



Université Toulouse III
Paul Sabatier Faculté de Médecine de Toulouse Rangueil
Institut de Formation en Psychomotricité

Régulation tonique et dysgraphie :
Application du biofeedback comme support de rééducation
d'un trouble tonique dans l'écriture

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

– Juin 2017 –

Huguet Mélanie

Table des matières

Introduction	5
Partie théorique.....	7
I) L'écriture	7
A- Apprentissage.....	7
B- Théories et modèles dynamiques.....	8
1) Théorie et approche dynamique de la coordination	8
2) Modèle oscillatoire d'Hollerbach	10
3) Etudes de l'approche dynamique de la coordination graphomotrice	11
C- Les variables : facteurs endogènes et exogènes.....	13
1) Les facteurs endogènes.....	14
2) Les facteurs exogènes	17
II) Troubles de l'écriture chez l'enfant : La dysgraphie	18
A- Origines des troubles de l'écriture	18
1) Déficit de la programmation motrice et l'exécution du geste	19
2) Gestion de contrainte.....	19
B- Caractéristiques de l'écriture dysgraphique	20
1) Lisibilité.....	20
2) Vitesse	21
C- Evaluation de l'écriture	21
1) Mesure du processus grâce à la tablette digitale	22
2) Mesure de la trace à l'aide du BHK	23
D- Troubles associés et comorbidités	25
E- Tonus et dysgraphie	25
III) La place du tonus dans l'écriture	27
A- Les 3 formes classiques du tonus.....	27
B- Evolution du tonus dans le membre scripteur.....	27
C- Tonus et écriture	28
1) Tonus d'action et de posture	28
2) Prise et posture	29
3) Pression dans l'écriture	30
4) Un exemple de trouble tonique : La crampe des écrivains.....	31

D-	Lien entre régulation tonique et écriture	32
1)	Etude de Carter et Russel	32
2)	Etude de Jackson, Jolly et Hamilton	33
	Partie pratique.....	35
I)	Méthode de biofeedback.....	36
A-	Définition.....	36
B-	Principes et mécanisme	37
C-	Mise en place du dispositif.....	38
II)	Présentation de l'enfant.....	40
A-	Anamnèse.....	40
B-	Les différents Bilans	41
C-	Bilan psychomoteur	44
III)	Utilisation du biofeedback comme rééducation de l'écriture	47
A-	Protocole	47
B-	Description des séances	49
IV)	Résultats.....	54
A-	Mesures externes.....	54
1)	Mesure cinématique du Pangramme.....	54
2)	Résultat test-Retest du BHK :	58
B-	Résultats de la méthode de biofeedback sur le tonus musculaire :	62
V)	Discussion.....	64
A-	Les mesures externes.....	64
1)	BHK :	64
2)	Tablette :	66
3)	Comparaison résultats Tablette/BHK :.....	68
B-	Les mesures internes :	69
	Conclusion	71
	Bibliographie.....	73

Introduction

L'écriture est l'un des plus anciens modes de communication dans notre civilisation, ce mode s'est beaucoup développé et a évolué à travers les siècles.

Malgré le développement des différents modes de communication grâce aux nouvelles technologies notamment, l'apprentissage de l'écriture manuscrite reste essentiel dans de nombreuses tâches de la vie quotidienne. De plus c'est un facteur prédictif de réussite scolaire.

Des variabilités entre les différents scripteurs existent malgré que les enfants reçoivent un apprentissage commun dès la grande section de maternelle. De plus, le style appris à partir du cahier d'écriture, s'atténue avec le temps et la personne développe ses préférences personnelles d'écriture. Dans ce contexte de personnalisation, l'écriture manuscrite apporte davantage d'informations sur l'individu, contrairement aux textes électroniques ou imprimés.

L'écriture manuscrite est un outil de communication, un moyen d'apprendre, de mémoriser et de synthétiser des contenus scolaires. Le caractère de permanence de l'écriture, permet d'accumuler rapidement un ensemble d'informations, d'évaluer et d'établir des connexions entre les idées. C'est aussi un outil pour penser car il permet d'exprimer ses idées de façon rigoureuse et claire.

Enfin, c'est un moyen de mieux se connaître et de mieux se porter. En effet, l'expression écrite de ses émotions produit des effets comparables à ceux d'autres traitements en termes de diminution du taux de maladie notamment dans des situations de traumatisme. (Smyth, 1998)

De nombreuses études ont permis d'élargir nos connaissances sur l'écriture manuscrite. Notamment grâce aux différentes techniques d'imagerie, mais aussi aux ordinateurs et aux tablettes graphiques qui ont permis de décrire et d'analyser plus précisément le mouvement permettant d'acquérir une trace comme produit final.

Lors de mon stage long de troisième année en libéral, j'ai rencontré Tom, un enfant dysgraphique ayant une hypertonie marquée lors du passage à l'écrit. Cette hypertonie, l'empêchait d'écrire sur du long terme et lui déclenchait des douleurs.

A la suite de ces différentes constatations, je me suis alors demandée :

Le retour d'information consciente sur l'état tonique de l'avant-bras en situation d'écriture est-elle efficace sur la qualité et la vitesse de celle-ci ?

Dans une première partie théorique je présenterai les modèles et théories dynamiques de l'écriture ainsi que ses différentes composantes. Ensuite, j'exposerai les caractéristiques d'une écriture dysgraphique, son évaluation et les troubles qui peuvent y être associés. Enfin, je développerai en dernière partie le tonus dans l'activité graphique.

Dans une deuxième partie pratique, je mettrai en avant les principes et l'utilisation du biofeedback. Je présenterai l'enfant grâce aux différents bilans et je décrirai les séances mises en place. Puis, je comparerai les résultats du BHK et de la tablette graphique avant et après la rééducation afin de pouvoir montrer l'effet de la diminution du tonus musculaire dans l'activité d'écriture sur son trouble de l'écriture.

Partie théorique

I) L'écriture

A- Apprentissage

L'écriture est un long processus d'apprentissage qui résulte de nombreuses compétences.

Selon Lurçat, (1980), l'enfant passe plusieurs années à expérimenter et à exercer ses capacités de production grapho-motrice au travers du gribouillage, du dessin et de la « pseudo-écriture », avant de pouvoir acquérir l'écriture manuscrite.

L'enfant passe par trois stades d'apprentissage :

- Stade 1 : du gribouillage à la naissance des premières formes
- Stade 2 : il prend conscience de la forme
- Stade 3 : il maîtrise son tracé

La capacité de l'enfant à créer et à contrôler les mouvements nécessaires à l'apposition d'une trace est en lien avec l'ajustement dynamique de sa posture et de ses différents points d'appui. En effet, la stabilité de sa position va au fur et à mesure lui permettre de libérer son bras scripteur et sa main.

Lurçat (1974) étudie le mouvement mis en jeu dans l'acte graphique, sa forme et son contenu, afin de mettre en évidence les origines motrices et perceptives permettant le tracé. Ce mouvement est donc réalisable grâce à de multiples exigences, dont notamment la coordination des multiples articulations de la main, du poignet, du coude et de l'épaule qui va permettre la formation des lettres, des chiffres et des symboles. De plus, pour tenir un stylo et le guider sur la feuille, les signaux sensoriels de la peau, des articulations et des muscles de la main permettent une adaptation nécessaire au frottement du crayon sur le papier.

Enfin, les activités d'écriture sont améliorées au fil des années, automatisées et stockées en mémoire en tant que programme moteur.

B- Théories et modèles dynamiques

1) Théorie et approche dynamique de la coordination

De multiples travaux ont montré que le comportement est fonctionnellement soutenu par la théorie des systèmes dynamiques non-linéaires. En effet, un comportement est dit non-linéaire lorsque, sous l'influence de paramètres, il se modifie brusquement et de façon qualitative.

Un paramètre tel que la vitesse peut pourtant évoluer de manière linéaire et entraîner une modification progressive du comportement du système. Cependant, à partir d'une certaine valeur critique du ou des paramètres, on observe une brusque transition du système vers un autre type de comportement.

Selon Kelso, cette approche permet de mettre en évidence la production de mouvements coordonnés, ainsi que leur changement en fonction du contexte dans lequel les individus se situent. Le concept central de cette approche est celui de la stabilité : il permet de comprendre la formation, le maintien et la dégradation de la coordination motrice mise en jeu dans la production d'un geste.

L'étude de la coordination motrice est issue des théories de l'auto-organisation et s'intéresse aux relations spatio-temporelles entre l'ensemble des composantes du corps humain qui interagissent pour réaliser une action motrice.

L'idée principale de l'auto-organisation est celle de l'émergence du comportement, à partir des propriétés du système, des paramètres environnementaux, et du temps. Un comportement très organisé et complexe peut naître spontanément sans planification préalable.

Les mouvements complexes, soumis aux contraintes de la tâche et de l'environnement sont le résultat d'interactions entre les différentes composantes qui se synchronisent. On assiste alors à l'émergence d'une structure spatio-temporelle stable appelée patron de coordination.

Ici, la synchronisation peut être définie comme « un ajustement rythmique d'objets oscillants à partir de leur interaction, aussi faible soit-elle » (Pikovsky et al. 2001). Le couplage entre deux oscillateurs peut se mesurer par leur décalage temporel

c'est à dire la différence de phase entre les oscillateurs que nous appelons la phase relative. Elle prend une valeur de 0° lorsque les oscillateurs sont en phase et de 180° lorsque ceux-ci sont en antiphase.

Les travaux de Kelso sont révélateurs de ces phénomènes propres à la coordination motrice. Suite à une première expérience en 1981, où les participants réalisaient des oscillations rythmiques avec leur index de chaque main, il décrit deux patrons de coordinations qui démontrent que les changements spontanés de modèles de coordinations bi-manuelles résultent d'une perte de stabilité.

Suite à cela, Scholz et Kelso (1990) ont voulu démontrer que la dynamique de coordination spontanée devrait influencer le processus de changement intentionnel entre les patrons comportementaux.

Dans cette expérience, les sujets devaient alors déplacer leur index rythmiquement et de façon coordonnée selon deux patrons :

- en phase : flexion et extension simultanés des index avec activation des muscles homologues
- ou en antiphase : extension d'un index quand l'autre est fléchi

Puis lors d'un signal auditif, ils changeaient de patron de coordination. Le temps de passage du patron de coordination en phase à un patron en antiphase était significativement plus lent que le passage en sens inverse. Les résultats montrent que, si on met de l'intention dans le changement d'un patron vers un autre, cela influence la dynamique intrinsèque. Cependant, l'influence de ces dynamiques sur le comportement qui apparaît, est toujours présente et est particulièrement forte à des fréquences de mouvement élevées.

En effet, à des fréquences de mouvement supérieures à 2 Hz, le mouvement en antiphase que l'on appelle syncopation devient impossible et l'on adopte spontanément la synchronisation. Ce changement abrupt entre syncopation et synchronisation révèle une réorganisation comportementale qualifiée de transition de phase qui est due à un éloignement de l'équilibre et donc une perte de stabilité du patron initial lors d'une fréquence dite critique. Il permet l'étude de l'adoption spontanée et de l'abandon de patrons de coordination.

Ce modèle théorique a alors été appliqué à la graphomotricité par de nombreux auteurs qui ont montré que les formes basiques de l'écriture cursive peuvent être

reproduites par le couplage de deux oscillateurs linéaires orthogonaux, surimposé à une translation continue - soit de haut en bas et de droite à gauche ainsi qu'un déplacement de gauche à droite pour le sens de l'écriture. Ces éléments fournissent les bases d'une approche dynamique de la coordination graphomotrice qui permettront l'étude de l'écriture de manière préliminaire.

