorsqu'elle est simplement imaginée. (Guillot et Collet, 2005, in Munzert et *al.*, 2009).

Jacobson (1931) identifie des corrélats physiologiques entre les deux processus. Lors de la simulation mentale, des micromouvements sont enregistrés exclusivement au niveau des muscles impliqués dans la réalisation de l'action. Par ailleurs, on observe lors de la simulation d'une action une augmentation des rythmes cardiaque et respiratoire proportionnelle à la vitesse de déplacement imaginée, ainsi qu'une élévation de la pression partielle en oxygène. Cela suggère qu'il y ait une anticipation des changements métaboliques qu'induirait une action réelle (Decety et *al.*, 1991).

d. Caractéristiques neuroanatomiques du mouvement

L'IM et l'exécution motrice partagent des substrats neuro-anatomiques étroitement liés. En effet, l'électro-encéphalogramme (EEG) permet de visualiser, lors de l'action réelle et de l'IM, une activation au niveau du cortex moteur primaire (M1) et du cortex prémoteur (aire dorsale 6 et aire motrice supplémentaire), ainsi que du gyrus préfrontal, des ganglions de la base, du cervelet et du cortex pariétal inférieur (Puyjarinet, 2015). De plus, le cervelet joue un rôle important dans la coordination motrice, et le contrôle du mouvement par rétraction, impliqués dans l'exécution et dans l'imagerie motrice (Ohyama et *al.*, 2003, in Munzert, 2009). Le cortex pariétal, essentiellement activé

dans les tâches spatiales, contribue aussi à l'élaboration d'un mouvement (Wolbers et *al.*, 2003, in Munzert, 2009). A ces structures s'ajoutent les neurones miroirs, qui, d'après Jeannerod (1994) jouent principalement un rôle dans l'imitation. Ces neurones permettent à notre cerveau de corrélérer les mouvements observés à nos propres mouvements et d'en reconnaître la signification (Rizzolatti, 2008). Ils s'activent lors de la réalisation d'un mouvement, de l'observation d'un mouvement par autrui, et même lorsque l'individu imagine ce mouvement. Ils participent ainsi à l'apprentissage par observation (Puyjarinet, 2015).

De ce fait, les apports issus de la neuropsychologie, de la psychologie cognitive, de la psychologie neuromusculaire et de la neuroimagerie mettent en évidence des similitudes entre action réelle et imaginée.

3. Modèles internes

a. Contrôle du mouvement et modèles internes

D'après Jeannerod (1995), les représentations motrices font l'objet de modèles internes du but de l'action, par rapport auquel vont s'organiser les différents mouvements. Le but correspond au résultat final ou aux conséquences d'actions intermédiaires nécessaires à la réalisation de l'action finale.

Les modèles internes sont inspirés des modèles neuro-computationnels, visant à mieux comprendre les relations complexes entre structure et fonction du cerveau. A chaque mouvement, les systèmes sensorimoteurs interagissent en permanence avec l'environnement. Simultanément, le SNC³, dans lequel sont stockés les modèles internes, effectue des transformations en choisissant le pattern d'activation musculaire approprié et en adaptant chacun des mouvements au contexte. (Lebon et *al.*, 2013). Plus précisément, le SNC programme en amont les caractéristiques physiques et les conséquences sensorielles de l'action à réaliser afin de planifier puis de contrôler son exécution.

Lorsque le SNC envoie le programme moteur du mouvement désiré vers les effecteurs (muscles), un signal est généré : il s'agit de la copie d'efférence, qui contient la prédiction des conséquences sensorielles du mouvement programmé. Crammond, (1997) la définit comme la « copie du signal de la commande motrice efférente environnementale vers le modèle anticipé, corolaire de sa transmission à l'effecteur moteur ». Ainsi, une comparaison sera établie entre cette copie

³ Système Nerveux Central

(conséquences sensorielles attendues) et les réafférences sensorielles de l'action produite (conséquences produites). Un tel mécanisme de contrôle permet de corriger en permanence le mouvement au cours de l'action, et de s'adapter aux perturbations extérieures (environnementales ou biomécaniques). Enfin, le mouvement s'arrête lorsque les deux signaux correspondent (Jeannerod, 1995).

b. Description des modèles internes

Ainsi, les modèles internes sont des « mécanismes neuronaux capables d'établir une relation en boucle ouverte entre les entrées (canaux sensoriel) et les sorties (commandes motrices) du système sensorimoteur, tout en prenant en compte les caractéristiques de l'environnement » (Puyjarinet, 2015). Lorsque nous réalisons ou simulons une action, notre cerveau doit prendre en compte un certain nombre d'informations (proprioceptives, biomécaniques) et se représenter les conséquences du mouvement à venir.

Il existe deux types de modèles internes dont les rôles sont différents mais complémentaires (Lebon et *al.*, 2013) :

Le modèle interne inverse **génère les commandes motrices** appropriées en fonction du contexte (position initiale, direction et amplitudes du mouvement, force externe...). A partir des informations proprioceptives et visuelles liées au mouvement simulé, la commande musculaire est calculée, et le mouvement désiré est ainsi produit. On parle de « modèle inverse » car le lien établit entre les signaux sensoriels, dynamiques, et la commande motrice est non causale : les entrées (commandes neurales) sont calculées à partir des sorties (conséquences sensorielles) (Lebon et *al.*, 2013).

Le modèle interne direct **prédit** l'état futur du système et calcule les conséquences sensorielles de l'action à partir des informations sur l'état actuel (vitesse, position du bras, informations sensorielles) et de la copie d'efférence. On parle de modèle « direct » car il établit un lien causal entre l'action et ses conséquences sensorielles et dynamiques : les sorties sont calculées à partir des entrées (Lebon et *al.*, 2013).

Le modèle interne direct se décline en deux sous-types : le modèle interne direct dynamique et le modèle interne direct sensoriel. Le modèle interne direct dynamique prédit l'état futur du système (vitesse, position) sur la base de la connaissance de l'état initial de celui-ci et de la copie d'efférence. En fonction de cet état futur, le modèle interne direct sensoriel calcule la sortie estimée correspondante, en prédisant les conséquences sensorielles (Wilson et *al.*, 2002).

c. Théorie de la simulation et liens avec l'imagerie motrice

Selon la théorie de la simulation, proposée par Jeannerod en 1994, l'action imaginée est en fait une action, à la seule différence qu'elle n'est pas exécutée : des mécanismes d'inhibition bloquent l'exécution de l'action. De ce fait, l'IM emprunterait les mêmes mécanismes de modèles internes que l'action motrice réalisée (Lebon et *al.*, 2013).

Lors d'un mouvement de bras par exemple, en situation réelle et imaginée, les modèles internes génèrent les commandes neurales nécessaires pour conduire le bras vers la cible.

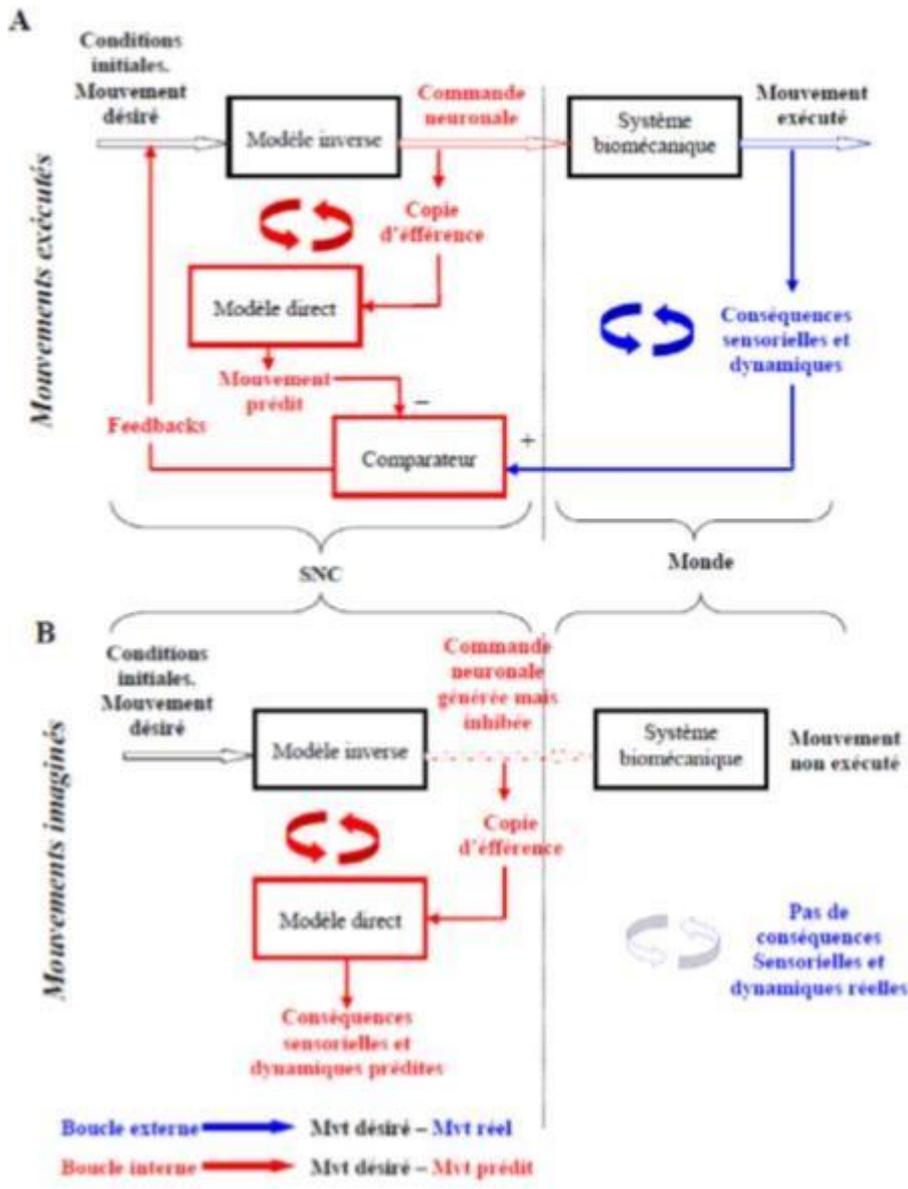
Selon Lebon (2013), voici les étapes du comportement sensorimoteur :

1. La commande est générée par le SNC, à partir des conséquences sensorielles : **modèle inverse**
2. S'opère une prédiction de la modification de l'état du système en fonction de la commande motrice précédemment générée : **modèle direct dynamique**
3. Un feedback sensoriel est généré, correspondant à l'état du système prédictif : **modèle dynamique sensoriel**

Lors des mouvements réels, les rétrocontrôles externes et les rétrocontrôles internes sont tous deux disponibles. Ils permettent de comparer les mouvements désirés avec les mouvements effectués et prédits.

Lors de l'IM, le modèle interne inverse transforme des informations sensorielles prédites en patrons d'activations musculaires, et le modèle interne direct anticipe les conséquences sensorielles du mouvement au moment même de sa planification, à partir de la copie d'efférence (Gentili et *al.*, 2006, Puyjarinet 2016).

La commande neurale est générée, mais elle est inhibée. Seuls les rétrocontrôles internes sont disponibles, permettant de comparer les mouvements désirés avec les mouvements prédits (Lebon et *al.*, 2013)



Modèle de fonctionnement utilisant les modèles internes inverses et prédictifs durant la pratique mentale (Lebon *et al.*, 2013).

Ces modèles, représentations proactives des actes moteurs, n'ont pas une entité fixe. Ils s'adaptent continuellement à travers les interactions entre le corps et l'environnement. Avec la pratique et l'expérience, la variation entre deux mouvements répétés va diminuer, ce qui permettra une certaine stabilité dans le mouvement (Smits-Engelsman *et al.*, 2018). Ainsi, l'apprentissage permet à notre cerveau d'avoir une représentation simplifiée de l'état du système sensori-moteur, et donc de prédire et de contrôler les états futurs, tout en comparant mouvement attendu et mouvement réalisé (Lebon *et al.*, 2013).

L'IM et la simulation des caractéristiques proprioceptives et temporelles du mouvement permettent ensemble de tirer profit des informations sensorielles simulées, pour optimiser le contrôle réel du mouvement (Puyjarinet 2015).

A travers toute cette base théorique, l'apprentissage moteur par l'IM apparaît logique, les mêmes structures neuropsychologiques étant impliquées lors de l'exécution et de l'imagerie (Gueugneau et *al.*, 2007). De plus, cette technique rend l'apprentissage moteur moins énergivore sur le plan physique, ce qui la rend intéressante dans certaines pathologies, comme dans le TDC, où une réelle fatigabilité est retrouvée.

4. Développement de l'imagerie motrice chez l'enfant

En 2008, Molina, Tijus et Jouen s'intéressent à l'âge d'apparition de l'imagerie motrice. Ils adaptent l'expérience de Decety et *al.* (1989) auprès d'enfants de 5 à 7 ans. Les enfants de cette expérience doivent marcher sur une distance fixe pour ramener une poupée chez elle, réellement, puis en simulation mentale. Le groupe « contrôle » ne reçoit aucune information quant au poids de la poupée, tandis que le groupe « informé » reçoit une poupée décrite « lourde » à cause des biscuits qu'elle a mangés. Le poids réel de la poupée est le même pour les deux groupes. L'objectif est d'amener les enfants à anticiper les conséquences d'un poids « virtuel » sur leur activité motrice, et ainsi à planifier une action motrice différente de celle suscitée par la condition contrôle.

Chez les enfants de 7 ans seulement, le temps de marche mesuré est plus long dans le groupe « informé » que dans le groupe « standard », en réel et en IM : l'information donnée quant au poids de la poupée a été prise en compte et les enfants ont pu s'imaginer quelle devrait être leur activité motrice dans cette condition. De plus, la durée de marche réelle est proportionnelle à la durée simulée. Molina conclut de ces résultats une émergence des capacités d'IM aux alentours de 7 ans, lorsque l'enfant est capable de simuler les conséquences proprioceptives de ses propres actions.

Ensuite, les capacités d'IM continuent d'évoluer au cours du développement. Dès 10 ans, l'enfant utilise les informations proprioceptives et kinesthésiques pour anticiper et contrôler la réalisation des actions motrices sans avoir besoin d'utiliser un mécanisme de correction d'erreur fonctionnant de proche en proche (Smits-Engelsman et Duysens, 2008). Il est capable, non seulement d'intégrer, dans la simulation, les contraintes externes liées à la tâche, mais aussi de simuler des mouvements qui respectent la loi de Fitts. Funk, Brugger et Wilkening (2005) soulignent que les capacités d'IM sont fortement dépendantes du développement moteur et de l'activité motrice réelle de l'enfant. Lors d'un

test de rotation mentale, 90 % des enfants de 10 ans réussissent la tâche contre 80 % à 7-8 ans et 40 % à 5-6 ans : les capacités à utiliser l'IM s'améliorent donc au cours du développement. Cela s'expliquerait par une augmentation de l'efficacité neuronale (Butson et *al.*, 2014). Au cours de l'adolescence, les modifications corporelles et cérébrales conduiraient à un remaniement des modèles internes de l'action, et donc à un développement des capacités d'IM (Molina et *al.*, 2008).

Gilbert et *al.* (2013) recensent plusieurs expériences (Funk et *al.*, 2005, Molina et *al.*, 2008, Caeyenberghs et *al.*, 2009) et en retiennent trois grandes étapes dans le développement des capacités d'IM, qui résument bien les informations citées précédemment : Ces capacités émergent vers 5-7 ans, mais restent dépendantes de l'activité sensorimotrice de l'enfant. Elles s'affinent vers 8-10 ans : l'enfant peut se détacher des informations perceptives immédiates. Enfin, les compétences en IM continuent de se développer au cours de l'adolescence, avec les modifications morphologiques et un réaménagement des modèles internes.

5. Imagerie motrice et plasticité cérébrale

L'imagerie motrice a fait ses preuves au sein de divers domaines, médicaux ou non. Son efficacité s'explique en grande partie par la plasticité cérébrale (capacité du cerveau à remodeler ses connexions en fonction de l'environnement et des expériences vécues par l'individu). En effet, les réseaux de neurones ont la capacité de se restructurer pour obtenir un meilleur recrutement des unités motrices et améliorer leur synchronisation, et ainsi les paramètres d'exécution du mouvement (Grangeon, 2009).

a. Efficacité dans le domaine sportif et musical

L'IM est couramment utilisée chez les sportifs de haut niveau. L'entraînement mental, ou encore la répétition mentale permet au sportif d'être centré sur son état psychique, et renforce la maîtrise et l'anticipation, améliorant ainsi la performance motrice (Lotze & Halsband, 2006, Lebon et *al.*, 2013.). De plus, l'IM procure une activation musculaire de faible intensité, ce qui facilite la représentation kinesthésique, et même la récupération musculaire après une blessure, par une amélioration de la production de force. Dans une étude de 1992, par exemple, Yue et Cole ont montré un gain de force musculaire (abducteur du petit doigt), auprès de sujets ayant pratiqué mentalement pendant un mois. Cela a été associé à modification de la commande motrice. (Lebon et *al.*, 2013). L'IM augmente la concentration, la représentation la tâche et enfin la motivation des sujets.

Nous retrouvons les mêmes bénéfices chez les musiciens, qui se représentent un morceau sans jouer avec leur instrument, par la répétition mentale. Le fait de penser au son idéal guiderait les musiciens dans le mouvement à réaliser (Lotze, 2013).

b. Efficacité dans le cadre d'une pathologie

L'imagerie motrice est décrite comme une technique efficace dans certaines pathologies ou blessures rendant la pratique réelle difficile voire impossible.

De nombreuses études (par exemple Page et *al.*, 2001, 2005) apportent des preuves concernant les effets positifs de l'IM dans la récupération de fonctions motrices suite à un AVC (Accident Vasculaire Cérébral) en phase subaigüe ou chronique. L'IM induit en effet une réorganisation corticale.

Lors d'une hémiparésie causée par un AVC, l'IM peut apporter une amélioration fonctionnelle du membre lésé grâce à un protocole d'utilisation forcée de ce membre (Page, 2005).

Grangeon ressenne en 2009 les résultats positifs de l'IM en phase chronique post AVC : les études ont montré des résultats positifs sur la rééducation posturale et l'équilibre (Dunsky et *al.*, 2006), sur la motricité des membres supérieurs (Stevens et *al.*, 2003), sur la rééducation de la marche (Dickstain et *al.*, 2004), et sur l'adaptation à l'environnement pour réduire les situations de handicap (Lie et *al.*, 2004). De plus, l'IM permet un transfert positif sur les habiletés non travaillées si ces dernières sont simples et voisines du mouvement initial.

Certaines études prouvent aussi l'efficacité de l'IM dans la diminution de la perception de la douleur neuropathique, dans le cadre de dystonies ou de crampes de l'écrivain, ou encore auprès de patients victimes d'une lésion de la moelle épinière (Sabbah et *al.*, 2002, in Lotze et Halsband, 2006).

IV. L'imagerie motrice, une technique de rééducation en psychomotricité

L'imagerie motrice a une place importante en psychomotricité, particulièrement dans la rééducation des troubles moteurs (motricité fine ou globale). En effet, cette approche orientée sur la performance, et plus précisément sur la tâche a fait preuve de plusieurs bénéfices : elle est utilisée pour apprendre de nouvelles habiletés motrices et corriger les erreurs techniques, afin d'améliorer la performance des habiletés, maintenir la concentration, développer la confiance en soi, favoriser la motivation, réguler l'excitation, transformer la pensée négative, ou encore induire une relaxation (Wilson et *al.*, 2002).

1. Evaluation des capacités d'imagerie motrice

Différents tests, décrits dans la littérature, permettent d'évaluer les capacités d'IM. Bien qu'il n'y ait pas encore d'étalonnage disponible à ce jour, ces tests, qui mesurent des domaines différents de l'IM, fournissent de nombreux renseignements et permettent d'orienter la prise en charge en fonction des capacités et des difficultés du patient.

Voici les outils d'évaluation les plus couramment utilisés par les auteurs :

a. Hand Rotation Task (HRT) / Jugement de latéralité

Cette épreuve permet d'évaluer de manière implicite les capacités d'IM, en faisant appel aux capacités de rotation mentale et à la connaissance du schéma corporel (Puyjarinet, 2016).

En 2008, Lameira *et al.* ont présenté, dans une étude, des images de mains, droites et gauches, présentées sous différentes orientations et différentes perspectives. Les individus devaient indiquer la latéralité de la main, sans produire aucun mouvement.

Lors de cette épreuve, le temps de réponse est censé refléter le temps de rotation de la main pour la mettre dans la même position que sur la photo. Normalement, ce temps de réponse est donc plus long pour les orientations biomécaniquement difficiles à réaliser, et lorsque la posture est non congruente avec l'image présentée. (Image en annexe 4 p.IV).

b. Movement Imagery Questionnaire - Revised Second version (MIQ-RS) :

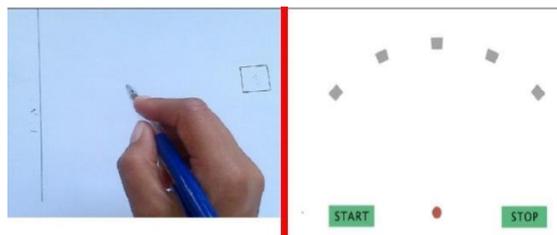
Il s'agit d'un questionnaire qui établit une évaluation subjective des capacités d'imagerie visuelle et kinesthésique. Mis au point par Gregg *et al.* en 2010, il a par la suite été traduit et validé en français par Loison *et al.* en 2013 (image en annexe 3 p.III).

Dans ce questionnaire, plusieurs mouvements doivent être effectués à partir d'une position initiale. Ensuite, on demande au patient, soit de former une image visuelle aussi claire et vive que possible du mouvement qu'il vient de réaliser (imagerie visuelle), soit d'essayer de se sentir en train de réaliser le mouvement exécuté sans réellement le faire (imagerie kinesthésique). Le questionnaire comporte douze items, dont six concernent l'imagerie visuelle et six concernent l'imagerie kinesthésique.

c. Visually Guided Pointing Task (VGPT)

Cette épreuve de pointage fait appel aux capacités de chronométrie mentale, en mesurant la corrélation entre le temps de mouvement en situation réelle et lors de la simulation mentale (Adams et *al.*, 2016, Ferguson et *al.*, 2015). Elle évalue les capacités d'IM de manière explicite. Elle se réalise à l'aide de 5 feuilles de format A4, comportant chacune une courbe de petits carrés (80 mm du bord), et une cible (rond rouge sur l'image). Il s'agit de faire, en réel puis en imaginaire, un geste de pointage en reliant chaque carré à la cible, et en faisant ainsi des mouvements de vas-et-viens entre les carrés et la cible.

Sur chaque feuille, la taille des carrés varie : 40 mm, 20 mm, 10 mm, 5 mm, 2,5 mm. Cette épreuve est censée respecter la loi de Fitts : le temps nécessaire pour atteindre la cible dépend de la distance et de la



taille des carrés: plus la taille est petite, plus le pointage demande d'être précis, et donc plus la vitesse diminue. De plus, il y a normalement une isochronie entre le temps réel de la réalisation du mouvement et le temps imaginé. (Image en annexe 5 p. IV)

2. Utilisation dans le cadre de troubles développementaux

a. Intérêts et efficacité de l'utilisation de l'imagerie motrice auprès d'enfants présentant un Trouble Développemental de la Coordination (TDC)

a1. Généralités sur le TDC et interventions thérapeutiques auprès des enfants TDC

D'après le rapport de l'expertise collective Inserm (Albaret et *al.*, 2019), le TDC est un trouble développemental, se manifestant par des difficultés dans les habiletés gestuelles, ayant des répercussions dans l'apprentissage à l'école et des limitations dans d'autres activités de la vie quotidienne. Les enfants TDC présentent un déficit de la motricité globale et fine, avec des difficultés à réaliser des gestes coordonnés vers un but précis. Actuellement, la prévalence des enfants TDC d'âge scolaire oscille entre 1,8 % à 5,4 %.

Ce trouble est fréquemment associé à d'autres pathologies : troubles du langage, TDA/H, troubles des apprentissages. Plus de la moitié des enfants TDC souffre d'une dysgraphie associée (Albaret et *al.*, 2019).

La littérature scientifique a mis en évidence l'importance d'utiliser une intervention ciblée auprès d'enfants TDC. En 2013, puis en 2018, Smith-Engelsman et ses collaborateurs réalisent une métaanalyse sur l'efficacité de ces interventions. Les approches orientées sur le processus (intégration

sensoriel, entraînement kinesthésique) n'ont pas montré d'amélioration significative sur les performances motrices des enfants TDC, contrairement aux approches orientées sur la tâche. Ces approches, comme la NTT (Neuromotor Task Training), la COOP (Cognitive Orientation to Daily Occupational Performance) et l'IM (même si encore peu d'études sur son efficacité existent à ce moment-là) ciblent les aspects spécifiques qui posent problème dans la performance motrice de l'enfant et sont prometteuses en termes d'efficacité auprès des enfants avec un TDC. La NTT, qui s'appuie sur la structure, la planification et la décomposition des tâches, s'est révélée efficace dans l'amélioration de la motricité globale et fine. La COOP est privilégiée pour améliorer la génération de stratégies cognitives par la connaissance de la tâche, lorsque l'enfant possède de bonnes compétences langagières (Smith Engelsman et *al.*, 2018). L'IM présente elle aussi des effets thérapeutiques positifs, dont les preuves sont étayées par des travaux ultérieurs (par exemple Adams-Smith 2016, Wilson et *al.*, 2016, voir ci-dessous).

a2. Efficacité de l'imagerie motrice dans la rééducation des troubles moteurs chez les enfants TDC

Wilson et d'autres auteurs posent l'hypothèse d'un déficit de représentation interne du mouvement chez le TDC, caractérisé par des difficultés à générer un modèle prédictif. Les capacités de contrôle et d'apprentissage moteur se retrouvent alors réduites (Williams et *al.*, 2008).

A partir de cette hypothèse, de nombreuses études ont justifié l'utilisation d'un protocole d'IM auprès d'enfants TDC. (Wilson et *al.*, 2001, 2002, 2016). Dans une étude réalisée en 2002, Wilson et ses collaborateurs ont comparé trois groupes d'enfants TDC : l'un ayant bénéficié d'une rééducation en IM, un deuxième ayant suivi une méthode traditionnelle (perceptivo-motrice) et un troisième groupe contrôle, sans rééducation. En conclusion de cette étude, l'IM montre des résultats positifs sur l'amélioration des habiletés motrices chez les enfants TDC au même titre qu'une méthode de rééducation traditionnelle : le MABC-2⁴ des enfants est meilleur après la rééducation, contrairement à celui du groupe contrôle. Cela s'explique en partie par les similitudes entre mouvement réel et imaginaire, décrites dans le chapitre précédent.

Les chercheurs ont constaté un autre fait intéressant : l'IM se montre plus efficace lorsque les habiletés motrices nécessitent une forte charge cognitive (Wilson et *al.*, 2001), et auprès des enfants TDC qui ont les difficultés motrices les plus importantes (Wilson et *al.*, 2016).

a3. Particularités des enfants TDC dans les processus de contrôle du mouvement

⁴ Batterie d'évaluation du mouvement chez l'enfant, seconde édition

Les enfants TDC rencontrent des difficultés dans la coordination posture-mouvement, ainsi qu'une perturbation des ajustements posturaux anticipatoires (Jover et *al.*, 2010) et des déficits temporels d'anticipation (Wilmot et Barnett 2011). Or, le contrôle des actions est basé sur l'utilisation de modèles internes, de par l'anticipation des conséquences du mouvement. Ils permettent de s'ajuster face aux perturbations et de corriger son mouvement pendant l'exécution. (Albaret et *al.*, 2019).

Les principes théoriques concernant l'IM ont montré que cette dernière constitue un moyen efficace d'évaluation des modèles internes. Ainsi, Wilson et *al.* (2001) ont testé les capacités de chronométrie mentales des enfants TDC. Les résultats de cette étude mettent en évidence une capacité d'IM altérée chez les enfants TDC, qui ne respectent pas la loi de Fitts lors de l'imagerie. Il s'agirait, selon ces auteurs, de difficultés à comparer les rétroactions sensorielles prévues et réelles. Les schémas cognitifs seraient défectueux, avec une anomalie plus précisément au niveau de la copie d'efférence.

En conséquence de ce dysfonctionnement, les enfants TDC ont des difficultés à se représenter mentalement les coordonnées visuospatiales des mouvements souhaités et à contrôler la force et le timing nécessaires à la sélection et de la programmation du mouvement. Ils présentent un contrôle davantage axé sur les retours sensoriels lents, se manifestant par des gestes peu fluides et de faibles performances motrices (Albaret et *al.*, 2019).

Les enfants TDC présentent le même type de réponse motrice que les individus atteints d'une lésion pariétale. Cela va dans le sens d'une anomalie au niveau de cette région cérébrale, impliquée dans la programmation du mouvement (Wilson 2001).

La rééducation des troubles moteurs par un protocole d'IM contribuerait donc à développer les processus du contrôle moteur en faisant intervenir les modèles internes. Effectivement, nous avons vu précédemment que l'IM pouvait engendrer des changements importants dans les réseaux moteurs, notamment chez les sujets TDC. L'IM permettrait donc aux enfants TDC d'améliorer leurs habiletés motrices, en passant notamment par une meilleure planification du mouvement et une prédiction de ses conséquences.

b. Intérêt de l'utilisation de l'imagerie motrice dans le cadre d'un TDA/H associé au TDC

Flapper et *al.* réalisent une étude en 2006 auprès d'enfants atteints de TDA/H avec TDC associé, traités au méthylphénidate. Ce traitement pharmacologique, ayant en partie une action bénéfique sur l'attention, entraîne une amélioration dans la motricité fine et dans la lisibilité de l'écriture des enfants. Cependant, dans l'étude menée, ces compétences restent inférieures à celles du groupe contrôle. Tucha et Lange observent les mêmes résultats (2001, 2005). Les auteurs en déduisent que le contrôle attentionnel est impliqué dans les difficultés d'écriture, mais pas à lui seul (Flapper et *al.*, 2006).

Les études portant sur l'IM dans le cadre d'un TDC associé à un TDA/H sont peu nombreuses. Tout de même, certains auteurs se sont penchés sur les différences entre les capacités d'IM des TDC « simples » et celles des TDC associés à un TDA/H.

Williams, Omizzolo, Galea et Vance ont réalisés une étude en 2012, dont l'objectif était de savoir si l'inattention était plus envahissante chez les TDA/H « simples » ou chez les TDA/H avec TDC associé. En effet, plusieurs hypothèses émergent des différents auteurs : pour certains, la déficience motrice du TDA/H résulterait principalement de l'inattention et de la mémoire de travail. Pour d'autres, elle serait la conséquence d'un véritable déficit moteur sans lien avec l'inattention. L'étude de Williams et ses collaborateurs montre des résultats aux tests d'IM différents entre un groupe de TDC et de TDA/H avec TDC associé.