2) Modèle oscillatoire d'Hollerbach

L'activité graphique résulte principalement de la coordination rythmique du poignet et de la pince des doigts que l'on assimile à un couplage d'oscillations auxquelles est ajouté un mouvement de translation du membre scripteur de la gauche vers la droite :

- Les articulations digitales participant à la prise permettent une oscillation antéro-postérieure dans le sens longitudinal de la feuille
- Le mouvement du poignet engendre une oscillation latérale dans le sens transversal de la feuille

Le modèle d'Hollerbach (1981) a donc permis une modélisation de la formation de la trace écrite à partir de la combinaison de ces deux oscillations. Les lettres qui sont produites, sont donc le résultat des oscillations couplées dans les directions horizontales et verticales ainsi que le déplacement du stylo sur la feuille qui se produit de la gauche vers la droite engendrant une séparation spatiale des différentes lettres.

Selon Saillagoïty (2004), si on prend l'exemple de l'écriture, où les formes graphiques peuvent être décrites par différentes relations de phase entre les composantes du système graphomoteur (Hollerbach, 1981), la production d'un mot s'effectue par le passage volontaire d'un patron de coordination à un autre.

Le système moteur impliqué dans l'écriture possède des propriétés d'auto-organisation.

En effet, il existe des orientations préférentielles qui nous permettent de comprendre les processus de formation des formes graphiques plus ou moins stables, leur déstabilisation en réponse à une contrainte telle que la vitesse de mouvement, ainsi que le passage intentionnel d'une forme à une autre.

3) Etudes de l'approche dynamique de la coordination graphomotrice

Diverses données expérimentales ont montré la présence d'une dynamique de coordination dans l'écriture.

En effet, Buchanan et collaborateurs (1996) ont étudié la coordination motrice dans une tâche de formation de trajectoire en 2D de l'index droit. Les participants devaient produire avec leur index deux formes graphiques correspondant à un patron de coordination : un « 8 » et à un « 0 ». Ces formes étant différentes par leurs mouvements spécifiques d'abduction-adduction et de flexion-extension du poignet et des doigts. (Danna, 2011)

La production de ces patrons suivait la fréquence d'un métronome auditif qui augmentait progressivement.

Les résultats ont montré que pour une fréquence de mouvement faible, les formes 8 et 0 pouvaient être produites de manière stable et que la forme 0 pouvait être maintenue quelle que soit la fréquence imposée. En revanche, quand les participants commençaient par la forme 8, un passage abrupt à la forme 0 était observé à une valeur de fréquence critique.

Ce changement est alors le résultat d'une perte de stabilité du patron initial qui oblige le système à adopter spontanément un patron plus stable.

Cependant, un participant a manifesté un changement différent de patrons en réponse à l'augmentation de la fréquence de mouvement. Alors qu'il produisait la forme « 8 », ce participant se mit à produire une forme ressemblant à la lettre « C ». Ce changement de forme qui est la conséquence de la perte de stabilité du patron initial entraîne un changement de la phase relative de la forme 8 (90°) à une phase relative plus stable de 45° pour la forme C.

Cette étude montre donc que la coordination entre deux composantes oscillatoires permet la formation de patrons spatiaux et que différentes trajectoire spatiales (8-C-0) correspondent à différents patrons de coordination.

La présence de certaines formes préférentielles dans l'écriture et des changements de formes lié à une modification de contrainte dépend alors de la phase relative et du rapport de fréquence entre les deux composantes oscillatoires qui participent à la production du geste.

En 2000, Douinskaia et al. ont étudié la coordination du mouvement du poignet et des doigts lors du dessin de formes géométriques simples tels que des traits et des cercles. Ils ont réalisé deux expériences mettant en relation la flexion-extension du mouvement et sa vitesse d'exécution dans les conditions suivantes :

- Traçage à l'aide du poignet seulement
- Traçage à l'aide des doigts seulement
- Traçage en condition « équivalent » : La flexion-extension du poignet coïncide avec celle de la pince des doigts
- Traçage en condition « non-équivalent » : La flexion du poignet coïncide avec l'extension des doigts et inversement

Les quatre conditions de vitesse étaient de lente à « la plus rapide possible ».

Dans la première expérience, les participants devaient donc tracer des traits dans les différentes conditions. Les résultats ont alors montré qu'en fonction de l'augmentation de la vitesse, les traits produits en condition « non-équivalente » sont effectués avec une plus grande variabilité et la vitesse est plus faible.

Dans la deuxième expérience, ils devaient cette fois-ci dessiner des cercles. Ici, ils ont remarqué qu'en fonction de l'augmentation de la vitesse, ils sont dessinés avec une plus grande variabilité. Le cercle se déforme donc en une ellipse. Ce changement est dû à une modification de la valeur de la phase relative entre les mouvements de flexion-extension des doigts et l'adduction-abduction du poignet. Cette étude permet d'observer qu'il y a certains modes préférentiels de coordination entre le poignet et les doigts. De plus, le passage spontané du cercle vers l'ellipse en réponse à l'augmentation de contrainte serait dû à une transition de phase d'une forme moins stable à une forme plus stable.

L'étude d'Athènes et al. (2004), recherche à montrer les différents patrons préférentiels dans la dynamique de coordination graphique spontanée chez l'adulte. Dans cette expérience, des participants droitiers devaient produire 13 formes géométriques simples correspondant respectivement à 13 patrons de coordinations ainsi qu'à 13 phases relatives de 0° à 180° passant par la phase relative de 90° formant un cercle. La phase relative 0° , selon le modèle d'Hollerbach correspondait à une coordination en phase, et 180° correspondait à une coordination en anti-phase.

Les résultats de cette étude, ont montré qu'il y avait deux formes tracées spontanément avec précision et stabilité qui sont les traits ayant une phase relative de 0° et de 180° ainsi que deux autres formes légèrement moins stables qui sont les ellipses intermédiaires de 45° et environ 135° de phase relative.

Grâce à cette étude, l'on s'aperçoit que la dynamique de coordination de l'écriture serait donc plus riche que la coordination bi-manuelle avec des patrons préférentiels stables de 0°, 180° mais aussi autour de 45° et de 135°.

Danna, en 2011 a réalisé une expérience avec des enfants de 7 à 11ans et des adultes de 20 à 29 ans afin de comprendre comment s'acquiert la dynamique de coordination graphomotrice en déterminant les patrons préférentiels spontanés chez l'enfant lors de l'apprentissage de l'écriture.

La tâche consistait à produire comme dans le protocole d'Athènes, différentes formes elliptiques. On pouvait alors observer chez tous les enfants des patrons préférentiels de 0°, 90° (qui correspond à un cercle) et 180°. En revanche, chez l'adulte, les patrons préférentiels étaient de 0°, autour de 60° et de 120° et 180°.

Les patrons en phase et antiphase sont retrouvés dès le plus jeune âge, ces patrons de coordinations sont donc intrinsèques.

Cependant, il existe un patron stable intermédiaire chez l'enfant qui va se modifier chez l'adulte suite à un apprentissage de l'écriture. De plus, la fréquence d'écriture chez un enfant est plus faible, l'augmentation de vitesse lors de l'écriture va aussi participer au passage de ce patron de 90° vers ceux de l'adulte de 60° et 120°.

Suite à cette expérience, on peut aussi observer que dès le plus jeune âge, les enfants mobilisent leurs muscles de la main et du bras ainsi que les différents degrés de libertés des articulations mises en jeu dans l'écriture, avec une certaine flexibilité.

C- Les variables : facteurs endogènes et exogènes

Plusieurs variables rentrent en jeu dans les processus de l'écriture manuelle. En effet, il est nécessaire de posséder certaines habiletés perceptivo-motrices et cognitives. Ces capacités ainsi qu'un environnement stable et optimal, influencent de manière qualitative et quantitative la production.

1) Les facteurs endogènes

a. Motricité fine : dextérité manuelle et digitale

Selon Albaret et Soppelsa (1999), la motricité manuelle interviendrait particulièrement lors de la manipulation d'objet relativement gros, avec le bras et la main. Elle aurait alors un rôle moins important dans l'activité d'écriture. En revanche, ils définissent la dextérité digitale comme « la capacité à faire rapidement et habilement des mouvements contrôlés dans la manipulation de petits objets où l'utilisation des doigts est prédominante. ».

La dextérité digitale implique des mouvements fins et dissociés des doigts, elle joue donc un rôle important dans l'acquisition de l'écriture manuelle.

De plus, on retrouve une similitude entre les mouvements de translation et de rotation d'objet à l'intérieur de la main et les mouvements utilisés dans l'écriture. De nombreuses études s'accordent à penser qu'il existe un lien entre les difficultés d'écritures chez les enfants et les faibles performances de dextérité digitale. En effet, celle-ci, a une valeur prédictive sur la qualité d'écriture ainsi que la vitesse. (Kaiser, 2013)

b. Intégration visuo-motrice et visuo-perception

Beery et al., en 2003 (in Kaiser et al. 2013) définissent l'intégration visuo-motrice par la coordination entre la perception visuelle et la coordination des mouvements des doigts de la main.

Lors, dès le début de l'acquisition de l'écriture, on peut apparenter cet apprentissage à des copies de lettres. Cela peut alors être équivalent à une tâche de copie de formes car elle nécessite également des capacités de perception visuelle et de contrôle du mouvement. Il existe donc une corrélation importante entre la capacité à copier des formes qui reflète les capacités d'intégration visuo-motrice et l'acquisition de l'écriture.

Selon Milner et Goodale (1993, in Kaiser, 2009) la visuo-perception est composée de :

- L'identification d'objet : sa couleur, sa texture, sa forme, sa taille
- L'orientation de l'objet dans l'espace

Dans l'écriture, les compétences visuo-perceptives permettent alors la reconnaissance des lettres, de ses différentes parties et des mots (Chaix et Albaret, 2014).

c. Attention visuelle

Les mouvements volontaires des yeux tels que la localisation, la fixation ou la poursuite oculaire et la capacité de fixer à différents endroits sont impliqués dans l'attention visuelle.

L'attention visuelle comprend :

- L'état d'alerte qui est défini par un état d'éveil qui se situe entre la conscience et l'attention visuelle
- L'attention sélective avec la capacité de choisir des indices visuels parmi d'autres
- La vigilance visuelle qui correspond à la conscience de l'effort mental pour se concentrer et persister dans la tâche visuelle
- L'attention divisée qui permet de réaliser plusieurs tâches au même moment.

On remarque chez des enfants TDA/H, lors de la prise de méthylphénidate, une amélioration de la qualité d'écriture, avec cependant une diminution de la fluidité du mouvement. (Kaiser et al. 2013)

De plus, chez des enfants n'ayant pas encore automatisé l'activité d'écriture, de grandes capacités attentionnelles sont nécessaires (attention soutenue et sélective). En revanche, une fois automatisée, l'écriture requiert moins d'attention, ce qui permet de réaliser d'autres tâches en parallèle (attention divisée).

d. Evaluation

Pour évaluer la dextérité digitale on peut utiliser la Nepsy II (Korkman et al. 2007) qui présente une épreuve de tapping dans le domaine des fonctions sensorimotrices. Cette épreuve est constituée d'un tapping répétitif (opposition du pouce et de l'index) et d'un tapping séquentiel (opposition du pouce avec tous les autres doigts).

Le test VMI (Test of visual-motor integration de Beery, 2004) comporte une épreuve visuo-motrice avec la copie de plusieurs formes géométriques.

Le DTVP-3 (Developmental test of visual perception-3 de Hammill, Pearson et Voress, 1993) comprend :

- une partie visuo-perceptive avec différents items dont « la position dans l'espace » correspondant à l'identification d'une forme parmi d'autres formes, « figure-fond » qui nécessite de reconnaître deux figures parmi d'autres, « complétion de formes » et « la constance de la forme » où il faut retrouver un modèle.
- une partie visuo-motrice avec des copies de formes, des traçages d'un trait entre deux lignes, des épreuves de points à relier, et une épreuve de dessins de deux traits parallèles à l'intérieur de formes géométriques chronométrée.

Pour l'évaluation de l'attention, on peut utiliser les épreuves de barrages de la NEPSY et le Stroop mesurant l'attention sélective.

Le test des deux barrages mesurant l'attention soutenue, sélective et divisée.

La TEA-CH qui comprend :

- 4 épreuves d'attention soutenue
- 2 épreuves d'attention sélective
- 2 épreuves d'attention divisée
- 1 épreuve de double tâche

2) Les facteurs exogènes

Plusieurs facteurs environnementaux peuvent impacter la qualité et la fréquence d'inscription dans l'écriture manuscrite.

Le positionnement du corps est important dans l'activité manuscrite, il est alors préférable de favoriser une position assise avec un dos vertical.

Le positionnement de la feuille sur le bureau par rapport au corps est un facteur supplémentaire influençant l'écriture. Les droitiers inclinent le haut de la feuille vers la gauche, tandis que les gauchers l'inclinent vers la droite ou au centre selon s'ils écrivent avec le poignet en-dessous de la ligne ou avec le poignet cassé au-dessus.

Il existe différentes prises matures de l'outil scripteur, cependant, la prise tripodique reste la plus décrite. L'instrument est placé dans la commissure interdigitale, tenu dans une demi-pince formée par le pouce et la pulpe de l'index et le bord radial du majeur venant en support. Cependant, cette prise n'est pas la seule considérée comme mature. D'autres prises sont recevables, à savoir celle n'affectant pas la qualité et la fréquence d'inscription.

De plus, selon Yeats, (in Parush, 1998) un mauvais ajustement du bureau et de la chaise peut affecter la performance d'écriture. En effet, selon Mandal (2009), l'inclinaison du bureau peut apporter une amélioration.

Enfin, des facteurs tels que la fatigue peut engendrer des variations dans l'écriture et les programmes d'enseignement de l'écriture sont un facteur prédominant dans son évolution. Il est important d'apprendre aux élèves un seul modèle d'écriture (scripte, cursive) pour limiter les difficultés.

La fragilité dans un des domaines ou l'intrication de difficultés de ces nombreux facteurs endogènes et exogènes, peut engendrer des difficultés qualitative ou quantitative de l'écriture.

II) Troubles de l'écriture chez l'enfant : La dysgraphie

Ajuriaguerra, en 1964 définit un mauvais scripteur : « un enfant chez qui la qualité de l'écriture est déficiente alors qu'aucun déficit neurologique important ou intellectuel n'explique cette déficience »

Selon Kaiser et al. (2013), la prévalence des troubles de l'écriture varie selon l'âge et le genre. En effet, 5 à 25% des enfants scolarisés à l'école primaire présentent des troubles et la proportion de garçons faibles scripteurs est environ trois fois plus importante que celle des filles. En revanche, la proportion d'enfants dysgraphiques ne serait pas plus importante au sein des gauchers que des droitiers.

Actuellement, les troubles de l'écriture chez l'enfant constituent une catégorie nosographique qui n'est pas encore reconnue dans les classifications internationales.

En effet, aucune ne mentionne la dysgraphie comme un trouble à part entière.

La CIM-10, dans le Trouble spécifique du développement moteur (F82) évoque seulement une « tendance [...] à être malhabile pour l'écriture ».

Dans le DSM-V, il n'y a toujours pas de trouble graphomoteur spécifié, on retrouve cependant dans le critère A - Mauvaise expression écrite, des Troubles des apprentissages : « son écriture manuscrite est particulièrement illisible ».

De plus, dans la littérature les difficultés d'écriture ont diverses terminologies.

Selon les auteurs, on retrouve les termes de troubles graphomoteurs, de dysgraphie de développement, de faible écriture manuelle, d'écriture manuelle non performante ou de trouble d'apprentissage graphomoteur (TAG).

A- Origines des troubles de l'écriture

Les troubles de l'écriture peuvent être dus à différents déficits tels que :

- La programmation motrice ou l'exécution du geste
- La limitation de la gestion des contraintes

1) Déficit de la programmation motrice et l'exécution du geste

Zesiger, (2003) après une étude de l'écriture dans une population d'enfants dysgraphique âgés de 8 à 12 ans, analyse leurs productions grâce à une tablette graphique.

Les résultats nous montrent que l'origine des difficultés des enfants peut s'expliquer par un déficit:

- Touchant les étapes de la programmation motrice : En effet, l'analyse de la production du mot qui été répété lors de cette étude met en évidence une discontinuité du mouvement, de longues pauses et une utilisation accrue du feedback visuel.
- Touchant les processus d'exécution motrice : d'autres productions sont caractérisées par une irrégularité et une variabilité spatiales, temporelles et cinématiques.
- ou un déficit affectant simultanément ces deux niveaux

Ces résultats permettraient d'expliquer les difficultés d'écriture par des troubles de la programmation et/ou de la réalisation du geste.

2) Gestion de contrainte

La production de l'écriture manuscrite est le résultat de diverses contraintes telles que les facteurs intrinsèques propres à chaque individu, et les facteurs extrinsèques tels que la tâche demandée ou l'environnement.

La mise en texte ainsi que la forme orthographique sont des contraintes qui se surajoutent à la transcription graphique elle-même. (Kaiser et al., 2013)

Selon Plane (2006), pour produire un texte, l'enfant doit faire face à des contraintes d'ordre :

- Linguistique : règles syntaxiques, place des mots dans la phrase
- Métacognitives : la rédaction et son organisation est cognitivement coûteuse
- Thématiques : respect d'une consigne
- Motrices

Chez les jeunes enfants ou chez les enfants ayant des troubles de l'écriture, l'absence d'automatisation de l'écriture des lettres, augmente significativement les demandes en mémoire et en ressources attentionnelles, ainsi les processus cognitifs traitant l'ensemble des contraintes sont davantage sollicités.

De plus, cela entraînera une surcharge et donc une multiplication d'erreurs au niveau de la qualité et de la précision orthographique.

La fréquence d'inscription, régulièrement trop lente entraînerait alors un oubli des idées avant même que l'enfant les aient retranscrites sur le papier.

Une surcharge attentionnelle et une incapacité à gérer les différentes contraintes pourraient donc engendrer des troubles de l'écriture.

B- Caractéristiques de l'écriture dysgraphique

Dans la scolarité des normo-scripteurs, on observe globalement que la vitesse augmente avec l'exigence scolaire.

En effet, l'entrée au CE2 demande aux enfants d'être plus rapide ce qui engendre des augmentations de pression de l'instrument scripteur sur la feuille (Zesiger, 1995). A partir de 10 ans, la rapidité est donc au centre de l'écriture.

Ensuite, à environ 12 ans, la rapidité et la fluidité dans l'écriture sont environ similaire aux résultats de l'adulte.

Enfin à l'adolescence, l'écriture se modifie pour tendre vers une écriture plus personnalisé, souvent au détriment de la lisibilité.

Dans la dysgraphie, les difficultés retrouvées touchent donc la lisibilité ainsi que la vitesse.

1) Lisibilité

Selon Albaret et al (2013) les caractéristiques qui prédominent lors de l'analyse de l'écriture des mauvais scripteurs sont les suivantes :

- une réduction de l'espace entre les lettres d'un mot
- une réduction de l'espace entre les mots

- un défaut d'inclinaison et d'alignement des lettres et des mots sur la ligne horizontale
- une déformation des lettres
- une variation dans la taille des lettres
- des irrégularités cinématiques (plus d'accélération et de pics de vitesse)

2) Vitesse

Selon une étude de Paz-Villagran (2012) auprès d'enfants dysgraphiques, il a été observé qu'ils ne seraient pas plus lents que les autres enfants. En effet, la perte de temps observée serait due au fait que la taille de leurs lettres est plus grande et qu'ils parcourent donc un trajet relativement plus long que les autres enfants normo-scripteurs.

La vitesse réelle de mouvement serait donc la même chez tous les enfants.

Par conséquent, les enfants ayant été diagnostiqués dysgraphiques à l'aide du BHK mettent plus de temps dans l'écriture d'un mot, ils sont alors plus « longs » mais pas plus lents. La trace s'effectue à la même vitesse, mais les lettres sont plus grandes. Leur lenteur d'écriture est donc à nuancer.

C- Evaluation de l'écriture

L'écriture est un acte complexe qui permet de laisser une trace et son évaluation peut se faire à différents niveaux. En effet, c'est le geste et tous les processus musculaires et articulaires mis en jeu qui permettent de fournir une trace lisible.

Divers moyens nous permettent alors d'évaluer le geste et ses composantes ainsi que le produit final qui en résulte.

C'est seulement lors de l'âge de l'entrée dans l'écriture cursive, qu'un diagnostic est envisageable.

Cependant, l'utilisation croissante des tablettes graphiques permet l'analyse des aspects moteurs impliqués dans l'écriture. En effet, l'étude des variations cinématiques et dynamiques va nous permettre d'étudier les caractéristiques du mouvement dysgraphique pour affiner les symptômes spécifiques et le diagnostic.

L'analyse des mouvements de l'écriture (Danna et al. 2012) d'enfants dysgraphiques par les tablettes graphiques ont permis de mettre en évidence que les gestes effectués lors de l'écriture d'un dysgraphique sont spécifiques par leur amplitude, leur saccade, les levers de crayons et les nombres d'arrêts qui sont plus importants en comparaison aux normo-scripteurs.

1) Mesure du processus grâce à la tablette digitale

La tablette graphique (Wakom Intuos pro format A4) se présente sous la forme d'une tablette plate reliée par un câble USB à un ordinateur. Sur celle-ci l'on peut positionner une feuille A4 sur laquelle à l'aide d'un stylo à bille bleu de taille et tenue classique, l'enfant peut produire une trace. Le matériel utilisé va refléter l'environnement écologique d'écriture.

La trace sur la feuille est donc présente et reflète ce que l'on pourrait attendre lors d'une écriture sur un bureau.

Ce stylo va interagir avec un champ magnétique émis par la tablette qui va nous donner la position exacte de la pointe du stylo sur la tablette. De plus, lors des levés de crayon, la tablette va déceler la position du stylo à environ 1 cm au-dessus de la surface. Son déplacement est enregistré avec une très bonne précision spatiale (0,25mm) et temporelle (200 mesures/sec).

L'utilisation de la tablette permet de préciser :

- Les données spatiales comme la trajectoire, la hauteur et la largeur des lettres ainsi que la régularité des courbes
- Des données temporelles telles que le temps de réaction, la durée de mouvement et des pauses
- Des données cinématiques comme la vitesse, le caractère continu ou discontinu de la production graphique
- Des données dynamiques telles que l'accélération
- Des données de pression exercées sur la feuille

Elle permet donc l'enregistrement de nombreuses variables, mais selon Danna (2013), nous pouvons identifier trois variables comme pertinentes pour informer sur la qualité du mouvement d'écriture :

- la vitesse du mouvement,
- sa fluence, et
- la pression exercée par le stylo sur la feuille.

2) Mesure de la trace à l'aide du BHK

Le BHK est une échelle d'évaluation permettant d'établir un diagnostic rapide des troubles de l'écriture chez l'enfant. Ce test est élaborée à l'origine par Hamstra-Bletz et al. en 1987 dans le but de déceler de manière précoce les dysgraphies, et repris par Charles et al. en 2003 pour l'adaptation française.

La passation dure cinq minutes, et elle consiste à faire recopier de façon habituelle (« écrire comme d'habitude, au même rythme que d'habitude »), un texte bien précis à l'enfant. En effet, les cinq premières lignes sont composées de mots monosyllabiques que les enfants rencontrent au CP, puis il se complexifie au fur et à mesure des paragraphes. Si l'enfant n'a pas fini de recopier les cinq premières lignes au bout de cinq minutes, on le notifie, puis on le laisse continuer afin de pouvoir coter l'épreuve.