Lors de l'épreuve de pointage :

- Les enfants TDC respectent la loi de Fitts seulement pour les mouvements réels, contrairement aux mouvements imaginés durant lesquels il n'y a pas de relation entre vitesse et précision.
- Les enfants TDA/H avec TDC associé sont conformes à la loi de Fitts mais la corrélation entre mouvement réel et imaginaire est faible.

Lors de la tâche de rotation mentale, le déficit en IM se manifeste autant dans les deux groupes.

En conclusion, selon les auteurs de cette étude, les enfants TDA/H avec TDC associé présentent de véritables troubles du contrôle moteur, qui se manifestent par une capacité réduite à se représenter avec précision le mouvement au niveau central.

Enfin, selon Puyjarinet (2015), les symptômes du TDA/H peuvent en partie expliquer le mauvais contrôle proactif de certains mouvements, tels que ceux impliqués dans l'écriture. L'IM pourrait être

efficace pour favoriser la concentration de ces enfants. Elle permettrait ensuite un passage plus rapide d'un mode de contrôle rétroactif à un mode proactif, moins coûteux sur le plan attentionnel.

c. Utilisation de l'imagerie motrice dans la rééducation de la dysgraphie

Très peu d'études ont été réalisées concernant l'efficacité de l'imagerie motrice dans la rééducation de la dysgraphie. Puyjarinet (2015, 2019) s'est penché sur cette question et a mis en valeur des preuves d'efficacité de cette technique auprès d'enfants dysgraphiques. Il considère 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 ». Ainsi, il suppose 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. » (Puyjarinet, 2015). En 2015, il réalise une étude dans laquelle il compare l'efficacité entre une rééducation métacognitive déjà validée et un protocole d'IM. Chaque méthode est utilisée auprès d'un groupe d'enfants. Un troisième groupe est constitué d'enfants ne bénéficiant d'aucune prise en charge. Tous les enfants présentent une dysgraphie et un TDC associés. Après 12 séances, les résultats sont remarquables : les deux types de rééducation ont été aussi efficaces dans l'amélioration significative de l'écriture des enfants, alors qu'aucune amélioration n'a eu lieu au sein du groupe contrôle. Puyjarinet émet l'hypothèse d'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). »

3. Conditions de bonnes pratiques de l'imagerie motrice

Pour qu'il soit efficace, un protocole d'IM doit respecter certaines contraintes, mises en évidence par Schuster à l'aide d'une méta-analyse en 2011, puis par d'autres travaux réalisés ultérieurement (Puyjarinet, 2016).

En effet, les résultats seraient meilleurs lorsque le protocole suit les conditions suivantes : (Schuster et al., 2011) :

- Rééduquer en séance individuelle

- Superviser les sessions d'entraînement par un tiers (thérapeute, éducateur, etc.) et de façon non-directive
- Réaliser l'IM en complément d'une pratique réelle
- Concernant le nombre d'essais de visualisation d'une action, ne pas dépasser deux essais par minute dans une même session d'entraînement
- Le patient doit être aussi disponible que possible sur le plan attentionnel (phase préalable de relaxation ou de méditation de pleine conscience souhaitable)
- 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)
- Respecter autant que possible les caractéristiques spatiotemporelles du mouvement travaillé
- Préciser au maximum le contexte dans lequel le mouvement est travaillé (travailler en imagerie avec le même matériel (virtuel) qu'en condition réelle)
- Ne pas dépasser 20 minutes de pratique par session.

Holmes et Collins (2001) ont recensé sept paramètres qui interagissent entre eux, issus de la psychologie du sport, à prendre en compte dans la pratique de l'IM. Il s'agit de l'approche **PETTLEP** (Physical, Environment, Task, Timing, Learning, Emotion, Perspective) (Adams et *al.*, 2016) :

Physique : Réaliser un mouvement en IM tout en produisant une ébauche d'action permettrait de mieux ressentir les caractéristiques kinesthésiques et proprioceptives du geste à réaliser. L'IM est plus efficace lorsqu'elle inclue toutes les sensations kinesthésiques qui seraient ressenties pendant la performance réelle.

Environnement : La pratique de l'IM doit se faire dans des conditions très proches de la pratique réelle, dans un environnement aussi similaire que possible. Il est possible de manipuler la façon dont les mouvements canoniques sont présentés. Par exemple, pour travailler l'écriture avant la phase d'imagerie motrice, le thérapeute peut monter une séquence vidéo sur laquelle la personne écrit dans des lignes puis, plus tard, une vidéo dont les mots sont écrits sur une feuille blanche (Puyjarinet, 2016).

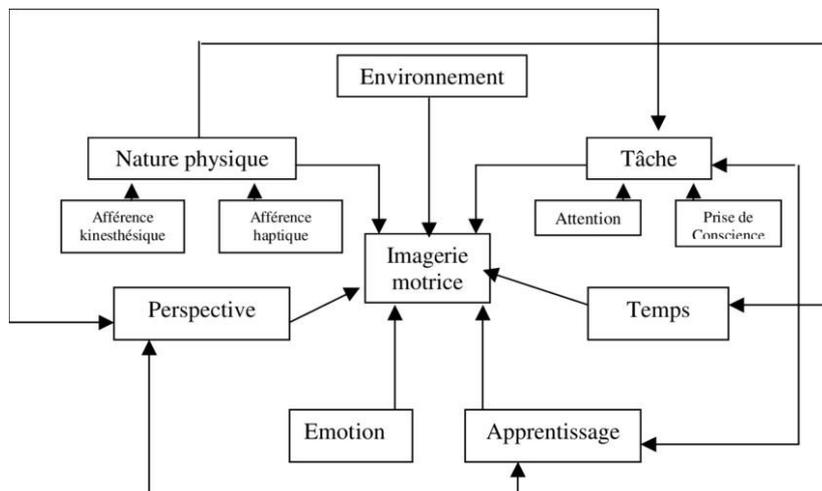
Tâche : La tâche imaginée, d'un point de vue interne, doit être étroitement associée à la tâche réelle. La manipulation de la tâche se fait à trois niveaux : la connaissance de la tâche à réaliser, l'apprentissage du geste à acquérir, et la perspective présentée. Le participant doit être encouragé à rapporter verbalement ses ressentis.

Timing : L'équivalence temporelle entre un mouvement réel et simulé doit être recherchée et travaillée de façon systématique, notamment lorsque l'enfant présente des difficultés à ce niveau.

Apprentissage : L'apprentissage doit se faire progressivement, de la forme simple à la complexification, en prenant compte le stade d'apprentissage de l'habileté de l'enfant.

Émotion : L'état émotionnel initial du sujet et les affects suscités par l'IM doivent être pris en compte. L'enfant doit être dans de bonnes conditions pour être disponible sur le plan attentionnel. Il est possible d'adapter le moment de relaxation à l'enfant (durée, type...). De plus, l'enfant doit essayer de ressentir toutes les émotions associées à la performance travaillée afin d'atteindre une équivalence optimale.

Perspective : La perspective allocentrique sera privilégiée au départ pour l'apprentissage de gestes qui nécessitent un placement adéquat des membres dans l'espace. Si l'on souhaite privilégier les ressentis kinesthésique et proprioceptif et approfondir la maîtrise spatio-temporelle de l'acte moteur à réaliser, la perspective égocentrique (ou à la première personne) deviendra rapidement incontournable (imagerie motrice à proprement parlé).



Représentation du modèle PETTLEP intégrant les interactions et leurs sources (Holmes et Collins, 2002, in Puyjarinet, 2016)

PARTIE PRATIQUE

L'imagerie motrice en tant que rééducation m'a particulièrement interpellée auprès d'une patiente présentant une dysgraphie, Eloïse. Peu d'études existent sur l'IM dans la rééducation des troubles de l'écriture, mais celle menée par Puyjarinet en 2015 a présenté des résultats très encourageants. Cela a donc attisé ma curiosité vis-à-vis de cette technique dans ce cadre précis. J'ai réuni les éléments nécessaires concernant Eloïse afin d'avoir une connaissance étendue de son profil, à travers les différents bilans paramédicaux réalisés. J'ai également fait passer à Eloïse un bilan psychomoteur avant le protocole, ainsi que des tests d'imagerie motrice, afin d'explorer ses capacités d'IM. J'ai ensuite mené un protocole complet d'IM que je décrirais par la suite, ainsi que le déroulement général des séances, l'évolution d'Eloïse dans les divers domaines du protocole et les adaptations qui ont été nécessaires pour optimiser l'efficacité de la prise en charge auprès de cette patiente.

I. Présentation d'Eloïse

1. Anamnèse d'Eloïse

2. Bilan psychologique (6 ans 2 mois)

Eloïse est une enfant vive et joueuse. Elle s'intéresse à beaucoup de choses dans le jeu libre.

K-ABC : Batterie d'évaluation de l'évolution cognitive :

- Echelle séquentielle : 108 (101-114)
- Echelle simultanée : 76 (71-83)
- Echelle apprentissage : 142 (128-145)
- Echelle de connaissances acquises : 100 (93-107)
- Echelle globale intelligence fluide-cristallisée : 126 (116-125).

Les résultats sont très hétérogènes, avec des notes allant de 1 (planification spatiale) à 18 (mémoire associative). Bien que le score global d'intelligence fluide soit supérieur à la moyenne, soulignant un bon fonctionnement cognitif, Eloïse présente des particularités, mises en évidence par cette dysharmonie dans ses performances. Eloïse rencontre des difficultés dans l'épreuve de planification, qui requiert des capacités d'anticipation, d'attention et de contrôle émotionnel.

3. Bilan orthophonique (10 ans, CM1)

⇒ **Bilan Raisonnement logico-mathématique.** Un examen du langage oral n'a pas été nécessaire compte tenu des bonnes capacités langagières d'Eloïse.

Eloïse présente à l'école des difficultés en mathématiques, notamment en numération et en résolution de problèmes.

Batterie d'évaluation : Exploration du Raisonnement et du Langage Associé (E.R.L.A).

- **Activités logico-mathématiques et infra-logiques :** Pour l'ensemble des épreuves, Eloïse se situe au niveau 1, alors que le niveau 3 est attendu. Ces scores très bas traduisent des difficultés dans différents domaines. Eloïse a du mal à organiser des éléments, à extraire leurs propriétés et à les lier entre elles. Elle est centrée sur l'objet et non sur ses propriétés. De plus, elle a des difficultés à argumenter et à généraliser. A l'oral, Eloïse ne parvient pas à coordonner les différentes données de l'énoncé. Enfin, lors de l'épreuve de mise en relation, les éléments sont bien décrits mais ne sont pas comparés.
- **Calcul et situations numériques :** Ce subtest, qui évalue les acquisitions scolaires liées au nombre ainsi que ses aspects conceptuels, n'a pu être réalisée car était « trop difficile » d'après Eloïse.

En conclusion du bilan, Eloïse présente un **trouble du raisonnement logico-mathématique**. Une prise en charge orthophonique est nécessaire pour travailler les raisonnements logico-mathématiques, les invariants et les nombres.

4. Bilan psychomoteur CMP (9 ans 5 mois, CM1)

TEA-CH :

Attention sélective : Recherche dans le ciel :

Note B exactitude : 100 % / Note C temps : 10 % / Note G attention : 5 %.

La recherche visuelle est bien organisée mais pénalisée par l'inattention qui ralentit Eloïse dans son travail. Eloïse s'agite sur sa chaise, elle chantonne...

Attention soutenue : Coups de fusils : Note H= 4 %.

Eloïse décroche rapidement et n'écoute plus. De plus, elle est distraite par le matériel sur le bureau qu'elle veut manipuler, ou encore fait des réflexions dessus.

Flexibilité mentale : Les petits hommes verts : Note I= 3 %.

Eloïse ne parvient pas à tenir compte de l'interférence.

Attention divisée : Faire 2 choses à la fois : Note T=55 %. Lors de cette épreuve, Eloïse est soucieuse de bien réussir et semble mobiliser toute son attention. De plus, la double tâche semble plus stimulante pour elle. Elle obtient alors un bon résultat.

MABC : motricité globale : Note globale = **Percentile [5-15]**. La motricité globale est fragilisée, notamment par une faiblesse en dextérité manuelle (percentile 10). Les équilibres ne sont pas bien maîtrisés, Eloïse ne prenant pas le temps de se positionner.

BHK : graphisme : qualité = - **2 DS** / vitesse = - **1,7 DS** : La qualité de l'écriture est fragile, avec des lignes non planes, des télescopages et des formes ambiguës. Eloïse est ralentie par de nombreux levers de têtes, qui mettent en évidence son inattention.

5. Bilan psychomoteur actuel et tests d'imagerie motrice (10 ans 6 mois)

a) Bilan psychomoteur

Eloïse est orientée en libéral pour des difficultés attentionnelles, suite au diagnostic de TDA/H, et des difficultés d'écriture rapportées par la maîtresse.

Domaine 1 : Fonctions motrices

‡ **Coordinations globales- MABC- 1 :**

Domaine mesuré	Rang percentile
Dextérité manuelle	15
Maîtrise de balles	[5-15]
Equilibre dynamique	<5
Equilibre statique	>15
Note Totale de Dégradation	<5

Pour l'épreuve de dextérité manuelle, Eloïse fait tomber une cheville lors du premier essai. Sa position assise est instable, et elle s'agite beaucoup. Lors de l'épreuve de maîtrise de balles, Elle manque d'ajustements toniques et d'ajustements à la distance, ce qui l'empêche d'attraper les balles. Eloïse obtient une note totale inférieure au 5^{ème} percentile à l'épreuve du MAB-C, ce qui révèle d'importantes difficultés du contrôle moteur, surtout dans les épreuves d'équilibre dynamique.

‡ Motricité manuelle – Purdue Pegboard :

Epreuve	Nombre d'éléments placés	Score en DS
P1 (main dominante)	12	- 1 DS
P2 (main non dominante)	13	+0,1 DS
P3 (deux mains)	10	-0,7 DS
P4 (assemblage)	20	- 1,4 DS

Eloïse ne veut pas faire les entraînements, mais préfère se lancer directement dans l'exercice. Dans l'ensemble, la motricité manuelle est correcte, sauf lors de l'épreuve d'assemblage durant laquelle l'alternance n'est pas toujours coordonnée, soulevant des difficultés d'automatisation du geste. Eloïse est un peu lente à la première épreuve, durant laquelle elle se balance sur sa chaise.

Ce test peut soulever quelques fragilités au niveau de la motricité manuelle lorsqu'il s'agit de coordonner les deux mains.

‡ Ecriture- BHK

- Score qualité (de dégradation) : 23 points, - **3 DS**
- Score vitesse d'écriture (score de performance) : 272 lettres, + **0,7 DS**

La prise du crayon est tripodique de la main droite. La main gauche tient et ajuste la feuille. Cette prise est très tonique, avec un poignet peu mobile et les épaules surélevées.

Eloïse présente d'importantes difficultés au niveau de la qualité graphique par rapport à sa classe. Il y a une irrégularité entre la taille des lettres troncs, beaucoup de liens interrompus entre les lettres, et des formes de lettres ambiguës. La fluidité de l'écriture est irrégulière, et Eloïse présente des difficultés dans l'organisation spatiale des lettres et de la page. Il se peut qu'Eloïse privilégie la vitesse, qui se trouve dans la norme (voir un peu plus rapide) à la qualité. La lecture, cependant, est fluide et rapide.