On décèle une dysgraphie suite à l'analyse de l'écriture grâce à 13 critères différents et pertinents:

- Critère 1 : Ecriture grande
- Critère 2 : Inclinaison de la marge vers la droite
- Critère 3 : Lignes non planes
- Critère 4 : Mots serrés
- Critère 5 : Ecriture chaotique
- Critère 6 : Liens interrompus entre les lettres
- Critère 7 : Télescopages
- Critère 8 : Variations dans la hauteur des lettres tronc
- Critère 9 : Hauteur relative incorrecte des différentes sortes de lettres

- Critère 10 : Distorsion de lettres
- Critère 11 : Formes de lettres ambiguës
- Critère 12 : Lettres retouchées
- Critère 13 : Mauvaise trace écrite, hésitations et tremblements

Les cinq premières lignes seront cotées selon ces 13 critères. Chaque critère pouvant obtenir une cotation de 0 à 5. La somme de ces différents critères nous donnera alors un score de dégradation, c'est-à-dire que plus l'enfant obtient un score élevé, plus il aura des difficultés d'écriture. Ce score sera alors converti en déviation standard grâce à l'étalonnage réalisé à partir d'enfant normo-scripteur selon sa classe.

Nous pouvons aussi calculer la vitesse d'écriture grâce aux nombres de caractères écrits en 5 minutes. Ce score de vitesse est lui aussi converti en déviation standard.

De plus, l'observation des signes cliniques comme la posture, la prise du crayon, l'analyse du tonus peut nous donner de nombreux renseignements.

Les scores obtenus comparés à la population générale en fonction de sa classe du CP au CM2 nous signifient que le test prend donc en compte les exigences scolaires qui sont différentes sur le plan qualitatif et quantitatif selon la classe.

Si l'enfant obtient un score inférieur à -2DS, il est considéré comme étant dysgraphique. En revanche si son score se situe entre -2DS et -1DS, on estime qu'il est faible scripteur, mais on ne peut pas affirmer une dysgraphie. L'écriture est fragile et sera cependant à surveiller. Enfin s'il obtient un score supérieur à -1DS, les capacités d'écriture de l'enfant se trouvent dans la norme.

Il existe également une version étalonnée pour les enfants de la 6^{ème} à la 3^{ème}, le BHK Ado où les critères d'évaluation y sont différents. En effet ils évoluent en fonction des exigences scolaires qui sont à cette période la lisibilité et la stabilité. Il y a alors 9 critères dont certains diffèrent du BHK enfant.

D- Troubles associés et comorbidités

Kaiser et al (2013) ont référencé les troubles associés aux difficultés d'écriture :

- Prématurité
- Trisomie 21
- Neurofibromatose de type 1
- Epilepsie
- Paralysie cérébrale
- Lésion cérébelleuse
- Syndrome d'hypermobilité articulaire dystonie
- Trouble du spectre autistique

De plus, la dysgraphie est particulièrement présente dans les différents troubles du développement tels que les autres troubles des apprentissages, le trouble de l'acquisition des coordinations, le trouble déficitaire de l'attention avec ou sans hyperactivité, le trouble de la communication et la dyslexie.

La présence de ces nombreux troubles associés rend la classification de la dysgraphie compliquée. En effet, ce trouble ne constitue pas une catégorie spécifique de profils homogènes.

E- Tonus et dysgraphie

A la suite de nombreux travaux et grâce à l'apparition des tablettes graphiques, Mojet (1991, in Charles et al., 2003) propose une classification selon la vitesse d'écriture et la forme des lettres des enfants.

Il distingue alors quatre types de scripteurs (type A, B, C et D) en fonction des caractéristiques de la trace et des caractéristiques cinématiques (accélération, levées de crayon, pauses).

Type A	<ul style="list-style-type: none"> - Scripteurs rapide - Forme de lettre et organisation spatiale régulière - Taille d'écriture correcte - nombre de pauses faible et de courte durée - Pression faible et peu de tremblements.
Type B	<ul style="list-style-type: none"> - scripteurs lents - La taille de leur écriture est dans la moyenne ainsi que la forme des lettres et la pression - Grand nombre de pauses de durée longue - Nombreux tremblements
Type C	<ul style="list-style-type: none"> - Scripteurs rapides avec une mauvaise forme - Leur écriture est grande, et la hauteur des lettres est irrégulière - Pauses courtes et peu nombreuses. - Ecriture manque de contrôle
Type D	<ul style="list-style-type: none"> - Scripteur lents - Mauvaise forme de lettres - Ecriture de grande taille et irrégulière - Pression est forte et irrégulière

Dans le type D, Mojet décrit des scripteurs « lents ayant une mauvaise forme de lettres » avec une régulation tonique moins contrôlé que pour les trois autres types de scripteurs. De plus, il souligne que ce manque de fluidité entrainerait une fatigabilité importante.

Il met donc en évidence l'existence d'un lien entre difficultés d'écriture et défaut de régulation tonique.

III) La place du tonus dans l'écriture

Selon Albaret (2001), les dysgraphiques présentent régulièrement des difficultés dans le positionnement de la main et des doigts lors de l'écriture. De plus, on remarque qu'ils sont enclins à des crispations d'une partie ou de tout leur membre scripteur, une absence de mouvements digitaux, ainsi que des douleurs.

A- Les 3 formes classiques du tonus

Tonus de FOND	Contraction minimale ou état de légère excitation d'un muscle au repos (Pireyre, 2011) Evaluation : Extensibilité ou Ballants
Tonus de POSTURE	Activité tonique minimale permettant le maintien des postures et de leur équilibre. Il assure un niveau de tension optimum pour l'action et sert de préparation au mouvement. Evaluation : La poussée
Tonus d'ACTION	Contraction musculaire permettant l'action et le mouvement (Albaret et al., 2011) Evaluation : Epreuve de mouvements imposés : Marionnettes, Epreuve doigts-nez

B- Evolution du tonus dans le membre scripteur

Ajuriaguerra et Auzias (1956) lors d'une étude graphique, ont fait des constatations sur l'activité tonique de l'enfant. Celle-ci, lorsqu'elle augmente ou diminue de manière significative, influencerait alors négativement la qualité et/ou la vitesse d'écriture.

Plus précisément, ils ont alors observé au cours du développement de l'enfant des modifications du tonus :

- Le tonus de l'épaule est moins important avant et après 7 ans mais maximal à 7 ans.
- Le tonus du poignet est faible avant 7 ans. A cet âge là, ils observent un raidissement. Puis, il diminue et se stabilise vers l'âge de 12 ans où le poignet devient donc plus souple.
- Le tonus des doigts est important en début d'apprentissage de l'écriture. Entre 7 et 9 ans, les doigts sont fléchis et crispés sur l'instrument scripteur. Puis, le tonus diminue en parallèle de l'allongement des doigts sur l'outil.

Lors de l'apprentissage de l'écriture, qui se fait à l'entrée en élémentaire à l'âge d'environ 7 ans, le tonus est alors très élevé. Cependant, il tend ensuite à diminuer progressivement jusqu'à la stabilisation de l'écriture, à l'âge d'environ 12 ans.

C- Tonus et écriture

1) Tonus d'action et de posture

Le tonus d'action est à la base du mouvement et son rôle dans le contrôle postural est essentiel. En effet, il correspond aux mécanismes de régulation présent dans le mouvement ainsi qu'aux variations de tension musculaire qui préparent et soutiennent le mouvement.

De plus, la posture doit être adaptée au mouvement en cours d'exécution pour que celui-ci se réalise convenablement. Le tonus postural doit alors, au fur et à mesure de l'action, subir une modification.

Dans l'écriture, en plus d'intervenir dans l'ajustement de la posture, le tonus d'action participe à la qualité et la vitesse d'écriture. Un tonus inadapté à l'activité graphique peut donc engendrer des contractions inadaptées du membre supérieur et de la main, ce qui impactera la production graphique.

2) Prise et posture

Avec la maturation de l'enfant, on s'aperçoit qu'il y a une libération progressive du membre supérieur. En effet, le redressement progressif de la tête et du tronc permet la diminution des appuis du tronc et du membre supérieur sur la table, ce qui engendre une meilleure dissociation des segments du membre supérieur ainsi qu'une plus grande souplesse dans la tenue du crayon. (Albaret, 2002)

Comme la maturité ontogénique, le déliement des articulations commence de l'épaule vers les doigts. La posture pendant l'écriture est alors très variable et la prise de l'outil évolue avec la maturité (Kaiser, 2013).

Evolution des prises :

- Prise palmaire globale qui est un mouvement venant de l'épaule, du bras et de l'avant-bras
- Prise transitoire tripodique ou quadripodique qui est un mouvement de flexion-extension du poignet
- Prise mature avec une dissociation de la main interne et externe ainsi que des mouvements du poignet dissociés des mouvements des doigts

A partir de six, sept ans, la prise du crayon se stabilise et se modifie peu au cours du temps, les enfants possèdent donc un meilleur contrôle pour écrire.

C'est pourquoi la modification d'une prise peut être observable ou envisageable au début de l'apprentissage de l'écriture lorsque celle-ci est non-performante mais aussi lorsque l'on est en présence de crampes ou d'ébauches de crampes.

Une prise gênante ou non conventionnelle affecterait la lisibilité ainsi que la vitesse de l'écriture manuscrite de l'enfant.

Selon les différentes études, Sage (2010) décrit une posture qui évolue selon la phase d'apprentissage de l'écriture et le développement de l'enfant.

Cette posture académique permettrait une stabilité ainsi qu'une production dans des conditions appropriées:

- Les pieds posés au sol à plat
- L'assise repose sur les cuisses et les ischions
- Le dos droit et vertical sans appui
- Le poids du buste repose sur le bras non scripteur libérant le bras scripteur
- La main non-scriptrice immobilise la feuille et la déplace vers le haut à chaque retour à la ligne
- La feuille est positionnée dans l'axe du bras scripteur
- L'avant-bras scripteur opère une rotation autour du coude afin de provoquer la translation de la main le long de la ligne d'écriture
- La main est positionnée en dessous de la ligne d'écriture
- Les lignes horizontales sont réalisées avec le poignet et les lignes verticales par les mouvements des doigts
- La tête avec un angle approprié
- Les doigts sont détendus

D'après Parush et al. (1998) la posture dans l'écriture est un facteur important pour une bonne production. En effet, on a observé que les enfants manquant de stabilité du tronc en raison d'une faible tonicité musculaire ne sont pas capables d'avoir des ajustements posturaux nécessaires aux compétences motrices fines telles que l'écriture manuscrite.

Le tonus et la posture sont dépendants l'un de l'autre. En effet, d'un point de vue développemental l'évolution du tonus sous-tend celle de la posture et de l'activité motrice.

3) Pression dans l'écriture

Herrick et Otto (1961) différencient trois types de pression :

- celle des doigts exercée sur le stylo
- celle du stylo sur la feuille,
- et celle de la main reposant sur la surface d'écriture.

Une modification de paramètres tels que le changement d'outil scripteur ou le changement de type de papier n'ont pas de conséquence sur la pression. Néanmoins, une augmentation de la vitesse, de l'amplitude de la trace, ou de la complexité de la production entraînent un accroissement de la pression.

4) Un exemple de trouble tonique : La crampe des écrivains

La crampe des écrivains est une dystonie segmentaire qui affecte le membre supérieur. C'est une crise soudaine qui entraîne une incapacité de continuer à écrire due à un véritable spasme qui porte soit sur les doigts, soit sur toute la main avec ou sans participation de l'avant-bras, du bras ou encore de l'articulation de l'épaule. Les modalités sont variables d'un individu à l'autre.

Non soigné, ce spasme devient une maladie évolutive aboutissant à une régression et à une destruction complète de l'écriture.