Voici le détail de la note, avec le nombre de points par critères ainsi que les déviations standards associées. J'ai choisi de calculer les déviations standards par rapport à la classe de CM1 et par rapport à la classe de CM2, Eloïse venant d'entrer en classe de CM2 (septembre).

Détails par critères :

Critères évalués	Nombre de points	Déviations standards / CM1 (DS)	Déviations standards / CM2 (DS)
Ecriture grande	1	- 4,8	- 3,4
Inclinaison de la marge vers la droite	3	- 25	- 14
Lignes non planes	4	- 2,3	- 2,5
Mots serrés	1	+ 0,4	+ 0,5
Ecriture chaotique	0	+ 0,2	+ 0,2
Liens interrompus entre les lettres	4	- 0,5	- 0,4
Téléscopage	0	+ 0,5	+0,5
Variation de la hauteur des lettres troncs	5	- 1,5	- 1,3
Hauteur relative incorrecte des différentes sortes de lettres	2	- 10	- 14
Distorsion des lettres	0	+ 0,2	+ 0,2
Formes de lettres ambiguës	4	- 4,6	- 5,6
Lettres retouchées	0	+ 0,4	+ 0,4
Mauvaise trace écrite, hésitations et tremblements	0	+ 0,1	+ 0,12

Quelle que soit la classe à laquelle on se rapporte (CM1 ou CM2), les résultats détaillés du BHK mettent l'accent sur les critères caractéristiques de sa dysgraphie. Il s'agit principalement d'importantes difficultés au niveau de l'inclinaison de la marge vers la droite, de la hauteur relative des différentes sortes de lettres, de la taille de l'écriture (écriture grande) et de formes des lettres ambiguës : les scores sont très déficitaires. De plus, des difficultés sont repérées au niveau de l'inclinaison de la marge vers la droite, des lignes non planes et de la hauteur des lettres troncs, avec des scores fragiles. Les liens interrompus entre les lettres sont dans la norme, mais ont un impact négatif sur la fluidité de l'écriture d'Eloïse et sur l'organisation des lettres les unes par rapport aux autres.

Praxies

‡ **Visuo-construction en 2D- Figure de Rey :**

Copie	23 points	- 2,7 DS	Temps : 2 min 15 (- 0,7 DS)
Mémoire	24,5 points	+ 1,53 DS	Temps : 4 minutes 17 (0 DS)

Eloïse présente d'importantes difficultés au niveau des compétences visuo-constructives mises en évidence lors de la copie. Elle semble par moment se perdre dans son dessin. Le score de reproduction en mémoire, cependant, est dans la norme, et réalisé rapidement. Les résultats peuvent révéler chez elle des difficultés à porter son attention sur les détails présents lorsqu'elle a la copie sous les yeux. Les praxies visuo-constructives sont à renforcer.

Attention et fonctions exécutives

‡ **Attention visuelle sélective et soutenue – T2B (test des 2 barrages)**

Barrage	Omissions	Additions	Vitesse : signes/min (ESIQ)	Inexactitude (ESIQ)	Rendement (ESIQ)	Temps
B1	33	0	104 (-1,77)	26 (- 6 ,5)	95,8 (-2,7)	576 min
B2	3	6	35 (-2,25)	9,3 (-0,13)	97 (-1,7)	/

Au barrage 1, Eloïse parle d'autres choses, se décourage rapidement, mais parvient à se reprendre. Le flux est irrégulier avec quelques accélérations. Cet exercice demande à Eloïse beaucoup de concentration, qu'elle a du mal à maintenir de façon constante. Au barrage 2, Eloïse s'arrête et a besoin d'être relancée.

Au niveau des résultats, Eloïse met du temps pour barrer les signes, surtout lors de l'épreuve du 2^{ème} barrage. Le nombre d'omissions est très élevé au B1, soulevant des difficultés importantes à sélectionner une seule information visuelle parmi d'autres, contrairement au B2, au cours duquel Eloïse obtient un score d'inexactitude dans la norme, mais au détriment de la vitesse. La situation de double tâche semble être plus stimulante que la situation de barrage simple pour Eloïse.

L'attention visuelle sélective et soutenue est à renforcer.

‡ **Planification – Tour de Londres**

Note	Points	Score (DS)
K (nombre d'essais)	24	-0,7
A (temps de résolution)	65	-2,2

Eloïse met du temps à résoudre certains problèmes indépendamment de leur niveau de difficulté, mais le nombre d'essais réalisés est satisfaisant. Elle se représente difficilement le résultat final et présente de fortes persévérations. Cela révèle des difficultés de planification.

‡ **Mémoire de travail visuo-spatiale - Blocs de Corsi**

Empan endroit : 4, soit **-1,8 DS**

Empan envers : 4, soit **-0,9 DS**

Eloïse se mélange dans les derniers chiffres ce qui l'empêche de réussir les derniers empan.

Elle parvient à retenir le même nombre de cubes en empan endroit et en empan envers, mais le score endroit se traduit par une déviation standard plus importante. Eloïse semble avoir davantage mobilisé son attention pour l'épreuve en empan envers qui lui semblait compliquée par rapport à la première.

En tout cas, la mémoire de travail reste à renforcer.

Conclusion :

Eloïse présente des difficultés dans les domaines suivants :

- Qualité graphique, avec une hypertonie au niveau de la prise du stylo
- Coordinations bimanuelles
- Equilibre, maîtrise de balles
- Attention, planification, mémoire de travail

Certains éléments rejoignent le Trouble déficit de l'Attention avec ou sans Hyperactivité (inattention et agitation à l'école et à la maison, difficultés de planification et de flexibilité) posé par le pédopsychiatre. Au niveau de l'écriture, nous retrouvons également les éléments allant dans le sens d'une dysgraphie. De plus, il serait intéressant de creuser davantage au niveau de la motricité globale avant d'aller vers l'hypothèse d'un Trouble Développementale des Coordinations. Eloïse semble rencontrer des difficultés au niveau de la motricité globale, mais un questionnaire serait intéressant afin d'avoir des informations sur les difficultés perçues au quotidien. Le test d'imitation de gestes Bergès-Lezine serait également intéressant afin d'avoir plus de renseignements sur les praxies.

Cependant, Eloïse présente des points forts dans d'autres domaines :

- Bonne prise du stylo
- Compréhension des consignes

- Mise au travail sans problème
- Capacité à se reprendre lors de décrochages attentionnels afin de mener son travail au bout □
Compliance.

Une prise en charge en psychomotricité est indiquée pour accompagner Eloïse dans une amélioration des capacités attentionnelles et motrices, notamment graphiques.

Des aménagements peuvent être proposés à l'école afin de soulager Eloïse sur le plan attentionnel (la placer proche du tableau, lui accorder d'être assise sur un ballon plutôt que sur une chaise, placer un élastique sous ses pieds, car elle se concentre mieux lorsqu'elle est en mouvement).

Un bilan orthoptique pourrait être intéressant afin de vérifier la qualité de la recherche visuelle. Nous n'avons pas à ce jour de bilans sensoriels.

b) Bilans d'imagerie motrice

Rappel : Ces différents tests sont décrits à la fin de la partie théorique, dans la partie IV.1.

N'ayant pas, à l'heure actuelle, d'étalonnage quant à ces différents tests, nous ne comparerons pas Eloïse à une norme pour son âge. Ces tests permettront néanmoins d'avoir une idée sur les capacités d'IM actuelles d'Eloïse et de comparer les résultats obtenus avant puis après le protocole, afin de voir l'évolution d'Eloïse.

✦ **Hand Rotation Task HRT** (Puyjarinet, Connan & Soppelsa (soumis)) : Cette épreuve consiste à déterminer la latéralité de différents segments corporels.

J'ai repris les images utilisées par Puyjarinet (2015) pour l'étalonnage de ce test, actuellement en cours. Seules les 20 premières photos ont été traitées, compte tenu de la fatigabilité d'Eloïse durant cette épreuve.

Durant cette épreuve, il est demandé à Eloïse de déterminer, le plus vite possible, la latéralité de chacune des mains présentées. Elle doit garder ses mains sous le bureau et, à la présentation de la main, m'indiquer s'il s'agit d'une main droite ou d'une main gauche.

Nombre de bonnes réponses : **12/20 (60%)**

Avant l'exercice, elle sait me montrer sa main droite et sa main gauche, mais lorsque je lui demande de me montrer sa main droite et sa main gauche, elle répond rapidement, en se trompant. Je lui

demande « es-tu sûre ? » : elle se corrige et parvient à m'expliquer pourquoi c'est l'inverse (position face à face).

Cet exercice semble assez coûteux pour Eloïse, qui était déjà très fatiguée ce matin. Elle baille beaucoup. Une fois la main vue, Eloïse a tendance à regarder en l'air, comme pour réfléchir, et ne semble pas au maximum de ses capacités attentionnelles.

Eloïse réalise parfois quelques mouvements de mains, sans les regarder : on peut supposer qu'elle s'imagine le mouvement à réaliser pour arriver à la position de la main présentée, mais qu'elle a du mal à inhiber le mouvement réel. Autrement dit, Eloïse présente des difficultés à s'imaginer produire le mouvement sans le réaliser (partiellement).

Les temps de réponse d'Eloïse varient entre 2 secondes et 13 secondes, avec une moyenne de 5,4 secondes. La rotation médiane se fait normalement plus rapidement que la latérale, car ce mouvement est bio mécaniquement plus facile à réaliser. En effet, Eloïse met généralement moins de temps sur ce type d'orientation. Certaines mauvaises réponses sont probablement dues à son impulsivité, mais Eloïse semble tout de même présenter des difficultés en rotation mentale.

Ce test soulève des difficultés de rotation mentale et, implicitement, des difficultés en imagerie motrice.

‡ **Movement Imagery Questionnaire - Revised Second version (MIQ-RS)** : Evalue les capacités d'IM visuelle et kinesthésique.

Pour ce test, je demande à Eloïse de réaliser des mouvements que je décris oralement. Elle doit ensuite évaluer la qualité de l'image visuelle et de ses ressentis kinesthésiques lorsqu'elle s'imagine reproduire ces mêmes mouvements.

Les réponses possibles sont : Très difficile / Assez difficile / Difficile / Neutre (ni facile ni difficile) / Assez facile / Facile / Très facile. Elles sont données par le patient après la réalisation réelle puis mentale du mouvement.

Mouvement à réaliser	Imagerie visuelle	Imagerie kinesthésique
Fléchissement du genou	Très facile	Assez facile
Lever le bras tendu au-dessus de la tête	Difficile	Très facile
Déplacement du bras tendu	Assez facile	Facile

Fléchissement du haut du corps	Très facile	Neutre
Etendre le bras	Très difficile	Difficile
Inclinaison du haut du corps et mouvement de bras (comme si on attrape un verre d'eau)	Très facile	Assez difficile
Inclinaison du haut du corps et mouvement de bras (« faire semblant d'ouvrir une porte »)	Facile	Assez facile

Les résultats d'Eloïse sont hétérogènes. Elle semble être légèrement plus sensible aux ressentis des mouvements qu'à leur visualisation.

Eloïse dit mieux ressentir le mouvement lorsqu'elle ferme les yeux. Elle prend son temps à chaque question avant de dire « c'est bon » (mouvement vu ou ressenti). Pour elle, cet exercice est « plus difficile que les mains mais plus amusant » que le test de rotation de mains.

Bien que certains mouvements soient plus difficiles que d'autres à visualiser et à ressentir, **les réponses données par Eloïse tendent vers l'hypothèse qu'elle soit capable d'avoir accès à une image visuelle et une image kinesthésique d'un mouvement réalisé.**

En effet, dans l'expérience menée en 2012 par Williams et *al.*, le groupe d'enfants TDC et le groupe d'enfants TDA/H avec TDC associé présentent un déficit lors de cette tâche par rapport au groupe contrôle (voir partie théorique).

‡ **Visually Guided Pointing Task VGPT** (Puyjarinet, Connan & Soppelsa (en préparation)):

Epreuve de pointage faisant appel aux capacités de chronométrie mentale

Taille de la boîte cible (niveau de difficulté croissant)	Temps de réalisation en condition réelle (secondes)	Temps de réalisation en condition imaginée (secondes)
40 mm (plus facile)	5,2	9
20 mm	5,2	8,2
10 mm	5,4	4,5
5 mm	5,8	5,2

2,5 mm (plus difficile)	6	4,7
-------------------------	---	-----

En condition réelle, Eloïse met environ le même temps pour presque toutes les cibles. Normalement, plus la cible est petite, plus le temps augmente car le geste demande plus de précision (loi de Fitts). Les résultats d'Eloïse respectent cette loi, mais l'augmentation du temps de réalisation ne semble pas vraiment proportionnelle à l'augmentation de la taille des boîtes cibles. Le fait que l'augmentation de la vitesse soit si faible lorsque l'on augmente en difficulté (cible plus petite) peut en partie être expliqué par un manque de précision de la part d'Eloïse.

En condition imaginée, les temps d'IM diminuent (sauf pour 5 mm) au lieu d'augmenter avec la difficulté : la précision n'est pas prise en compte, la loi de Fitts n'est pas respectée.

Au début, la concordance entre le mouvement réel et imaginaire est très faible, mais se régularise ensuite un peu plus. Selon les articles de la littérature, la corrélation entre mouvement réel et imaginaire est souvent faible chez les enfants TDA/H avec TDC associé (Williams et *al.*, 2012), alors qu'elle est normalement à un point d'écart au maximum (Pujyjarinet, 2016, in Fergusson et *al.*, 2015). Ces résultats soulèvent encore une fois les difficultés d'Eloïse en imagerie motrice.

Conclusion du bilan d'imagerie motrice : Bien qu'Eloïse semble avoir accès à l'imagerie motrice, les résultats des différents tests montrent qu'elle est parfois en difficulté avec cette capacité, qu'elle **n'utilise pas de façon efficace**. Nous pouvons supposer des difficultés de simulation mentale des mouvements et du contrôle moteur prédictif. Un travail via cette méthode pourrait l'aider dans différents domaines : dans le contrôle du geste, dans l'anticipation, dans la programmation du mouvement, dans la prise en compte des facteurs internes et externes et enfin à porter attention sur ses différents ressentis lors des mouvements.

c) Conclusion générale du bilan psychomoteur et des tests d'imagerie motrice

Eloïse semble présenter des difficultés de programmation motrice de ses mouvements, les rendant peu efficaces et peu fluides. Cela se retrouve en motricité globale et en motricité fine, notamment dans l'écriture. De plus, cette instabilité est amplifiée par son impulsivité et par son inattention. Aider Eloïse à séquencer les étapes de ses actions, à focaliser son attention sur des aspects spécifiques, pourrait contribuer à améliorer son contrôle moteur.

Concernant l'écriture, l'entrée au collège présentera de nouvelles exigences : capacité de production, de rédaction, multitâche, vitesse... La qualité graphique doit donc être maîtrisée, tout en conservant une vitesse normale, avant d'entrer en classe de 6^{ème}.

Eloïse présente de bonnes compétences cognitives et un niveau de langage approprié. De plus, il s'agit d'une enfant de bonne volonté et compliant. Elle semble avoir besoin d'un cadre structuré, et ce type de rééducation, dont chaque séance est découpée en plusieurs parties, lui offre un champ diversifié en termes d'activités (timing prédictif, relaxation, écriture).

Ainsi, compte tenu du profil d'Eloïse, de sa personnalité, de ses difficultés, de ses aptitudes et ses besoins, un protocole d'IM axé sur la rééducation de l'écriture me semble pertinent.

De plus, cela pourrait, s'il y a généralisation, apporter des bénéfices dans divers domaines qui posent problème à Eloïse, et qui sont notamment impliqués dans l'écriture :

- Motricité fine et globale : L'IM l'aidera à anticiper les mouvements et ses conséquences. En effet, cela pourrait améliorer les capacités de représentation interne du mouvement et ainsi améliorer la programmation de la force relative et du timing, permettant ainsi un meilleur contrôle du mouvement.
- Fonctions exécutives : Plusieurs fonctions exécutives sont impliquées dans l'IM, comme nous avons pu le voir précédemment : la planification et la mémoire de travail y sont travaillées. Cette technique pourrait aussi aider Eloïse dans le contrôle de l'impulsivité, en apprenant à planifier ses gestes.
- Fonctions attentionnelles : Le temps de relaxation pourrait apprendre à Eloïse à se focaliser sur certaines choses précises, à réduire son agitation, à se détendre, et ainsi augmenter sa vigilance.

II. Mise en place du protocole de rééducation

1. Réalisation du protocole

A partir du protocole mis en place par Wilson et *al.* en 2002 auprès d'enfants TDC, Puyjarinet décrit un protocole de rééducation de la dysgraphie par l'imagerie motrice dans son article de 2015, constitué de 5 parties, décrites ci-dessous :

a) Entraînement au timing prédictif

Puyjarinet utilise un logiciel de rééducation des habiletés visuospatiales : « TV Neurones », jeu « Les abeilles ». Le principe est de reconnaître la trajectoire réalisée par l'abeille, décrite par une stimulation visuelle, puis de la visionner 3 fois et la visualiser mentalement, les yeux fermés. L'enfant délimite verbalement la durée de la trajectoire, et l'adulte lui donne un feedback à la fin de l'exercice : « trop tôt », « trop tard », ou « exact ». En cas d'imprécision, l'exercice peut être reproduit une ou deux fois.

N'ayant pas accès au logiciel « TV Neurones », j'ai réfléchi à un exercice faisant travailler les capacités de timing prédictif, avec le matériel disponible. J'ai alors disposé un tapis de façon à ce que la surface soit inclinée. Voici le déroulement de l'exercice : du haut du tapis, je lâche une balle qui roule (silencieusement) jusqu'à une barre horizontale, au sol. Eloïse doit dans un premier temps regarder le trajet de la balle. Puis je lui demande de fermer les yeux. Je l'informe lorsque je lâche la balle, et elle me dit « stop ! » lorsqu'elle estime que la balle a atteint la barre. Je lui fait un feedback en lui disant : « trop tôt », « trop tard » ou « exact ». Lorsque l'estimation est trop éloignée, je lui montre à nouveau le trajet, et nous recommençons l'exercice une ou deux fois. Cet exercice dure environs 5 minutes. La taille des balles varie (balle de ping-pong, balle de tennis, petite balle en mousse...) au cours des séances, ainsi que la distance du tapis à la barre horizontale, afin de minimiser l'effet d'apprentissage de la durée du trajet.

b) Méditation pleine conscience

La pleine conscience est une approche méditative qui entraîne à être vigilant de façon consciente à ce qui se passe dans son corps (sensations, émotions, pensées, états d'esprit) et à l'extérieur, en adoptant une attitude de bienveillance et d'ouverture (Rosenfeld, 2007). L'objectif est d'apprendre aux enfants à réguler les sensations corporelles, stabiliser l'attention et la préparation des enfants sur leurs ressentis corporels et développer leurs capacités d'analyse des sensations. Selon Flook (2010), cet outil a prouvé son intérêt dans les capacités attentionnelles des enfants, notamment dans le travail scolaire et les apprentissages.

Dans le protocole d'IM, on propose à l'enfant une séance de 5 à 10 minutes de méditation.

Pour réaliser cet exercice avec Eloïse, j'ai utilisé plusieurs supports audios dédiés aux enfants. Il s'agit principalement d'enregistrements issus du livre « *calme et attentif comme une grenouille* » (2012), un CD de méditation pleine conscience adaptée aux enfants de 7 à 10 ans. J'ai également sélectionné d'autres audios afin de diversifier les méthodes et les contenus, et de trouver ce qui correspondait le mieux à Eloïse (méditation sans mouvements du corps, avec mouvements du corps, davantage axés sur la respiration, ou sur des images visuelles, assis ou couché, etc.).

c) Observation de séquences vidéo

Dans le protocole de Puyjarinet, une séquence vidéo préalablement filmée est visionnée par l'enfant. Cette séquence contient la production d'une lettre isolée, d'un digramme, d'un trigramme ou encore d'un mot, en lettres cursives. La vidéo est filmée d'un point de vue interne, pour que l'enfant s'imagine ensuite lui-même en train d'écrire. Les graphèmes sont écrits entre deux lignes éloignées

de 4 millimètres de largeur. J'ai adapté les séquences vidéo aux problématiques d'Eloïse, en fonction de son âge et de son niveau scolaire, ainsi que des objectifs à travailler. De ce fait, nous avons directement commencé par travailler des trigrammes, puis des mots, sans passer par les lettres isolées, en évoluant vers des mots courts puis des mots longs, reprenant les lettres travaillées. Pour les deux premières vidéos, les deux lignes horizontales étaient présentes sur la feuille filmée, mais, constatant les difficultés d'Eloïse qui se concentrait trop sur ces deux lignes, j'ai réadapté les séquences vidéo en ne mettant qu'une seule ligne.

d) Imagerie motrice

Pour cet exercice, l'enfant est invité à fermer les yeux et à créer une image mentale de ce qu'il vient de visualiser (forme des lettres, lignes...), puis à s'imaginer en train d'écrire les mêmes lettres, de la façon la plus proche possible que sur la vidéo. Cet exercice est réalisé 3 fois. La première fois se fait avec descriptions verbales de l'adulte pour aider l'enfant à faire attention à toutes les étapes de production écrite et aux ressentis kinesthésiques (au niveau du poignet, des doigts, tensions et relâchements...). J'ai essayé de respecter au maximum ce format avec Eloïse, en adaptant lorsqu'il y avait besoin : pour les mots compliqués par exemple, j'apportais plus d'aide verbale, ou je rajoutais une séquence d'imagerie, il m'arrivait aussi de lui demander d'exprimer ses ressentis en même temps ou après.

e) Ecriture en réel

Toujours dans le protocole mené par Puyjarinet, les enfants ouvrent les yeux afin d'écrire les graphèmes réellement, sur une feuille. Puis ils réalisent une nouvelle fois les graphies en imagerie, avant de les écrire une dernière fois réellement.

Le thérapeute peut guider chaque enfant sur ses ressentis durant les étapes d'imagerie et de production réelle : caractéristiques spatiales des lettres formées, caractéristiques temporelles, sensations corporelles (recrutement tonique). Lors des productions en IM, les enfants sont confortablement installés sur leur chaise, les mains posées à plat sur les cuisses ou la table. Avec Eloïse, il a parfois été nécessaire de visualiser à nouveau la vidéo, lorsqu'elle ne se souvenait plus des patterns (premières séances). Je lui demandais alors de réaliser à nouveau le schéma moteur en imagerie motrice, avant de le faire en réel.

2. Choix des lettres et caractéristiques à travailler avec Eloïse

Tout d'abord, il m'a fallu repérer les principales difficultés mises en évidence dans le BHK de Eloïse : beaucoup de lettres sont ambiguës, mais en plus de la forme des lettres, un travail sur leur

organisation spatiale se révèle nécessaire (taille des lettres, liens entre elles) afin d'améliorer la fluidité. J'ai sélectionné les lettres les plus problématiques : a, b, v, n, m, p, d.

Les problématiques ne sont pas les mêmes en fonction des lettres : il s'agit pour certaines d'un manque de lisibilité lié à la forme, pour d'autres à la taille, ou encore à l'enchaînement avec les autres lettres.

- ⑨ « a » : le sens de tracé et la liaison posent problème
- ⑨ « d » : le sens de tracé et la forme ne sont pas corrects. La lettre ressemble fortement au « l ».
- ⑨ « b » et « v » : la liaison et la taille sont à travailler
- ⑨ « m » , « n » et « p » : la forme de ces lettres est très ambiguë

L'observation de vidéos et la pratique en imagerie et en réel seront donc axées sur chacune des problématiques des lettres sélectionnées.

Il est important de prendre en compte le début de personnalisation de l'écriture d'Eloïse, scolarisée en CM2. Certains patterns sont automatisés, et n'ont donc pas besoin d'être modifiés s'ils ne portent pas à confusion (par exemple le « f », qui reste lisible malgré sa forme personnalisée).

La forme de ces lettres est notamment affectée par leur sens de tracé, leur liaison avec la lettre précédant ou suivante. Un travail sur le geste et l'enchaînement est donc nécessaire avec Eloïse. Pour cela, j'ai directement choisi de travailler sur des trigrammes. Je les ai choisis parmi la liste des trigrammes les plus courants dans la langue française.⁵

Trigramme	Nbre apparition	Fréquence	Trigramme	Nbre apparition	Fréquence
ent	3.760	0,78%	res	1.958	0,41%
ait	3.461	0,72%	ais	1.950	0,41%
que	3.328	0,69%	des	1.907	0,40%
ede	2.561	0,53%	ere	1.905	0,40%
les	2.210	0,46%	our	1.791	0,37%
ant	2.100	0,44%	qui	1.760	0,37%
ous	2.080	0,43%	men	1.669	0,35%
lle	2.021	0,42%	ela	1.609	0,33%
eme	1.985	0,41%	une	1.601	0,33%
tre	1.975	0,41%	ien	1.600	0,33%

J'ai ensuite choisi des mots constitués des trigrammes travaillés, pour les séances suivantes. Cette sélection a également été faite selon les mots les plus fréquemment écrits dans la langue française.

Après la séance de relaxation, Eloïse était invitée à venir au bureau regarder la vidéo au cours de laquelle ma main traçait la suite de lettres.

⁵ <http://wxfrantz.free.fr/index.php?p=comptage-bigrammes-trigrammes>

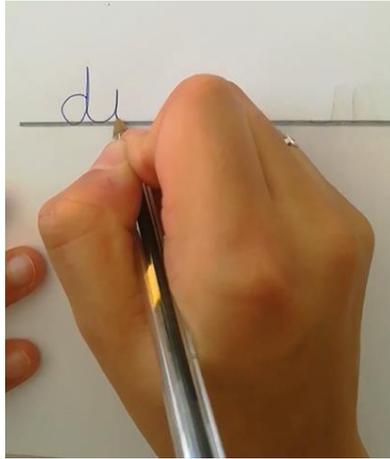


Image d'une des séquences vidéos présentées

3. Déroulement et évolution des séances

a. Comportement général d'Eloïse au fil des séances

Lors des premières séances, Eloïse semble très fatiguée en arrivant le matin (séance à 8h15), elle baille, comme si elle sortait du lit. Au fil des séances, elle se montre plus en forme et plus motivée. Elle sait ce que l'on va travailler et ce que j'attends d'elle. Elle prend goût aux activités, manifeste l'envie de bien faire et de voir sa progression.

b. Timing prédictif

Lors de la première séance, Eloïse a beaucoup de difficultés à prédire le bon timing du trajet de la balle. Elle l'évalue beaucoup plus long que sa durée réelle. Lors de la 2^{ème} séance, le laps de temps simulé du trajet est encore trop long, mais il se rapproche du temps exact au 3^{ème} essai. Au cours des séances suivantes, Eloïse s'est nettement améliorée. Les temps simulés vont de 2 secondes trop tôt à des temps « parfaits ». Généralement, la simulation du trajet est très proche du temps réel lors du premier essai, un peu trop tôt lors du second et exact lors du troisième essai. Cet exercice ne lui pose plus du tout problème lors des dernières séances. Eloïse me dit qu'elle « s'imagine bien le tapis et le trajet de la balle quand elle ferme les yeux ».

c. Méditation pleine conscience

Dès la première séance, Eloïse me dit avoir apprécié ce moment. Cependant, elle ne semble pas très à l'aise au cours de cette première expérience de pratique. Elle ne ferme pas les yeux, et me regarde souvent. Elle s'agite au bout d'une minute mais se stabilise à nouveau rapidement. Lors de la séance suivante, je lui propose donc de faire l'exercice en même temps qu'elle, pensant qu'elle sera plus à l'aise. En effet, Eloïse me dit avoir préféré ainsi, se sentant moins observée. Les consignes dictées sont davantage respectées car, de plus, elle me voit les appliquer (respirer profondément, etc.).

A partir de la séance 3, je lui propose une petite couverture et un oreiller pour qu'elle se sente encore plus à l'aise, car j'ai l'impression que la situation la bloque encore, ne lui permettant pas de se relâcher totalement. En effet, ce matériel l'incite à s'allonger plutôt qu'à rester assise, et enfin à fermer les yeux, et ce, durant toute la durée de la relaxation (avec parfois une ouverture pour voir si je faisais les mouvements, si j'écrivais, etc.).

Je tente de varier les supports audios pour trouver ce qui correspond le mieux à Eloïse. A chaque fin d'exercice de méditation pleine conscience, je lui demande d'exprimer ses ressentis, de comparer cette méditation avec les autres déjà expérimentées. Eloïse est moins à l'aise lorsqu'il y a des mouvements à faire (type yoga), ou lorsque la voix est masculine (dans un seul audio). Elle se sent plus détendue lorsqu'il y a des éléments imaginaires visuels (imaginer une salle, un tapis magique...). Au fil des séances, je remarque un réel engouement de la part d'Eloïse à l'administration du moment de méditation. Elle la présente comme son « étape préférée ». Elle prend le temps de s'installer confortablement et joue de mieux en mieux le jeu (respiration, respect des conseils...), même lorsque je ne fais pas l'exercice en même temps qu'elle.

Lors des dernières séances, nous prenons plus de temps sur l'expression des ressentis kinesthésiques (lors de la respiration profonde, ressentis de chaleur ou fraîcheur, lorsqu'elle a ramené ses genoux contre son ventre et sa tête contre ses genoux...). Je la guide en lui posant des questions, mais elle a du mal à y répondre. Nous faisons donc à nouveau un petit exercice de relaxation, mené par moi-même. Elle parvient ensuite plus facilement à exprimer ses ressentis, sur lesquels elle s'est davantage concentrée.

4. Imagerie motrice et écriture

Durant les trois premières séances, nous travaillons des trigrammes : la forme et la taille des lettres, ainsi que les liaisons et levés de crayon. Deux trigrammes sont travaillés par séance. Lors des premières séances, Eloïse ne semble pas très motivée. Les phases d'IM sont longues par rapport à la durée réelle d'écriture du trigramme et elle bouge parfois ses doigts, comme si elle écrivait pour de vrai : cela met en évidence des difficultés à imaginer le mouvement sans le faire. Généralement, je dois lui montrer plusieurs fois la vidéo, et ce, même après l'écriture réelle des lettres. Elle semble avoir du mal à se baser sur la vidéo, et surtout à visualiser le geste en imagerie. En effet, elle écrit spontanément de la façon dont elle l'habitude d'écrire (mauvais sens, lettres ambiguës...) puis essaye d'ajuster en repassant sur ses lettres. Cela peut également être dû à son impulsivité : Eloïse ne prend pas le temps de se rappeler de ce qu'elle a visualisé et des erreurs à ne pas faire, mais se précipite sur la tâche, pour se rendre compte après de l'inexactitude de ses tracés.

Lors des séances 4 et 5, nous travaillons des mots courts (5-6 lettres) reprenant les trigrammes travaillés, et nous progressons vers des mots longs (10 à 13 lettres) au cours des séances 6, 7 et 8. Au fil des séances, Eloïse se montre de plus en plus motivée sur l'écriture. Lors de la séance 4, elle commence à tracer sa lettre et la recommence aussitôt à côté en me disant : « oh non, je veux que ce soit parfait ! ».