Chez l'enfant, les signes communs sont une crispation intense du membre supérieur entraînant des douleurs permanentes lors de l'écriture aboutissant à un arrêt de la production. Ce symptôme peut être observé lorsque l'enfant secoue sa main ou lorsqu'il frotte son poignet. De plus, une lenteur peut être présente, une incoordination des mouvements, ou encore une mauvaise tenue de l'instrument scripteur qui subit des modifications pour palier aux douleurs, ainsi qu'un changement dans la posture.

La rééducation de ce trouble impactant l'écriture, peut alors être conduite grâce au biofeedback. En effet, il va permettre l'apprentissage ainsi que la reconnaissance des tensions musculaire inadéquates impliquées dans l'écriture. Il est important ici d'étudier les muscles de la main, de l'avant-bras, du bras et de l'épaule car la musculature globale, le tonus musculaire et aussi la position du corps, sont impliqués dans l'action.

D- Lien entre régulation tonique et écriture

Une des premières approches est présentée par Ajuriaguerra et al. (1956) qui pensaient que les troubles toniques étaient, entre autres, responsables de la dysgraphie. Depuis, des études ont été faites dans ce sens afin de montrer l'existence d'un lien entre tonus et écriture.

1) Etude de Carter et Russel

La perspective que le stress agit sur le tonus et induit alors des difficultés d'apprentissage, a conduit Carter et al. (in Graham et al., 1996) à examiner si le fait d'aider les écrivains pauvres à se détendre faciliterait le processus d'apprentissage de l'écriture.

En 1980, ils ont alors utilisé le biofeedback EMG pour aider des garçons ayant des troubles d'écriture à se détendre juste avant l'écriture manuscrite. Bien que les chercheurs aient démontré que les garçons avaient appris à diminuer la tension musculaire de leur avant-bras, des preuves sur l'écriture manuscrite, à l'exception d'une information globale d'amélioration, n'étaient pas fournies.

Dans une deuxième étude (1985), ils ont réparti au hasard 32 garçons ayant des troubles d'apprentissage dans deux groupes :

- Un groupe témoin
- Un groupe où les garçons ont reçu 10 minutes de formation en relaxation en utilisant le biofeedback EMG dans le cadre de chaque séance d'écriture manuscrite. Les élèves de ce groupe ont reçu une cassette audio, utilisant une relaxation musculaire passive et des images visuelles, à écouter avant de faire leurs devoirs d'écriture manuscrite.

Par rapport au groupe témoin, la lisibilité de l'écriture manuscrite des élèves dans la condition expérimentale a permis une amélioration.

Cependant, les auteurs ont répliqué cette étude avec un groupe supplémentaire de 30 garçons ayant des troubles des apprentissages, mais il n'a pas été possible de déterminer les composants responsables des améliorations de l'écriture

manuscrite, car ils pourraient être dus à la pratique elle-même de l'écriture manuscrite, à l'entraînement de la relaxation, ou à une combinaison des deux.

2) Etude de Jackson, Jolly et Hamilton

En 1980, Jackson et al. (in Graham et al. 1996) ont examiné l'utilisation de la formation de relaxation avec des écrivains pauvres et moyens, formant deux groupes distincts.

4 conditions ont été assignées aux enfants :

- Utilisation d'une approche de relaxation enregistrée,
- Utilisation d'une approche de détente enregistrée contenant des suggestions pour améliorer l'écriture manuscrite,
- Une présentation enregistrée des instructions d'écriture traditionnelle,
- Une méthode enregistrée associant une formation de relaxation et des instructions d'écriture traditionnelle.

Pour les écrivains moyens, les quatre conditions ont peu ou pas d'effet sur les différents critères de l'écriture.

Seule la méthode combinée a entraîné des améliorations dans l'espacement des lettres.

Pour les écrivains pauvres, la combinaison de la formation de relaxation enregistrée et de l'écriture traditionnelle de l'écriture manuscrite était plus efficace que la simple formation à la relaxation pour l'espacement, la formation des lettres, l'uniformité du script et l'excellence générale. En fait, toutes les méthodes enregistrées qui ont mis l'accent sur l'écriture manuscrite ont été plus efficaces que la formation de relaxation seule pour améliorer la forme globale de l'écriture manuscrite. Ces résultats suggèrent que les effets positifs obtenus dans les études ci-dessus par Carter et Russell (1980, 1985) avec des manuscrits pauvres ne sont pas dus uniquement à la formation de relaxation, mais étaient probablement plus une conséquence des instructions d'écriture manuscrite fournies ou une combinaison de ces deux composants.

Le lien entre tonus et écriture est donc fragile. En effet, les résultats de ces études, suggèrent que les effets bénéfiques sur l'écriture sont relativement dus aux instructions en écriture.

C'est pourquoi dans ma partie pratique, j'ai voulu expérimenter le biofeedback pendant des activités graphomotrices et d'écriture. Cependant, aucune instruction en écriture ne sera donnée. En effet, la rééducation aura pour objectif de respecter les conditions d'expérimentation suivantes :

- Apprentissage d'une méthode de relaxation grâce au matériel de biofeedback dans des activités graphiques
- Aide à l'intégration des feedbacks externes en lien avec la force musculaire

Partie pratique

La prévalence des enfants ayant des troubles de l'écriture est importante dans l'exercice du libéral. Lors de mon stage de troisième année effectué dans un cabinet, j'ai alors fait la rencontre de Tom âgé de 10 ans, en classe de CM1.

Il présente de nombreux troubles et dispose d'un suivi complet auprès des différents professionnels de santé ainsi qu'une auxiliaire de vie scolaire qui l'aide dans ses difficultés.

A la suite de la lecture de ses bilans psychomoteurs et de mes observations cliniques, j'ai pu constater une hypertonie persistante dans les activités graphiques qui mettait à mal ses productions.

Chez les enfants dysgraphiques on retrouve régulièrement une pression supérieure aux enfants normo-scripteurs lors de l'écriture. C'est pourquoi j'ai voulu m'intéresser précisément à l'hypertonie de Tom, afin d'envisager une amélioration de ses difficultés d'écriture.

Ayant accès au matériel de biofeedback, j'ai mis en place une rééducation sur 7 séances dans le but d'agir sur le tonus musculaire mobilisé dans l'écriture. Ma rééducation avait donc pour objectif de diminuer la tension musculaire, pour diminuer la pression du stylo sur la feuille et ainsi constater si la prise de conscience de cet état physiologique, permettrait une amélioration des troubles de l'écriture.

En revanche, je n'ai pas rééduqué les caractéristiques de son écriture personnelle. En effet, aucune instruction pour l'amélioration de son écriture n'a été donnée, afin d'agir de façon ciblée sur sa régulation tonique.

I) Méthode de biofeedback

A- Définition

L'AAPB (*Association for Applied Psychophysiology and Biofeedback*) définit le biofeedback comme « *un procédé psychophysiologique d'enregistrement permettant de fournir une information en temps réel sur le niveau de fonctionnement d'un système physiologique donné* ».

Selon, Abeilhou et Corraze (2010), l'application repose sur deux principes fondamentaux tels que :

- La cybernétique qui décrit le phénomène par lequel un système est susceptible de se modifier à la suite des différentes informations qui lui parviennent sur son propre état.
- La théorie de l'apprentissage qui est un processus permettant l'acquisition durable de nouvelles connaissances grâce aux apports de l'environnement.

L'information physiologique enregistrée par l'instrument, en reflétant le véritable état physiologique du sujet, va l'aider à prendre conscience de ses propres processus physiologiques. Progressivement, cela va lui permettre de modifier et de contrôler son état émotionnel.

Rémond, en 1994, s'intéresse à l'application thérapeutique du biofeedback. Il propose alors une définition plus étoffée. Pour lui, cette instrumentation électronique ou électromécanique permet « de mesurer avec précision, de traiter et de représenter l'activité neuromusculaire ou autonome des individus ».

Les différents capteurs externes enregistrent divers paramètres périphériques comme le rythme cardiaque, le rythme respiratoire, la conductance cutanée, la température cutanée et l'électromyogramme. Ils vont alors révéler les différents événements physiologiques internes, normaux ou anormaux au moyen de signaux visuels et/ou auditifs, afin que le sujet puisse apprendre à les manipuler. Ainsi, il va pouvoir apporter un changement sur son état.

Ses objectifs sont donc d'aider les individus à développer une meilleure conscience ainsi qu'un contrôle volontaire de leurs processus physiologiques souvent involontaires, d'abord par le biais de signaux externes puis finalement par des moyens psycho-physiologiques internes.

B- Principes et mécanisme

Les techniques de biofeedback ont l'avantage de créer un sentiment d'auto-efficacité de manière très rapide, souvent dès la première séance, et en temps réel par le renforcement positif physiologique.

Grâce au modèle explicatif de Rémond, j'ai décidé d'utiliser dans cette rééducation, le principe suivant :

Dans un premier temps le sujet va utiliser le biofeedback et produire des évènements physiologiques particuliers qui vont être représentés sur l'appareillage auquel le sujet est relié par l'intermédiaire d'un capteur : Electrodes EMG positionnées sur un muscle se contractant dans l'écriture.

Après la découverte du matériel par le sujet, l'observateur se place en tant que thérapeute afin de donner à l'enfant des stratégies qu'il sait efficaces pour renforcer sa motivation et sa concentration sur la tâche.

En effet, le praticien connaît les dimensions physiques à mesurer, il a aussi une connaissance sur la pathologie en question, et il sait à ce titre, interpréter les données envers une rééducation. Il peut aussi évaluer la nécessité d'apporter des corrections au dispositif pour une meilleure compréhension de l'utilisateur ou le conseiller dans son utilisation du dispositif.

Les techniques de biofeedback peuvent traiter divers paramètres physiologiques tels que:

- Electroencéphalogramme
- Electrodermogramme
- Electrocardiogramme
- Fréquence respiratoire
- Electromyogramme

Quels que soient le protocole de biofeedback et le type des paramètres physiologiques mesurés, traités et objectivés par l'interface technique, la participation active et la motivation du sujet sont indispensables. De plus, le thérapeute doit donner au sujet un feedback positif chaque fois que l'évolution du signal se fait dans le sens désiré. Pour favoriser les capacités d'apprentissage, la séance peut se décliner en plusieurs séquences de feedback entrecoupées de phases de repos pendant lesquelles le praticien explicite les stratégies cognitives de régulation mises en place. Quel que soit le type de protocole, il est important que le patient soit encouragé, à la fin des séances, à transposer dans la vie quotidienne les stratégies cognitives développées.

À la fin de chaque séance le patient regarde avec le thérapeute sa courbe d'entraînement pour analyser l'évolution du paramètre physiologique pendant la séance (l'évolution sur plusieurs séances traduit une courbe d'apprentissage). Les courbes d'entraînement et d'apprentissage sont importantes pour renforcer le sentiment de contrôle perçu des patients en transformant progressivement un lieu de contrôle externe en lieu de contrôle interne.

L'enregistrement de l'EMG informe le patient sur le niveau de contraction de certains muscles, lui faisant prendre conscience d'activités musculaires dont il n'a pas ou difficilement conscience.

Le thérapeute doit alors après la séance, analyser la courbe avec le patient pour qu'il puisse prendre conscience de ses compétences au relâchement. Ce feedback secondaire est aussi très important pour que le comportement se maintienne dans le temps.

C- Mise en place du dispositif

L'appareillage de biofeedback peut être considéré comme une amplification et une matérialisation du dispositif naturel du corps à l'expression comportementale.

Il a en effet trois fonctions complémentaires :

- Mettre en évidence et surveiller un phénomène biologique
- Mesurer objectivement ce qui a été mis en évidence
- Présenter ou imager les phénomènes biologique qui nous intéresse selon l'interface choisie pour permettre au sujet qui les a produits de les observer.

Pour cela, le matériel doit être minutieusement installé. En premier lieu, relier l'ordinateur grâce au port USB au transmutateur puis à une fibre optique jusqu'au décodeur sur lequel on branche les capteurs choisis que l'on relie ensuite jusqu'au corps avec une électrode.

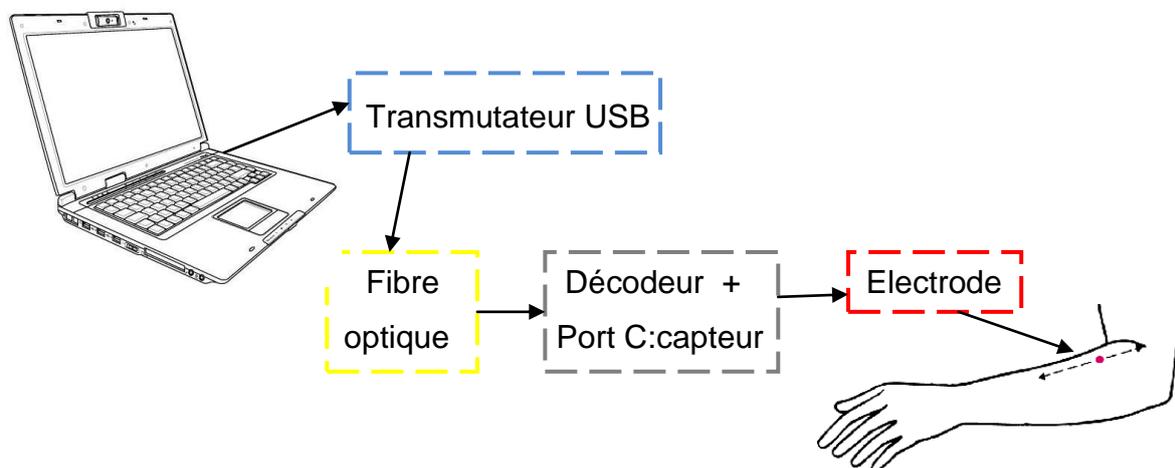


Figure 1 : Branchement du matériel de Biofeedback

Pour la rééducation envisagée, j'ai choisi d'installer le capteur mesurant l'EMG permettant de se rendre compte indirectement de la contraction excessive ou non d'un muscle par l'observation du phénomène électrique que sa contraction développe. Les signaux sont alors recueillis par des électrodes de surface placées sur un muscle, amplifiés par un amplificateur différentiel puis numérisés. Les électrodes étant placées sur les muscles de l'avant bras dans la zone des muscles long radial, extenseur des carpes et le radio-brachial, afin de ne pas gêner l'enfant dans sa tâche d'écriture.

Enfin, on utilisera comme voie sensorielle un feedback acoustique et visuel. L'interface choisie (EMG – Relaxation – Training) propose comme feedback acoustique une musique avec une variation de son. En effet, lorsque l'enfant

C- Bilan psychomoteur

Ma maitre de stage suit Tom en séance de rééducation depuis Janvier 2014 à raison d'une séance par semaine. Le travail de rééducation a porté principalement sur les capacités attentionnelles, la gestion de l'impulsivité cognitive, motrice et verbale, les capacités visuo-constructives (gestion de l'espace) et la motricité générale et fine et le graphisme. Durant les séances de rééducation, Tom se montre participatif et volontaire. Il lui faut du temps pour se mettre au travail et il a beaucoup de choses à raconter. De plus, Tom a besoin de l'adulte et a besoin d'être encouragé et valorisé.

Pendant la passation du bilan d'évolution (Janvier 2016), Tom se montre volontaire et participatif. Il lui faut un peu de temps avant de se mettre au travail, il est très fatigable et se disperse rapidement.

➤ Attention

Le test des deux barrages nous montre une attention soutenue en situation :

- Focalisée : Vitesse = -1 ESIQ, Rendement = -1,8 ESIQ et Erreurs = - 3,4 ESIQ
- Divisée : Vitesse = -2,7 ESIQ, Rendement = - 3,8 ESIQ et Erreurs = -6,1 ESIQ

Les capacités attentionnelles soutenues sont donc déficitaires en situation focalisée et divisée.

➤ Fonctions exécutives

La tour de Londres nous montre des capacités de planification satisfaisante avec un score temps de -0,4 DS et un score de réussite de +0,6 DS.

Au test d'appariement d'images, Tom réussi à gérer son impulsivité. Il n'a donc pas d'impulsivité cognitive.

La figure de Rey A indique un score déficitaire en copie de -1,9 DS et un score fragile à la reproduction de mémoire à -1,4 DS.

➤ **Fonctions motrices**

Les différents items du LOMDS nous donnent un résultat total à -2,9 DS. De plus, les items déficitaires sont les épreuves d'équilibre, de vitesse doigts-poignet et de coordination pied-main. Les difficultés touchent donc principalement les praxies fines et les coordinations complexes.

Au niveau du tonus, la poussée reste compliquée. La régulation tonique est donc à solliciter.

L'épreuve de la statue dans la NEPSY, nous montre des capacités de persistance et d'inhibition motrice satisfaisante.

➤ **Graphisme**

Lorsqu'il écrit, Tom appuie fort sur son stylo, on relève donc une hypertonie. De plus, par moment, il tient le crayon loin de la mine et des douleurs sont présentes au niveau du poignet.

Il écrit de la main droite et sa prise est tripodique avec le pouce en crochet sur l'index, ce qui a tendance à bloquer la mobilité de ses doigts.

Au niveau du pré-graphisme, le geste est relativement fluide, mais on remarque des difficultés dans le calibrage des boucles.

Au test du BHK, Tom obtient des résultats déficitaires comparés aux enfants de CE2 :

- Qualité = -3,9 DS
- Vitesse = -2,8 DS

Il fait très beau
Jusqu'à bien
Il ~~voit~~ de l'eau
Mais je ne sais pas
ou elle va

Figure 3 : BHK, Tom, janvier 2016

Le test d'Ajuriaguerra qui consiste à écrire « Je respire le doux parfum des fleurs », pendant une minute de manière habituelle puis en accéléré, nous indique que Tom peut accélérer mais cela lui demande un effort important.

En vitesse normale et accélérée, il écrit plus lentement que la moyenne des élèves de CE2.

➤ **Repères spatiaux-temporels**

Tom sait se repérer dans le temps mais il ne retient pas les mots associés tels que les jours de la semaine.

Il a acquis la droite et la gauche sur lui, ainsi que la réversibilité sur autrui. Cependant, l'utilisation du vocabulaire est hésitante.

III) Utilisation du biofeedback comme rééducation de l'écriture

Au fil des séances, j'ai constaté cliniquement que Tom présentait une hypertonie très présente lors des activités graphiques. En effet, sa trace était épaisse, ses doigts peu mobiles et des douleurs étaient régulièrement retrouvées au niveau du pouce, de l'index et/ou du poignet. C'est pourquoi j'ai voulu axé ma rééducation sur sa dysgraphie et ses douleurs lors du passage à l'écrit pour qu'il puisse prendre davantage de plaisir à écrire et que l'écriture en classe, lorsque l'AVS n'est pas présente, soit plus aisée pour lui.

A- Protocole

Afin de pouvoir coter l'amélioration graphique, au niveau qualitatif et quantitatif, après la rééducation et l'impact de celle-ci sur les différentes variables de l'écriture telles que la vitesse, la fluence et la pression, j'ai réalisé avant et après la rééducation :

- Un BHK
- Un pangramme sur tablette

Un pangramme est une phrase où toutes les lettres de l'alphabet sont présentes. La comparaison finale pourra alors être faite sur la phrase entière, sur plusieurs mots, ou encore sur différentes lettres.

J'ai alors sélectionné trois pangrammes qui me semblaient réalisables et attractifs pour lui.

Tom a alors choisi la phrase suivante :

« Le renard zen apprécie le corbeau gourmand en k-way qui joue du xylophone avec ses fruits »

Au préalable, et donc avant de commencer les séances de biofeedback, il y a eu un temps d'explication :

- Vis-à-vis de ses difficultés toniques et de l'impact qu'elles peuvent avoir sur son écriture afin de se rendre compte s'il en avait conscience.
- Du matériel de biofeedback
- Du but et de l'objectif final pour lui qui consiste à diminuer son tonus, et donc la pression qu'il exerce sur le stylo et ainsi diminuer ses douleurs.

A la suite de cet entretien, je me rends compte qu'il a conscience qu'il appuie de manière excessive sur sa feuille car on lui a fait remarquer plusieurs fois à l'école ou en prise en charge. De plus, il ressent des douleurs dans la main qu'il pense en rapport avec sa tenue du stylo. Cependant, le lien entre tonus musculaire, pression excessive du stylo exercé sur la feuille et mauvaise qualité graphique n'est pas établi.

Ensuite, 7 séances de biofeedback ont été prévues. Celles-ci avaient pour but de lui faire prendre conscience de son tonus mis en jeu dans l'activité graphique et qu'il puisse agir dessus à l'aide de l'appareil de biofeedback.

L'écriture étant difficile et couteuse pour lui, les séances mettaient seulement en jeu des mots et des activités de graphisme simples.

De plus, afin de ne pas biaiser les résultats finaux, la rééducation n'a pas porté sur l'aspect qualitatif de l'écriture, et aucune consigne en vue d'une amélioration n'a été donnée lors des différentes séances.

Enfin, à la suite des séances, de nouvelles mesures grâce à la tablette et au pangramme ont été prises, et un nouveau BHK a été réalisé.

Puis, un entretien final après 1 mois d'arrêt de la rééducation a été élaboré afin d'observer s'il ressentait une différence lorsqu'il écrivait, en terme de douleur et de facilité d'écriture.

B- Description des séances

- Première séance :

Objectif : Présentation du matériel et apprentissage

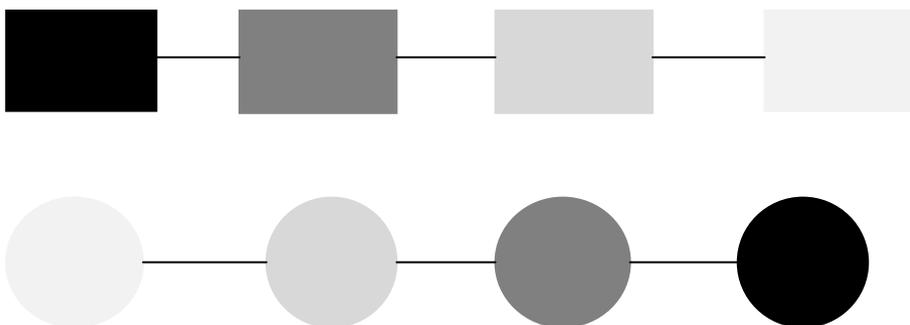
Cette première séance était une séance de découverte du matériel. En effet, il faut une période d'apprentissage du dispositif pour qu'il puisse se rendre compte de sa décontraction musculaire mais aussi pour qu'il puisse intégrer les feedbacks auditifs et visuels choisis qui l'aideront par la suite à transposer cette relaxation musculaire lors de son passage à l'écrit.

Pour cela, dans un premier temps, il a découvert seul que lorsqu'il bougeait, lorsque sa posture changeait, les feedbacks visuels variaient. Ensuite, je lui ai demandé de contracter à plusieurs reprises très fort son membre scripteur. La décontraction était plus optimale après la contraction maximale. Ensemble, on a analysé les divers feedbacks ainsi que leur évolution dans le temps en lien avec la contraction et la décontraction de son muscle.

Deuxième séance :

Objectif : Faire le lien entre les feedbacks présents et sa production lors de variations de pression.

Nous avons commencé par un nouvel apprentissage, pour qu'il puisse se familiariser avec le dispositif, et intégrer tous les feedbacks de l'interface. Sa décontraction n'étant pas optimale, je lui ai demandé de contracter au maximum son muscle en fermant le poing, ce qui a eu un effet positif sur sa détente musculaire. Ensuite, nous avons pris comme objet scripteur un crayon à papier. Au préalable, j'avais dessiné quatre wagons de trains et quatre bulles, tous reliés.