Eloïse prend désormais le temps d'analyser les vidéos, elle repère d'elle-même les levés de stylo, observe le sens et la forme des lettres. La durée d'écriture des mots est de plus en plus réaliste (plus proche de la durée réelle du mouvement), ce qui me fait penser qu'Eloïse parvient mieux à se représenter le mouvement dans sa tête. A partir de la séance 5, je lance la vidéo en même temps qu'elle commence à s'imaginer en train d'écrire. Je suis agréablement surprise qu'elle termine à chaque fois exactement au même moment que la fin de la vidéo. Cela peut aussi être mis en parallèle avec les progrès remarquables à l'exercice du timing prédictif (première étape du protocole). Lors de l'écriture, Eloïse parvient de mieux en mieux à retracer ce qu'elle a visualisé sur la vidéo (et normalement en IM), sans avoir besoin de revoir la vidéo.

Lors de la séance 6, Eloïse semble effrayée à la présentation du premier mot long : « probablement » reprenant les trigrammes « pro » et « ent » travaillés précédemment, elle pense qu'elle n'y arrivera pas et s'arrête d'écrire au milieu du mot. Je lui montre alors la vidéo une deuxième fois, elle imagine à nouveau le geste en bougeant légèrement ses doigts sur le bureau, comme si elle écrivait. Je l'aide en lui dictant les syllabes, puis elle le fait d'elle-même et parvient à l'écrire seule correctement. Lors de la séance 7, le mot est aussi long, mais elle ne se décourage pas. Dès la première visualisation de la vidéo, elle repère les levés de crayon et reconnaît les lettres et trigrammes déjà travaillés au sein du mot (« immédiatement ») : les lettres « m » et « d » et le trigramme « men » ou « ent ». Cette fois-ci, elle me dit avoir bien senti dans ses doigts et son poignet les levés de crayon (détente) pendant l'IM. En effet, nous avons davantage insisté sur cet aspect au cours de la méditation pleine conscience menée juste avant.

A la fin des séances, je reprends parfois les trigrammes/ mots travaillés la séance précédente sans lui remonter de modèle, afin de voir si l'apprentissage s'est stabilisé. En général, Eloïse s'en souvient bien. D'autres fois, elle a besoin que je la reprenne et que je lui redonne un indice verbal (sens, sur quoi avons-nous travaillé, est ce que je levais le stylo entre ces deux lettres dans la vidéo...), puis elle se corrige rapidement et efficacement. Je laisse aussi Eloïse écrire la date, qui reprend généralement une ou deux lettres déjà travaillées.

5. Autoévaluations

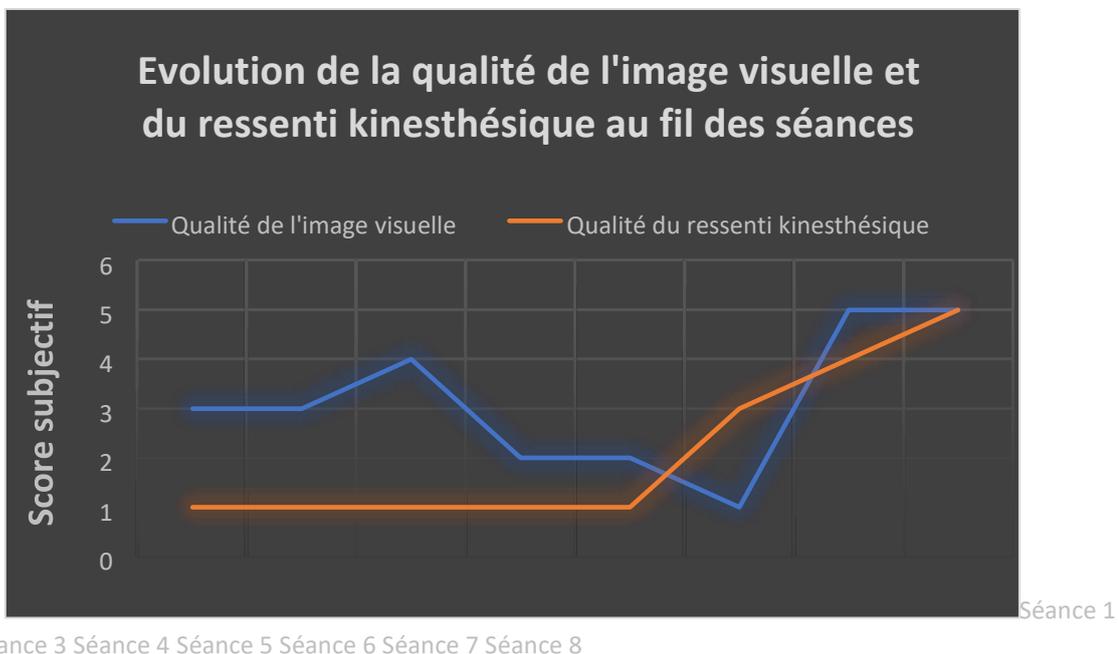
Après chaque séance, Eloïse s'autoévalue sur chaque exercice : le timing prédictif (autoévaluation sur la réussite), la relaxation (autoévaluation de l'état de détente, le niveau attentionnel pendant et après l'exercice), l'imagerie motrice (autoévaluation sur la qualité de la visualisation du geste et sur la qualité des ressentis kinesthésiques durant la phase mentale), l'écriture (qualité graphique). (Annexe 6, p. IV).

Eloïse a tendance à être sévère avec elle-même, surtout sur l'imagerie motrice et l'écriture. Souvent, elle n'est pas très cohérente entre ce qu'elle exprime directement après l'exercice et la note qu'elle se met. Mais, lors des dernières séances, nous prenons le temps de discuter après chaque étape, et je lui donne la feuille d'auto-évaluation juste après qu'elle m'ait exprimé ses ressentis et sa satisfaction ou insatisfaction. Ainsi, les résultats sont beaucoup plus en accord, et donc positifs.

Voici un graphique représentant l'évolution subjective d'Eloïse concernant la qualité de l'image visuelle et des ressentis kinesthésiques au fil des séances.

Notation, de 1 à 5 :

0 = Pas du tout / 1 = Pas vraiment / 2 = Moyennement / 3 = Oui, assez / 5 = Totalement



Concernant la qualité de l'image visuelle au cours de l'imagerie motrice : Eloïse considérait visualiser moyennement ses mouvements lors des premières séances, et assez bien lors de la 3^{ème}. Mais cette qualité a ensuite diminué, pour s'améliorer considérablement lors des dernières séances.

Concernant la qualité des ressentis kinesthésiques, Eloïse ne parvenait pas du tout à ressentir les sensations que procurent le mouvement d'écriture. Ce n'est qu'à partir de la séance 6 que l'amélioration a lieu.

Nous pouvons émettre l'hypothèse d'une influence de la taille des mots sur la qualité de visualisation et des ressentis. En effet, lorsque les mots sont plus longs à écrire, Eloïse pourrait avoir plus le temps de visualiser le mouvement et de ressentir les conséquences sensorielles de ces derniers. De plus, cette amélioration est en partie à mettre en lien avec le temps de discussion pris directement après l'imagerie, plutôt qu'à la fin de la séance. Eloïse venait de réaliser la phase d'IM et prenait le temps de réfléchir à ce qu'elle avait vu/ ressenti. D'une part, elle était moins impulsive dans sa notation et plus cohérente avec ce qu'il venait de se passer, et d'autre part, elle était plus à même d'analyser ses ressentis, faisant appel à la mémoire kinesthésique, immédiatement plutôt qu'après un laps de temps.

Nous pouvons tout de même émettre l'hypothèse d'une amélioration de l'IM, compte tenu d'une meilleure qualité de visualisation interne du mouvement et des ressentis kinesthésiques associés à ce mouvement. Evidemment, nous devons rester vigilants sur ces hypothèses, les évaluations étant très subjectives. Nous ne savons pas ce qu'il se passait réellement au niveau cognitif chez Eloïse lors de la phase d'imagerie motrice.

6. Conclusion

Eloïse a fait de remarquables progrès sur le plan clinique entre la première séance et la dernière séance. Les améliorations sont notables sur toutes les phases du protocole :

- **Timing prédictif** : Eloïse est passée d'une prédiction de durée beaucoup trop longue par rapport à la durée réelle du trajet de la balle (séances 1 et 2) à une prédiction un peu trop courte (séances 3 et 4) pour arriver enfin à une prédiction parfaitement juste (à partir de la séance 5).
- **Méditation pleine conscience** : Au début, Eloïse était très inhibée, elle ne suivait pas vraiment les consignes de respiration ou de position, et ne parvenait pas du tout à exprimer ses ressentis, mise à part « c'était bien ». De plus, je remarquais souvent des signes d'agitation au cours de l'exercice (elle ouvre les yeux, joue avec sa bague...). Au fil des séances, elle était de plus en plus à l'aise, prenait le temps de respirer et de jouer le jeu. Ce n'est que lors des dernières séances qu'elle a su verbaliser ses ressentis de façon suffisamment complète (air chaud/froid, ventre qui gonfle, étirement et relâchement des muscles, visualisations externes...).
- **Imagerie motrice** : Cet entraînement, tout nouveau pour Eloïse, était très compliqué au début. Les phases d'écriture en IM étaient très longues par rapport à la durée réelle du mouvement. De plus,

Eloïse disait ne rien ressentir au niveau kinesthésique. Au fil des séances, elle semblait avoir compris le but de l'exercice et le prenait à cœur. Elle se concentrait vraiment pour repérer les points importants dans chaque vidéo, et les visualiser ensuite au mieux. Lors des dernières séances, elle était capable de me décrire ses ressentis. De plus, le temps d'IM était concordant avec le temps réel d'écriture.

- **Écriture** : Au début, Eloïse avait du mal à se baser du premier coup sur ce qu'elle avait visualisé sur la vidéo. Elle écrivait avec des formes ambiguës et peu fluides, et repassait dessus pour les améliorer. Elle avait besoin de voir les vidéos plusieurs fois. Petit à petit, elle a amélioré la forme de ses lettres et respecté les sens de tracés et les levés de crayon observés sur la vidéo et travaillés en IM puis en pratique réelle. J'ai pu constater un maintien de l'apprentissage lorsqu'elle écrivait les trigrammes travaillés au sein de mots, et même lorsqu'elle écrivait la date.

Tous ces constats m'amènent à penser que le protocole complet d'IM a conduit chez Eloïse à amélioration de la fluidité de son écriture. Cette dernière semble découler de progrès dans le timing prédictif, dans la méditation plein conscience, et donc la centration sur les ressentis kinesthésiques et proprioceptifs, et dans l'IM en elle-même. La motivation a certainement eu une influence très positive sur ces différents progrès.

III. Adaptations mises en place auprès d'Eloïse

1. Rôle du psychomotricien concernant la prise en charge d'un enfant TDA/H Selon les recommandations de la HAS (Haute Autorité de Santé) de 2014, « le psychomotricien [...] a la formation et les compétences nécessaires pour participer à l'évaluation des troubles moteurs : ceux qui constituent les symptômes du TDA/H (hyperactivité, impulsivité), ceux qui font partie des comorbidités (TDC, dysgraphie), ainsi que les troubles cognitifs associés au TDA/H (trouble des fonctions attentionnelles, des fonctions exécutives, de l'aversion du délai). Il est en mesure d'apprécier l'évolution des manifestations symptomatiques et dispose d'un ensemble de tests étalonnés pour se faire. Il joue un rôle central dans la mise en œuvre des prises en charge rééducatives axées sur les fonctions motrices et/ou cognitives et la relaxation. ».

2. Adaptations mises en place

Le psychomotricien doit adapter sa prise en charge aux difficultés rencontrées par l'enfant. Dans le cadre d'un TDA/H, il s'agit souvent de déficits au niveau des processus attentionnels, de l'inhibition de la réponse, de la mémoire de travail et de la gestion temporelle, à prendre en compte.

J'ai donc adapté le déroulement des séances au profil d'Eloïse afin d'optimiser ses progrès et de maintenir sa motivation.

Il a aussi été nécessaire de matérialiser le temps et l'organisation afin de palier au déficit de perception du temps. Pour Eloïse, j'ai construit un tableau avec les différentes étapes de la séance illustrées. Au début, elle avait du mal à se rappeler des différents exercices et de leur ordre. Ce support l'a bien aidé pour les séances suivantes. Dès le début de la séance, je lui demandais de me décrire oralement les différentes étapes de la séance. Elle parvenait à me les restituer en décrivant précisément les images du tableau (voir 6 p. IV). De plus, je lui montrais régulièrement l'horloge afin de l'aider à visualiser le temps restant.

Concernant les troubles externalisés (hyperactivité, impulsivité) et les troubles internalisés (inattention, déficit de mémoire de travail, planification, gestion temporelle), j'ai aidé Eloïse sur la base de quelques principes essentiels dans la prise en charge de l'enfant TDA/H :

Afin de maintenir la motivation d'Eloïse et de l'encourager, il a été indispensable d'utiliser des renforcements positifs immédiats et continus, tels que des encouragements verbaux (« super », « bravo »), des retours quant à ses progrès... En effet, ces derniers augmentent la fréquence d'apparition d'un comportement adapté, et se montrent efficaces dans l'amélioration des habiletés motrices (Sigmundsson, 1998 in Giromini, Albaret, Scialom, 2015). De plus, je laissais Eloïse mettre sa note (couleur) sous forme d'autoévaluation pour chacune des étapes. Cela la motivait (elle complétait les ronds par des smileys, comme sur le modèle, et cela lui plaisait beaucoup) et la rendait davantage actrice dans sa prise en charge, tout en lui permettant de prendre conscience de son comportement.

Ensuite, face aux comportements impulsifs d'Eloïse, il m'a fallu utiliser la technique de l'arrêt de l'action en cours (« stop and go »). Cette dernière permet à l'enfant d'inhiber son comportement, de contrôler et arrêter sa réponse impulsive. Elle se fait en trois étapes : « Stop » (le psychomotricien l'arrête), puis « Ecoute » (le psychomotricien répète la consigne), puis « Vas-y » (l'enfant reprend la tâche). Par exemple, lorsque je présentais la vidéo à Eloïse, elle se précipitait parfois à écrire en oubliant de bien la regarder et en oubliant qu'il y avait une phase d'imagerie avant cette phase d'écriture. Ou encore, lors des autoévaluations, elle ne prenait pas le temps de réfléchir à ses performances mais se précipitait sur la boîte de feutres pour se noter. Ses évaluations n'étaient donc pas toujours cohérentes (sous-évaluées).

3. Attentes de résultats

Les épreuves de réévaluation n'ont pas pu être administrées, compte tenu de la situation sanitaire qui a suspendu les soins. De ce fait, je vais me limiter, dans cette partie, à décrire les résultats attendus

après ce protocole. Je vais pour cela me baser sur les objectifs initiaux de celui-ci, sur mes observations cliniques et sur l'évolution d'Eloïse au cours du suivi. Bien évidemment, ce ne sont que des hypothèses. Nous ne pouvons actuellement pas les confirmer.

a. Hand Rotation Task (HRT)

Eloïse avait rencontré beaucoup de difficultés lors de ce test de rotation mentale, qui utilise de façon implicite l'IM. En effet, nous avons émis l'hypothèse d'une incapacité à utiliser efficacement les modèles internes par Eloïse. De plus, cette épreuve nécessite de l'attention, pénalisant Eloïse, qui répondait parfois avec impulsivité.