La consigne était qu'il devait les colorier en prenant soin d'appuyer de moins en moins fort, ou de plus en plus fort afin d'exercer différentes pressions sur la feuille, donc d'une forte pression jusqu'à une faible pression et inversement. En plus du feedback direct de la trace du crayon gris, il pouvait regarder l'écran où apparaissaient les variations de la tension musculaire qui étaient corrélées significativement avec la pression qu'il exerçait sur le crayon et donc sur la feuille. En fin de séance, on a revu ensemble la courbe pour l'analyser brièvement, et qu'il puisse intégrer le fait que lorsque la courbe descend cela signifie qu'il y a une détente musculaire qui correspondait à la bulle et le wagon les plus clairs.

La troisième séance :

Objectif : Familiarisation du dispositif lors des pré-requis à l'écriture

Pendant la séance, il est concentré et essaie d'être attentif à sa production, et à sa détente musculaire.

Le début de la séance commence par une relaxation du membre supérieur grâce au dispositif et ses feedbacks. Ensuite, je lui propose de faire les pré-requis à l'écriture :

- 
- 
- Les boucles horaires
- Les boucles anti-horaires
- Les f manuscrit en attaché, enchaîné
- Et « lelelele » en écriture minuscule

Il utilise en début de séance les feedbacks visuels et auditifs. Lors du dessin des boucles, je lui demande de se concentrer seulement sur la musique qui varie en intensité afin de le familiariser à ce signal et le dégager du signal visuel.

En fin de séance, on regarde ensemble la courbe, je lui pose alors les questions suivantes :

- Cette augmentation sur la courbe correspond à quelle intensité sonore?
- Ici (je lui montre différentes variations sur la courbe), la musique était-elle forte ou basse ?

La quatrième séance :

Objectif : Utilisation sur toute la séance du feedback auditif, et écrire des mots à vitesse normale et rapide pour prendre conscience des variations de pression lorsque la vitesse augmente.

Après une observation ensemble de son état de relaxation qu'il réussit rapidement à diminuer, je lui ai proposé un exercice.

Cet exercice consistait à écrire un mot, trois fois de suite en faisant varier la vitesse :

- Feuille
- Ciel
- Abeille
- Hiver
- Été

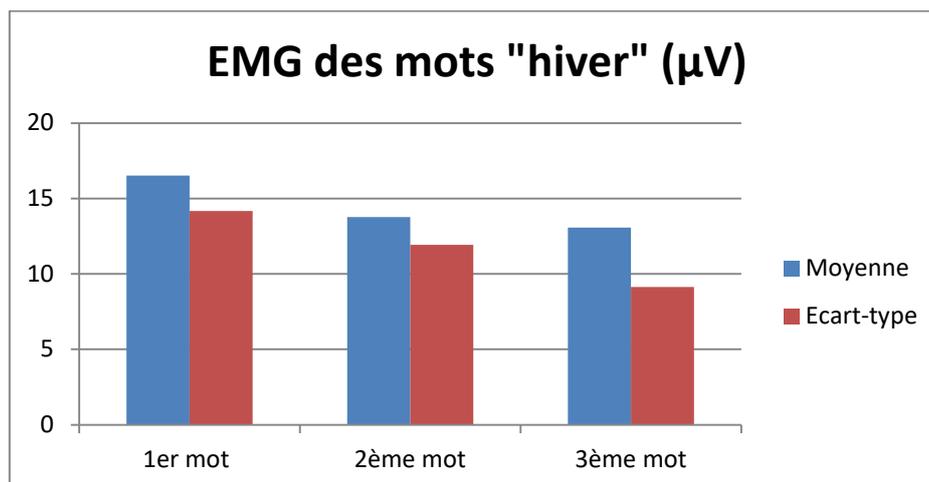
L'écriture de ces mots peut se faire sans lever le crayon, ce qui nous dégage du biais de la contraction du muscle lors des levés.

Je lui demande de l'écrire une première fois comme d'habitude, au rythme avec lequel il écrit à l'école. Dans un deuxième temps, je lui demande d'écrire le même mot de façon plus rapide. Puis, encore plus rapide.

Lorsqu'il écrit le mot feuille, il se rend compte qu'il appuie davantage lorsqu'il doit accélérer. Dès le troisième mot (abeille), il privilégiera la diminution de tonus et n'accélérera plus autant qu'au début. Il écrira le premier mot de façon habituelle, puis diminuera la pression en accélérant très peu. On analyse ensemble sa production, car la trace nous montre bien une différence de force et donc de pression.

La courbe nous révèle que son activité musculaire augmente lorsqu'il écrit, ce qui est tout à fait normal mais aussi une diminution de pression lorsqu'il écrit le même mot.

Graphique 1 : Exemple du mot « hiver » avec les résultats de l'EMG :



On observe donc une diminution de pression, ainsi qu'une diminution de la variabilité de celle-ci.

La cinquième séance :

Objectif : Etre attentif au feedback auditif et utiliser un outil scripteur approprié en vue d'une généralisation à l'école.

Pour améliorer la compréhension du signal auditif, et le dégager définitivement des feedbacks visuels, l'ordinateur est retourné dès le début de la séance. En première partie, il doit alors tenter de se relaxer en se basant seulement sur la musique.

Son outil scripteur est ici son stylo utilisé à l'école pour qu'il essaie de généraliser ce que l'on travaille en séance, à l'école où son hypertonie engendre des douleurs.

Dans un premier temps, je lui demande de choisir deux labyrinthes où il y a trois chemins différents. La consigne est de faire les trois chemins à basse pression. Ces chemins sont différents, il y a des virages prononcés ou non, ainsi que des boucles.

Je lui pose alors cette question : Où penses-tu avoir le plus appuyé sur la feuille lors de ces trajets ?

Il me signifie que lorsqu'il y avait des virages, il avait tendance à appuyer davantage. Ce qui est juste et représentatif à l'échelle de la courbe.

Ensuite, je lui propose un autre exercice. Il doit cette fois écrire 3 fois le mot « chat », qu'il a choisi, et me dire quelle est la pression la plus adaptée.

Il a des difficultés à définir laquelle est la plus appropriée à une écriture adéquate pour éviter la douleur. En effet, les deux premiers il les écrit doucement en appuyant très peu. Le troisième mot est écrit à un rythme normal, la trace est meilleure, moins tremblante, et la pression n'est pas excessive. En effet, lorsqu'il diminue de façon trop importante la pression, son écriture devient plus tremblante. Puis, on regarde ensemble la courbe pour différencier les pressions des 3 mots, mais aussi pour qu'il se rende compte du progrès effectué depuis le début. En effet, la motivation est importante dans ce type de rééducation, et lui exposer sa progression permet de l'impliquer davantage.

Séance 6 :

Objectif : Utiliser le biofeedback sur une phrase, pour qu'il essaie de maintenir la diminution de pression sur un temps relativement plus long qu'un mot.

L'écran est tourné vers moi, il se relâche néanmoins rapidement.

Cette fois, l'exercice demandé est l'écriture d'une phrase choisie à l'avance : « Dans la savane le lion chasse pour manger ». On la lit ensemble plusieurs fois pour le dégager de la lecture qui est difficile pour lui. Ensuite, il commence à écrire tout en essayant d'écouter la musique qui lui est renvoyée en rapport avec ses changements de pression.

Dans un deuxième temps, je lui demande d'écrire « dans » 3 fois, et de me dire pour chacun d'eux :

- La pression : s'il pense qu'elle est forte – moyenne – faible
- Les différences de pression entre les 3 mots

Séance 7 :

Objectif : terminer les séances de biofeedback par un exercice de bouclage sans aucune indication tonique verbale pour toute la séance.

Au commencement de la séance, il pratique l'exercice de relaxation avec le feedback auditif. Ensuite, je lui demande de faire des croix partout sur une feuille. Il est rapide dans son exécution. Une fois qu'il a fait les croix, il doit toutes les entourer en faisant des boucles autour de celles-ci. Le traçage est fluide et vif. Or, la trace n'est pas épaisse, et les variations de pression reflétées par le module de biofeedback ne sont pas excessives, quelques croix sont néanmoins dessinées avec une pression plus forte.

Pour terminer la séance, je lui ai posé quelques questions :

- Te souviens-tu pourquoi on a utilisé le biofeedback ?
- Est-ce que tu penses que ça t'a aidé à moins appuyer lorsque tu écris ?
- Y penses-tu à l'école ?
- As-tu encore des douleurs ?

Il a bien intégré l'utilité du biofeedback, il se rend compte qu'il appuyait fort sur son stylo, et réussit à faire le lien entre contraction musculaire excessive et douleurs. Néanmoins, il ne pense pas forcément à moins appuyer lorsqu'il est à l'école, mais il pense tout de même qu'il appuie moins qu'avant les séances de rééducation.

A la fin des séances de biofeedback, je lui fais alors écrire le pangramme sur la tablette afin d'analyser les résultats cinématiques de sa trace graphique.

Ensuite, lors d'une nouvelle séance, je lui fais passer à nouveau un BHK dans le but de se rendre compte d'une amélioration qualitative et/ou quantitative.

Enfin, 1 mois après la rééducation, j'ai demandé à Tom s'il percevait des changements ou non, lors de ses productions d'écriture graphique en classe, il m'a alors signalé que :

- Il avait moins mal à la main, et pouvait donc écrire plus longtemps
- Il pense à moins appuyer à l'école lorsqu'il écrit

Mais il dit ne pas avoir fait attention à sa qualité graphique.

IV) Résultats

A- Mesures externes

1) Mesure cinématique du Pangramme

L'écriture du pangramme a été réalisée sur une feuille blanche A4 positionnée sur la tablette graphique. Celle-ci était reliée au logiciel « saisie run » de l'ordinateur qui m'a permis d'enregistrer les deux pangrammes effectués avant et après la rééducation sous forme de données.

Puis, j'ai ensuite effectué une segmentation à l'aide du logiciel « écriture suite ».