En 2019, Puyjarinet a mené une étude de cas auprès d'un enfant TDC et dysgraphique. Cet enfant présentait des difficultés en IM, ainsi qu'une impulsivité cognitive. Il a bénéficié d'une rééducation de cette impulsivité, puis d'un protocole d'IM axé sur une rééducation de l'écriture. Concernant le HRT, son pourcentage de réussite s'est amélioré de 5 % entre l'évaluation pré protocole et l'évaluation post protocole.

Si le protocole d'IM va dans le sens d'une amélioration de l'utilisation de ces processus internes pour Eloïse, nous pourrions nous attendre à ce que cette tâche soit mieux réussie.

b. Movement Imagery Questionnaire - Revised Second version (MIQ-RS)

Lors de ce test, Eloïse avait manifesté quelques difficultés à ressentir et surtout à visualiser les mouvements qu'elle venait de faire.

En effet, lors des premières séances d'IM, et ce pendant longtemps, Eloïse avait beaucoup de mal à visualiser le geste de l'écriture ainsi qu'à ressentir au niveau corporel les conséquences de l'action. Elle mettait ces difficultés en évidence lors de ses autoévaluations. Ce n'est que vers les dernières séances qu'Eloïse m'a exprimé ses ressentis, et qu'elle a pu s'autoévaluer avec de bonnes notes. Nous pouvons donc supposer que visualiser des mouvements d'un point de vue interne et en ressentir les sensations est aujourd'hui plus facile pour Eloïse, et que les scores d'autoévaluation de ce questionnaire seraient de ce fait plus élevés. Cependant, le questionnaire porte sur des mouvements de motricité globale, et non sur des gestes précis tels que l'écriture. Il n'est donc pas certain qu'Eloïse généralise ici la perception des ressentis.

c. Visually Guided Pointed Task (VGPT)

Avant le protocole, ce test avait également mis en valeur les difficultés d'Eloïse à utiliser l'IM, par une absence d'isochronie entre mouvement réel et mouvement imaginé et un non-respect de la loi de

Fitts.

Nous l'avons constaté, Eloïse s'est nettement améliorée sur l'épreuve du timing prédictif. Cela peut nous amener à l'hypothèse d'une amélioration de l'isochronie entre mouvement réel et mouvement imaginé. De plus, au fil des séances, la durée d'IM de l'écriture d'un mot était équivalente à la durée réelle de l'écriture du mot sur la vidéo. Il se pourrait qu'Eloïse, ayant fait des progrès à ce niveau-là, obtienne des résultats plus proches de la norme pour ce test.

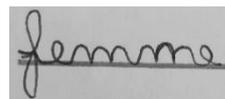
Dans l'étude menée par Puyjarinet en 2019, l'enfant avait passé le test Visual Radial Fitts Task (VRFT), dont le principe est le même que le VGPT (tâche de pointage). Cet enfant a montré une amélioration dans la corrélation entre les temps d'imagerie et les temps réels de pointage, alors que les résultats avant le protocole avaient mis en évidence une incapacité à respecter une forme de chronométrie mentale corrélée à la difficulté de la tâche.

d. BHK

Eloïse avait présenté un BHK déficitaire avant la mise en place de ce protocole de rééducation, avec une plainte exprimée par sa maîtresse à l'école concernant l'écriture. Elle avait obtenu le score de - 3 DS par rapport à la moyenne de sa classe (CM2). La vitesse, elle, était dans la norme (+ 0,7 DS).

L'objectif était donc d'améliorer la qualité graphique, tout en gardant une bonne vitesse, par un geste plus fluide et régulier : forme des lettres, enchaînements, rapports spatiaux. Nous avons travaillé tous ces critères lors de la prise en charge de l'écriture. Ces derniers étaient bien analysés par Eloïse au cours des visionnages de vidéos, et Eloïse les prenait en compte lorsqu'elle reproduisait les graphèmes. Ce protocole avait aussi pour but de l'aider à automatiser ses gestes, à améliorer le contrôle de ses gestes, comme nous l'avons expliqué dans la partie théorique.

Un mot du BHK, (« femme »), a été écrit par Eloïse vers la fin du protocole. Nous pouvons déjà faire une comparaison entre la qualité de ce mot avant le protocole et à la fin du protocole, tout en tenant compte des différents facteurs qui ont pu être impliqués : écriture du mot isolé en fin de protocole, motivation plus grande, enfant plus à l'aise...



Dans le BHK, avant le protocole

A la fin du protocole, après une séance d'imagerie

Les lettres travaillées dans ce mot étaient le « f » et le « m » (enchaînements, qualité). Nous pouvons déjà avec ce support constater une amélioration de la forme de ces lettres : Avant le protocole, les «

m » sont très imprécis, avec les ponts « pointus », semblables à des « u ». Après le protocole, Eloïse fait bien la jonction et on distingue bien les 2 lettres « m », avec des ponts arrondis. Le « f » est également plus arrondi et la forme plus harmonieuse.

De plus, la maitresse d'Eloïse a rapporté des progrès concernant l'écriture, dès le milieu du protocole de rééducation. Eloïse confirme cette amélioration.

En effet, dans l'expérience menée par Puyjarinet (2015, 2019, voir partie théorique), une amélioration significative de la qualité de l'écriture d'enfants TDC dysgraphiques avait eu lieu après 12 séances d'imagerie motrice. Puyjarinet avait corrélé cette amélioration à un meilleur contrôle moteur proactif, lié à l'entraînement à générer mentalement la production écrite et à ressentir les paramètres spatiaux, kinesthésiques et temporels du mouvement d'écriture (Puyjarinet, 2015).

Compte tenu des différentes observations décrites, nous pouvons nous attendre à un score qualité plus proche de la norme au BHK, sans pour autant être forcément dans la norme. Nous pouvons espérer une diminution de la dysgraphie chez Eloïse, voir un score seulement fragile par rapport à la norme. Cependant, il se peut que la vitesse d'écriture ait légèrement diminué, Eloïse se concentrant davantage sur la qualité et le sens des lettres.

Discussion

Tout d'abord, j'ai choisi cette technique de rééducation pour Eloïse en raison de ses compétences langagières, de son niveau intellectuel normal, mais aussi de ses difficultés en imagerie motrice qui ne semblaient tout de même pas totalement affectées. Compte tenu des difficultés dans les fonctions attentionnelles et de planification de cette enfant, il s'agissait d'après moi d'une technique intéressante, faisant travailler en parallèle ces différentes fonctions. De plus, il m'a semblé pertinent de me pencher sur l'imagerie motrice, technique qui demande une centration importante sur le moment présent, sur les ressentis proprioceptifs et kinesthésiques (de par la méditation pleine conscience et le travail en imagerie) et sur les aspects précis de l'écriture. Pour revenir sur la méditation pleine conscience, celle-ci apporte de nombreux bénéfices : elle permet de stabiliser l'attention, de réguler les cognitions et pensées automatiques ainsi que les émotions et les impulsions (André, 2016, in Kabat-Zinn, 2016). Etant donné tous ces aspects de l'imagerie motrice, ce type de rééducation m'a paru compatible avec le profil d'Eloïse, susceptible de lui apporter plusieurs bénéfices.

Concernant les résultats de ce protocole, il est difficile d'objectiver les progrès d'Eloïse. En effet, nous n'avons pas pu réévaluer ses capacités d'imagerie motrice ni la qualité de son écriture à partir des tests utilisés avant le protocole. De ce fait, nous ne pouvons pas faire de comparaison pré / post protocole pour quantifier l'évolution d'Eloïse dans ces domaines. Mais les observations cliniques faites au cours du protocole sont encourageantes. Nous l'avons constaté, Eloïse a fait de nets progrès au fil des séances, que ce soit au niveau du timing prédictif, de l'expression de ses ressentis et de l'écriture elle-même. Nous pouvons donc nous attendre à un meilleur score qualité au BHK, si Eloïse a bien généralisé ses progrès.

Mais ces derniers sont-ils directement liés au protocole d'IM ? En effet, notre hypothèse était d'améliorer l'écriture grâce à une utilisation plus efficace des programmes moteurs. Celle-ci semble difficilement validable sans avoir les résultats des tests d'IM. D'autres facteurs ont pu contribuer à ces résultats positifs. En effet, l'utilisation quotidienne de l'écriture à l'école, en classe de CM2, peut expliquer aussi une partie de son amélioration. Mais il reste fort probable que le protocole ait permis une base, accompagnant Eloïse dans son travail scolaire. De plus, l'IM a favorisé chez Eloïse une meilleure mobilisation de l'attention durant la tâche d'écriture. Il reste à s'assurer que la qualité graphique soit maintenue en situation de multitâche, notamment au collège, l'an prochain. Il aurait également été intéressant de voir, à l'aide d'un BHK, si Eloïse a diminué sa vitesse d'écriture en s'appliquant davantage sur la qualité de ses lettres. En effet, elle me partage vers la fin du protocole

qu'elle écrit mieux à l'école, sauf quand elle va vite. Eloïse a probablement encore besoin de se concentrer sur la forme et sur le sens des lettres, entraînant une diminution de la vitesse.

Je suis partie d'un protocole de base que j'ai adapté au fur et à mesure avec Eloïse. Initialement, je lui ai proposé de visualiser et d'écrire des trigrammes entre deux lignes. Ces repères la perturbant plus qu'autre chose, j'ai décidé de faire mes vidéos en écrivant les trigrammes/mots sur une seule ligne. En effet, cela s'est révélé beaucoup plus adapté à cette enfant. Concernant les enregistrements audios de méditation pleine conscience, j'ai essayé de sélectionner au maximum ceux qui se concentraient sur les ressentis corporels et la respiration pour aider Eloïse sur ces points. Pour l'inciter à réaliser les mouvements proposés dans l'enregistrement l'audio (respirer profondément, fermer les yeux, mettre la main sur le ventre...), je les effectuais parfois en même temps. Lors des visualisations de vidéos, j'insistais sur les levés de crayon (« hop !») pour faciliter les ressentis kinesthésiques lors du mouvement.

Enfin, les aménagements apportés auprès d'Eloïse ont contribué à la stimulation et au maintien de sa motivation. En effet, les grilles d'activités et d'auto-évaluations lui donnaient envie de progresser et d'aller jusqu'au bout du travail. Cela lui permettait d'admettre ses progrès ou les points à améliorer et la rendait ainsi actrice de sa prise en charge. Pour renforcer encore plus cette implication personnelle, nous aurions pu lui proposer de choisir ses mots, à partir des lettres à travailler, mais il aurait probablement fallu davantage de séances pour cela.

Si le protocole d'imagerie motrice va dans le sens d'une amélioration de l'utilisation de ces processus internes pour Eloïse, nous pourrions nous attendre à ce que la tâche de rotation mentale soit mieux réussie, comme dans l'étude de cas menée par Puyjarinet en 2015 (décrite précédemment). Mais il se peut que le nombre de séances n'ait pas été suffisant pour avoir une nette progression à ce niveau-là. Compte tenu de la meilleure capacité d'Eloïse à imaginer les gestes d'un point de vue interne et à en ressentir les conséquences proprioceptives, nous pouvons aussi penser qu'elle utilise les modèles internes de façon plus efficace. Enfin, nous émettons l'hypothèse d'une amélioration de la prédiction mentale du temps de mouvement, sur la base des bons résultats d'Eloïse au cours de l'épreuve de timing prédictif. Cependant, il est possible qu'Eloïse ait bénéficié d'un certain apprentissage lors de l'évaluation des trajets au fil des séances, surtout lorsque nous faisons plusieurs essais sur le même trajet. De plus, rien ne nous prouve qu'Eloïse ne trouvait pas des stratégies, comme compter mentalement, pour arriver au bon timing. J'ai pris en compte sa bonne volonté et son honnêteté, indispensables dans une telle rééducation, utilisant l'IM. Cependant, il aurait peut-être fallu varier les parcours d'une manière plus explicite pour être davantage confiant vis-à-vis de cette amélioration :

prédire la durée dans un parcours de bille construit différemment d'une séance à l'autre, faire rouler une balle sur un banc incliné...

Pour avoir encore plus d'indices sur l'évolution de l'écriture d'Eloïse, nous aurions pu utiliser comme ligne de base une tablette graphique, permettant d'établir une analyse plus précise (vitesse/qualité...). Enfin, comme l'a fait Puyjarinet dans son étude de cas de 2015, une rééducation des fonctions attentionnelles et exécutives, telles que la planification, la gestion de l'impulsivité et la mémoire de travail en amont du protocole d'IM aurait peut-être rendu ce dernier encore plus profitable à Eloïse.

En tout cas, nous avons constaté une écriture de plus en plus fluide au cours du protocole, non seulement lors des séances mais aussi à l'école (rapports de la maîtresse). Eloïse semble avoir pleinement bénéficié de cette rééducation.

Conclusion

L'objectif principal de ce mémoire était de savoir si un protocole basé sur l'imagerie motrice pouvait améliorer la qualité de l'écriture d'un enfant TDA/H dysgraphique. En effet, un tel protocole de rééducation a montré dans la littérature scientifique des résultats très positifs auprès d'enfants dysgraphiques. L'idée était aussi de prendre en compte les symptômes existants chez un enfant TDA/H, qui peuvent amplifier les difficultés graphiques et interférer dans l'apprentissage moteur par l'imagerie motrice.

En fin de protocole, nous n'avons pas pu réévaluer les capacités d'Eloïse avec les tests passés avant la réalisation du protocole pour pouvoir analyser objectivement l'évolution. Cependant, nous constatons, au fil des séances, non seulement une amélioration de la qualité de l'écriture, mais aussi une meilleure utilisation des processus cognitifs impliqués dans l'imagerie motrice. Parallèlement, une hausse de motivation se manifeste de la part d'Eloïse, ce qui contribue aussi à ses progrès.

Cette technique innovatrice a l'avantage d'être facilement réalisable car elle ne nécessite pas beaucoup de matériel et elle est peu coûteuse. Mais elle ne peut pas être utilisée avec tout type de patients. Les capacités langagières et cognitives doivent être suffisantes et l'accès à l'imagerie motrice ne doit pas être totalement déficient. De plus, il n'est pas possible pour le thérapeute de savoir précisément si l'enfant utilise réellement l'imagerie motrice. Il doit de ce fait se baser sur ses observations, l'évolution de l'enfant au cours des séances, l'expression de ses ressentis... Enfin, l'aspect motivationnel, la compliance et la relation thérapeutique sont entièrement impliqués dans l'efficacité de la rééducation.

Ce protocole s'est donc montré tout à fait adapté à Eloïse et semble avoir répondu à nos attentes en termes de progrès graphiques. Il me semblerait intéressant d'investiguer sur son effet concernant les processus attentionnels et les fonctions exécutives. De plus, les progrès d'Eloïse commençaient à réellement prendre forme en fin de protocole (non seulement concernant la généralisation de la forme et de l'enchaînement des graphèmes, mais aussi la qualité subjective des ressentis kinesthésiques). Un protocole plus long aurait probablement été encore plus efficace.

Bibliographie

- 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
- Adi-Japha, E., Landau, Y. E., Frenkel, L., Teicher, M., Gross-Tsur, V., & Shalev, R. S.** (2007). ADHD and dysgraphia: underlying mechanisms. *Cortex*, *43*(6), 700-709.
- Albaret, J. M., Arnaud, C., Assaiante, C., Gonzalez-Monge, S., Huron, C., Jolly, C., ... & VaivreDouret, L.** (2019). Trouble développemental de la coordination ou dyspraxie.
- Albaret, J. M., Giromini, F., & Scialom, P.** (2015). *Manuel d'enseignement de psychomotricité: Tome 2-Méthodes et techniques*. De Boeck Supérieur.
- Albaret, J. M., Giromini, F., & Scialom, P.** (2018). *Manuel d'enseignement de psychomotricité: Tome 4-Sémiologie et nosographies psychomotrices*. De Boeck Supérieur.
- Albaret, J.-M., Kaiser, M.L., & Soppelsa, R.** (2013). *Troubles de l'écriture chez l'enfant*. De Boeck Supérieur.
- Albaret, J.-M., Marquet-Doléac, J., & Soppelsa, R.** (2011). Psychomotricité et Trouble Déficit de l'Attention/Hyperactivité : Nouvelles perspectives dans l'approche de l'enfant agité et distrait. *Developpements*, n° 9(3), 9-16.
- American Psychiatric Association.** (2015). *DSM-5-Manuel diagnostique et statistique des troubles mentaux*. Elsevier Masson.
- Benoit, C., & Soppelsa, R.** (1996). Mise en pratique de l'analyse neuropsychologique de l'écriture dans la reeducation. *Evolutions psychomotrices*, 120-124.
- Berthoz, A.** (1997). *Le sens du mouvement*. Odile Jacob
- Biotteau, M., Danna, J., Baudou, É., Puyjarinet, F., Velay, J. L., Albaret, J. M., & Chaix, Y.** (2019). Developmental coordination disorder and dysgraphia: signs and symptoms, diagnosis, and rehabilitation. *Neuropsychiatric disease and treatment*, *15*, 1873.
- Butson, M. L., Hyde, C., Steenbergen, B., & Williams, J.** (2014). Assessing motor imagery using the hand rotation task: Does performance change across childhood?. *Human movement science*, *35*, 50-65.
- Canchy-Giromini, F., Albaret, J. M., & Scialom, P.** (Eds.). (2015). *Manuel d'enseignement de psychomotricité: clinique et thérapeutiques*. De Boeck-Solal.
- Capodieci, A., Lachina, S., & Cornoldi, C.** (2018). Handwriting difficulties in children with attention deficit hyperactivity disorder (ADHD). *Research in developmental disabilities*, *74*, 41-49.
- Chaix, Y., & Albaret, J. M.** (2013). Trouble de l'Acquisition de la Coordination et déficits visuospatiaux. *Développements*, (2), 32-43.

- Chartrel, E., & Vinter, A.** (2006). Rôle des informations visuelles dans la production de lettres cursives chez l'enfant et l'adulte. *L'Année psychologique*, 106(1), 43-63.
- Cohen, R., Cohen-Kroitoru, B., Halevy, A., Aharoni, S., Aizenberg, I., & Shuper, A.** (2019). Handwriting in children with Attention Deficient Hyperactive Disorder : Role of graphology. *BMC Pediatrics*, 19(1), 484.
- 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.
- Crammond DJ.** Motor imagery: never in your wildest dream. *Trends in neurosciences*, 20(2), 5457.
- Feder, K. P., & Majnemer, A.** (2007). Handwriting development, competency, and intervention. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 49(4), 312-317.
- 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.
- Fitzgerald, J., & Shanahan, T.** (2000). Reading and writing relations and their development. *Educational Psychologist*, 35(1), 39-50.
- Flapper, B. C., Houwen, S., & Schoemaker, M. M.** (2006). Fine motor skills and effects of methylphenidate in children with attention-deficit-hyperactivity disorder and developmental coordination disorder. *Developmental medicine and child neurology*, 48(3), 165-169.
- Flook, L., Smalley, S. L., Kitil, M. J., Galla, B. M., Kaiser-Greenland, S., Locke, J., ... & Kasari, C.** (2010). Effects of mindful awareness practices on executive functions in elementary school children. *Journal of applied school psychology*.
- Gentili, R., Papaxanthis, C., & Pozzo, T.** (2006). Improvement and generalization of arm motor performance through motor imagery practice. *Neuroscience*, 137(3), 761-772.
- Goldstein, S., & Naglieri, J. A.** (2014). Executive functioning. *A Goldstein, Sam.*
- 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. *Movement Sport Sciences*, 67, 9-38.
- Gueugneau, N., Pozzo, T., & Papaxanthis, C.** (2007). La simulation mentale du mouvement: Données expérimentales et implications cliniques. *Kinésithérapie scientifique*, (475), 29-37.
- Guilbert, J., Jouen, F., Lehalle, H., & Molina, M.** (2013). Imagerie motrice interne et simulation de l'action chez l'enfant. *L'Année psychologique*, 113(3), 459-488.
- Habib, M.** (2011). Le cerveau de l'hyperactif: entre cognition et comportement. *Développements*, (3), 26-40.

- Hacquet, C.** (2018). L'imagerie motrice, une technique qui s'inscrit dans la prise en charge psychomotrice du patient post-AVC (Université de Toulouse, Université Toulouse III-Paul Sabatier).
- Hepp-Reymond, M.-C., Chakarov, V., Schulte-Mönting, J., Huethe, F., & Kristeva, R.** (2009). Role of proprioception and vision in handwriting. *Brain Research Bulletin*, 79(6), 365-370.
- Hughes, D. C., Keeling, B., & Tuck, B. F.** (1983). Effects of Achievement Expectations and Handwriting Quality on Scoring Essays. *Journal of Educational Measurement*, 20(1), 65-70.
- Irani, F.** (2011). Visuospatial ability. In J. S. Kreutzer, J. DeLuca, & B. Caplan (Eds.), *Encyclopedia of Clinical Neuropsychology* (pp. 2656-2656). New York: Springer.
- Jeannerod, M.** (1995). Mental imagery in the motor context. *Neuropsychologia*, 33(11), 1419-1432.
- Kabat-Zinn, J.** (2016). *Au cœur de la tourmente, la pleine conscience*. De Boeck Supérieur.
- Kaiser, M. L.** (2009). *Facteurs endogènes et exogènes influençant l'écriture manuelle chez l'enfant* (Doctoral dissertation, Université de Toulouse, Université Toulouse III-Paul Sabatier).
- Kasari, C.** (2010). Effects of mindful awareness practices on executive functions in elementary school children. *Journal of applied school psychology*.
- Lameira, A. P., Guimarães-Silva, S., Ferreira, F. M., Lima, L. V., Pereira Jr, A., & Gawryszewski, L. G.** (2008). Postura da mão e imagética motora: um estudo sobre reconhecimento de partes do corpo. *Brazilian Journal of Physical Therapy*, 12(5), 379-385.
- Langmaid, R. A., Papadopoulos, N., Johnson, B. P., Phillips, J. G., & Rinehart, N. J.** (2014). Handwriting in Children With ADHD. *Journal of Attention Disorders*, 18(6), 504-510.
- Lebon, F., Gueugneau, N., & Papaxanthis, C.** (2013). Modèles internes et imagerie motrice. *Movement & Sport Sciences - Science & Motricité*, (82), 51-61.
- Loison, B., Moussaddaq, A. S., Cormier, J., Richard, I., Ferrapie, A. L., Ramond, A., & Dinomais, M.** (2013). Translation and validation of the french movement imagery questionnaire—revised second version (MIQ-RS). *Annals of physical and rehabilitation medicine*, 56(3), 157-173.
- Lotze, M.** (2013). Kinesthetic imagery of musical performance. *Frontiers in human neuroscience*, 7, 280.
- Lotze, M., & Halsband, U.** (2006). Motor imagery. *Journal of Physiology-Paris*, 99(4-6), 386-395.
- Marquet-Doléac, J., Soppelsa, R., & Albaret, J. M.** (2006). Validation d'un protocole d'apprentissage de l'inhibition sur une population d'enfants avec Trouble de l'Attention/Hyperactivité. *Entretiens de Psychomotricité 2006*, 90-99.
- Massé, L.** (2012). Les difficultés d'écriture des élèves ayant un trouble de déficit d'attention avec ou sans hyperactivité et quelques pistes d'intervention. *Vie pédagogique*, 160, 86-90

- Molina, M., Tijus, C., & Jouen, F.** (2008). The emergence of motor imagery in children. *Journal of experimental child psychology*, 99(3), 196-209
- Munzert, J., Lorey, B., & Zentgraf, K.** (2009). Cognitive motor processes: the role of motor imagery in the study of motor representations. *Brain research reviews*, 60(2), 306-326.
- Page, S. J., Levine, P., & Leonard, A. C.** (2005). Effects of mental practice on affected limb use and function in chronic stroke. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 86(3), 399-402.
- Page, S. J., Levine, P., Sisto, S. A., & Johnston, M. V.** (2001). Mental practice combined with physical practice for upper-limb motor deficit in subacute stroke. *Physical Therapy*, 81(8), 1455-1462.
- Perrin, J.** (2002). *Principes d'analyse clinique de l'écriture* (Doctoral dissertation).
- Puyjarinet, F.** (2015). Intérêt de l'imagerie motrice dans la rééducation de la dysgraphie chez l'enfant. Entretiens de Psychomotricité.
- Puyjarinet, F.** (2016). L'imagerie motrice dans la rééducation de la dysgraphie : De la théorie à l'organisation de la pratique thérapeutique.
- Puyjarinet, F.** (2019). Intérêts de la pratique de l'imagerie motrice dans la rééducation de l'écriture des enfants dysgraphiques.
- Puyjarinet, F., Connan, J.-F., & Soppelsa, R** (en préparation). Le Test de la tâche radiale de Fitts : standardisation et étalonnage chez des enfants de 7 à 11 ans.
- Puyjarinet, F., Connan, J.-F., & Soppelsa, R** (soumis). Le Test d'Imagerie Motrice Implicite (TIMI-1) : standardisation et étalonnage chez des enfants de 7 à 11 ans.
- Racine, M. B., Majnemer, A., Shevell, M., & Snider, L.** (2008). Handwriting Performance in Children With Attention Deficit Hyperactivity Disorder (ADHD). *Journal of Child Neurology*, 23(4), 399-406.
- Re, A. M., Pedron, M., & Cornoldi, C.** (2007). Expressive Writing Difficulties in Children Described as Exhibiting ADHD Symptoms. *Journal of Learning Disabilities*, 40(3), 244-255.
- Rizzolatti, G., & Sinigaglia, C.** (2008). *Mirrors in the brain: How our minds share actions and emotions*. Oxford University Press, USA.
- Rosenfeld, F.** (2007). Méditer c'est soigner. *Les Arènes du livre*, 6.
- Roy, A.** (2015). Approche neuropsychologique des fonctions exécutives de l'enfant: état des lieux et éléments de prospective. *Revue de neuropsychologie*, 7(4), 245-256.
- Schuster, C., Hilfiker, R., Amft, O., Scheidhauer, A., Andrews, B., Butler, J., Kischka, U., & Ettlin, T.** (2011). Best practice for motor imagery : A systematic literature review on motor imagery training elements in five different disciplines. *BMC Medicine*, 9(1), 75.

- Smith-Zuzovsky, N., & Exner, C. E.** (2004). The effect of seated positioning quality on typical 6 and 7-year-old children's object manipulation skills. *American Journal of Occupational Therapy*, 58(4), 380-388.
- 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., Vinçon, S., Blank, R., Quadrado, V. H., Polatajko, H., & Wilson, P. H.** (2018). Evaluating the evidence for motor-based interventions in developmental coordination disorder: A systematic review and meta-analysis. *Research in Developmental Disabilities*, 74, 72-102.
- Smits-Engelsman, B. C. M., Westenberg, Y., & Duysens, J.** (2008). Children with developmental coordination disorder are equally able to generate force but show more variability than typically developing children. *Human Movement Science*, 27(2), 296-309.
- Snel, E., & Van Rillaer, J.** (2012). *Calme et attentif comme une grenouille: la méditation pour les enfants avec leurs parents*. Les Arènes.
- Soppelsa, R., Abizeid, C. M., Chéron, A., Laurent, A., Danna, J., & Albaret, J. M.** (2016). Dysgraphies et rééducation psychomotrice: Données actuelles. *Les Entretiens de psychomotricité*, 511.
- Thoulon-Page, C., & de Montesquieu, F.** (2018). *La rééducation de l'écriture de l'enfant et de l'adolescent: Pratique de la graphothérapie-Bilan et rééducation*. Elsevier Health Sciences.
- Van Zomeren, A. H., & Brouwer, W. H.** (1994). *Clinical neuropsychology of attention*. Oxford University Press.
- Williams, J., Omizzolo, C., Galea, M. P., & Vance, A.** (2013). Motor imagery skills of children with Attention Deficit Hyperactivity Disorder and Developmental Coordination Disorder. *Human Movement Science*, 32(1), 121-135.
- 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).
- Wilson, P. H., Adams, I. L. J., Caeyenberghs, K., Thomas, P., Smits-Engelsman, B., & Steenbergen, B.** (2016). Motor imagery training enhances motor skill in children with DCD: A replication study. *Research in Developmental Disabilities*, 57, 54-62.
- Wilson, P. H., Maruff, P., Butson, M., Williams, J., Lum, J., & Thomas, P. R.** (2004). Internal representation of movement in children with developmental coordination disorder: a mental rotation task. *Developmental medicine and child neurology*, 46(11), 754-759.

Wilson, P. H., Maruff, P., Ives, S., & Currie, J. (2001). Abnormalities of motor and praxis imagery in children with DCD. *Human Movement Science*, 20(1-2), 135-159.

Wilson, P. H., Thomas, P. R., & Maruff, P. (2002). Motor Imagery Training Ameliorates Motor Clumsiness in Children. *Journal of Child Neurology*, 17(7), 491-498.

Zesiger, P. (1995). Écrire : Approches cognitive, neuropsychologique et développementale. FeniXX.

Zesiger, P. (2003). Acquisition et troubles de l'écriture. *Enfance*, 55(1), 56.

Annexes

Résumé

L'Imagerie Motrice (IM) consiste à imaginer une action motrice, sans la réaliser réellement. Son efficacité a été prouvée dans le domaine de la rééducation de troubles moteurs auprès de patients atteints de troubles neurologiques (Accident Vasculaire Cérébral), mais aussi dans l'amélioration d'habiletés motrices auprès d'enfants atteints d'un Trouble Développemental de la Coordination (TDC), et dans l'amélioration de l'écriture des enfants dysgraphiques.

Nous nous intéressons particulièrement à ce dernier cas dans ce mémoire. Le protocole est mené auprès d'une enfant dysgraphique avec un Trouble Déficit de l'Attention avec ou sans Hyperactivité (TDA/H).

Un protocole d'imagerie motrice contribuera-t-il à une amélioration significative de la qualité graphique de son écriture, en tenant compte des spécificités liées à son TDA/H ? Quels seront les aménagements nécessaires afin d'optimiser l'efficacité de cette rééducation ?

Mots clés : Dysgraphie, Imagerie motrice, Trouble Déficit de l'Attention avec ou sans Hyperactivité, Trouble Développemental de la Coordination

Abstract

Motor imagery consists of imagining a motor action, without actually carrying it out. Its effectiveness has been proven in the field of rehabilitation of motor disorders in patients with neurological disorders (stroke), but also in improving motor skills in children with Developmental Coordination Disorder (DCD), and in improving the writing of dysgraphic children.

We are particularly interested in the last case in this report. The protocol is conducted with a dysgraphic child with Attention Deficient Hyperactive Disorder (ADHD).

Will a motor imagery protocol contribute to a significant improvement in the graphic quality of his writing, taking into account the specificities linked to his ADHD? Which adjustments will be necessary to optimize the effectiveness of this rehabilitation?

Keywords: Dysgraphia, Motor imagery, Attention Deficit Hyperactivity Disorder, Developmental Coordination Disorder