Figure 4 : Segmentation du pangramme avant la rééducation

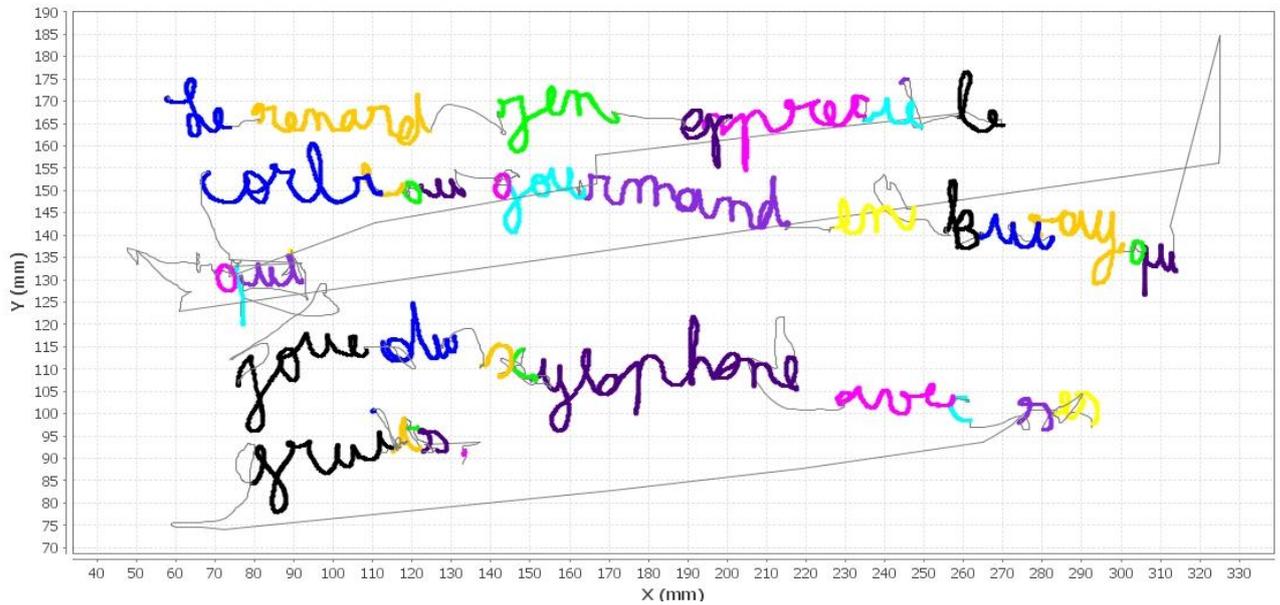
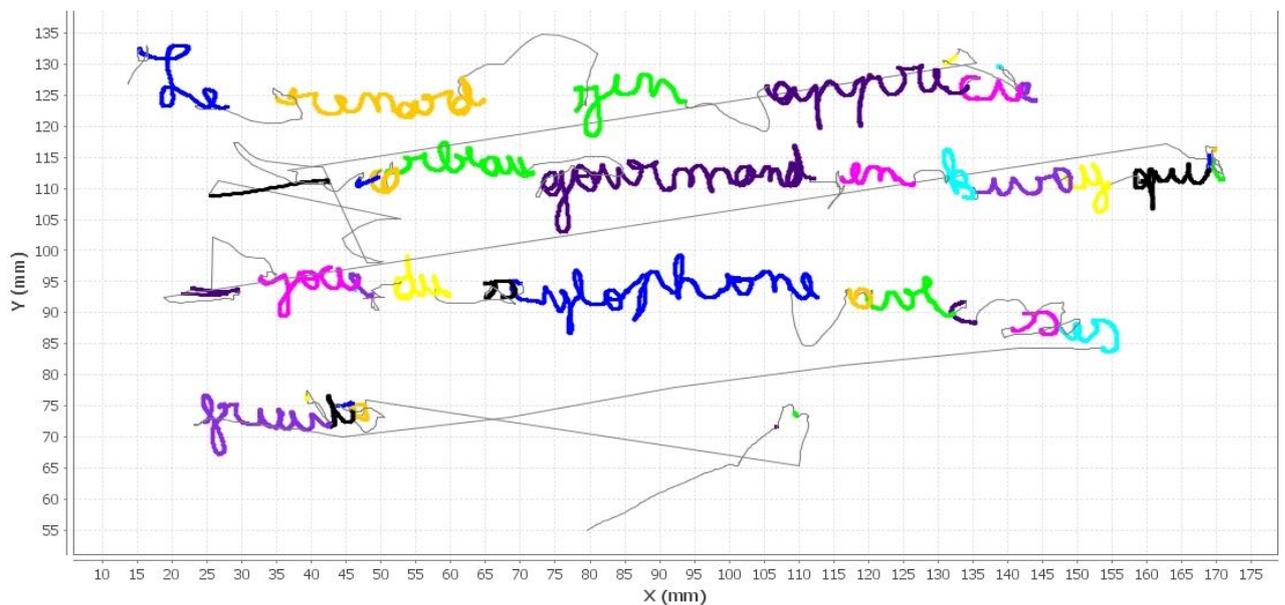
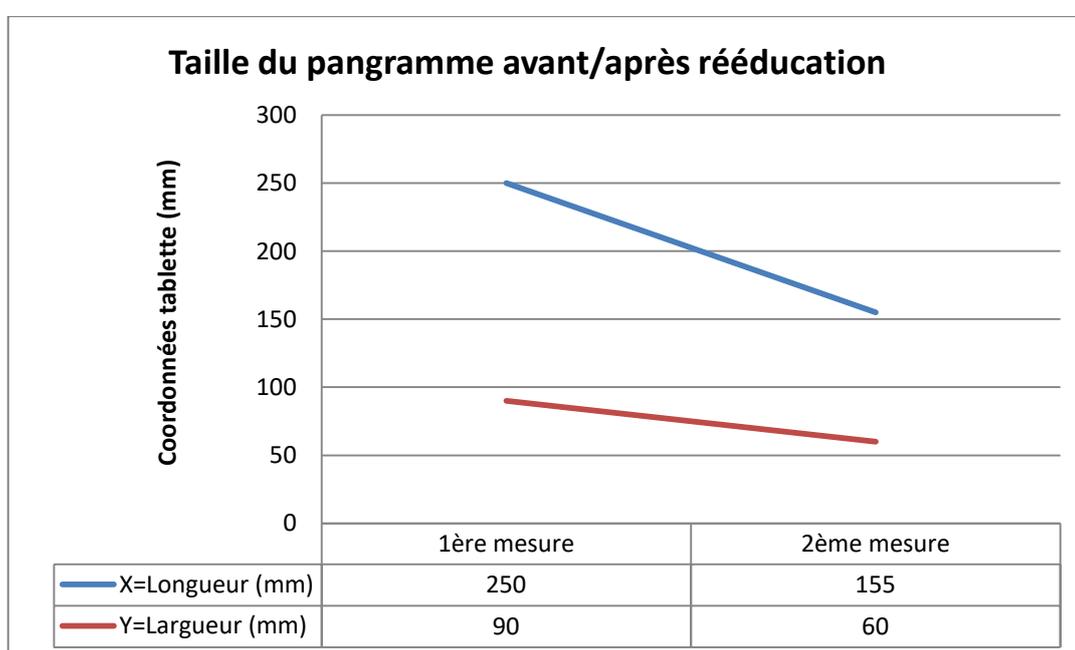


Figure 5 : Segmentation du pangramme après la rééducation



Cliniquement, nous pouvons observer que son écriture n'a pas été modifiée dans sa forme et son aspect général des lettres. En effet, si l'on prend l'exemple du sens de rotation des lettres « a » et « o », il reste inchangé. D'autre part, la phrase est scindée de la même manière et les retours à la ligne sont identiques.

Cependant, on peut observer qu'il écrit davantage de manière rectiligne, et que la gestion de l'espace est meilleure. De plus, grâce aux coordonnées, on s'aperçoit que la taille de la graphie diminue, et qu'il utilise moins d'espace pour écrire le pangramme :



Graphique 2 : Comparaison des coordonnées du pangramme avant/après rééducation

On observe donc une diminution significative de la longueur des parties de la phrase mais aussi une diminution de la largeur de la phrase entière.

Afin de voir s'il y a eu une modification des variables internes de l'écriture après la rééducation, j'ai extrait les données segmentées des deux pangrammes que j'ai ensuite comparée entres-elles :

	1^{ère} Mesure	2^{ème} Mesure
Nombre de levées de crayon	41	40
Nombre de pauses	318	335
Durée totale (secondes)	146	172
Durée des traits (secondes)	118	100
Durée des levées (sec)	28	72
Durée des pauses (sec)	14	12
Vitesse (mm/sec)	25	12
Pression moyenne (Newton/mm²)	773	572

Tableau 1 : Résultats tablette des différentes variables avant et après rééducation

On peut observer une augmentation :

- Du nombre de pauses
- De la durée totale de la phrase
- De la durée des levés

Et une diminution :

- De la durée des traits
- De la vitesse
- De la pression

Cependant, on prendra en compte les résultats significatifs de la durée des levées, de la vitesse ainsi que de la pression.

Afin de se rendre compte plus précisément de ces changements dans les mots, j'ai alors comparé différents mots pour la vitesse et la pression :

Mots	Xylophone		Gourmand		Renard		Fruits		joue	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Vitesse (mm/sec)	19	12	15	14,9	19	14,6	15	7,3	23	9,3
Pression (N/mm²)	862	636	874	550	857	484	761	621	846	530

Tableau 2 : Vitesse et pression dans différents mots du pangramme, avant-après rééducation

On observe donc une réduction significative de la pression pour tous les mots présentés. Cependant, les résultats pour la vitesse sont hétérogènes. En effet, il y a une diminution très importante pour les mots « fruits » et « joue » qui n'est pas présente dans le mot « gourmand ».

2) Résultat test-Retest du BHK :

- *BHK : Test*

En date du 6 Décembre 2016, j'ai fait passer à Tom un BHK enfant.

Pendant la passation, je peux observer qu'il écrit de la main droite avec une prise tripodique et que sa main gauche vient en soutien.

Sa feuille n'est pas orientée et il place le modèle à sa droite ce qui l'oblige à regarder par-dessus le bras scripteur. Le crayon est tenu à distance de la mine et les doigts sont peu mobiles. Le repérage dans le texte n'est parfois pas évident.

A la fin de la production, il présente des douleurs au niveau du pouce et de l'index et la trace est grosse et foncée révélant une hypertonie non négligeable.

Il confond les lettres p/b/l.

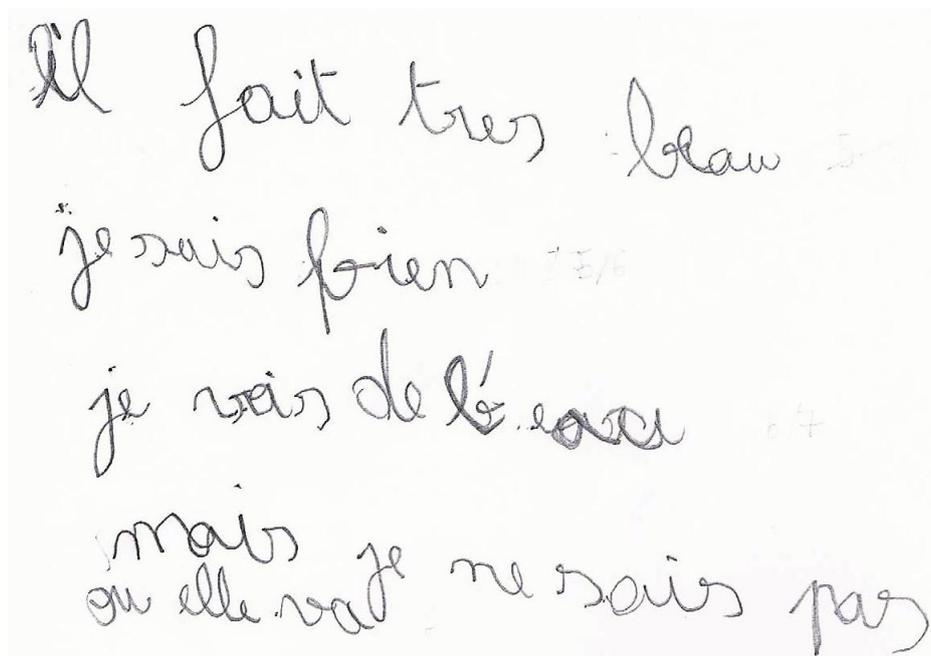


Figure 6 : Partie du BHK avant rééducation

Tableau 3 : Résultats selon les 13 critères du BHK avant rééducation

Critères	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Score	3	1	4	1	3	4	2	2	0	0	2	1	1

Score en déviation standard :

- Qualité : 24 points = - 3,6 DS
- Vitesse : 85 caractères = -1,9 DS

Tom présente une dysgraphie ainsi qu'une vitesse déficitaire comparée aux enfants de sa classe d'âge.

- BHK : Retest

Lors du deuxième BHK, réalisé en Avril 2017, il a tendance à écrire les mots un par un, ce qui est dû à ses difficultés de lecture toujours présentes. Le texte est positionné à sa gauche.

Il entremêle la phrase deux et trois, ce qui montre des difficultés de repérage. A la fin de la passation, je lui fais écrire la phrase manquante afin de pouvoir le coter.

On peut observer des inversions de lettres entre p/b et « va » devient « av ».

La trace révélée par le crayon gris n'est pas excessivement foncé, et le trait n'est pas épais.

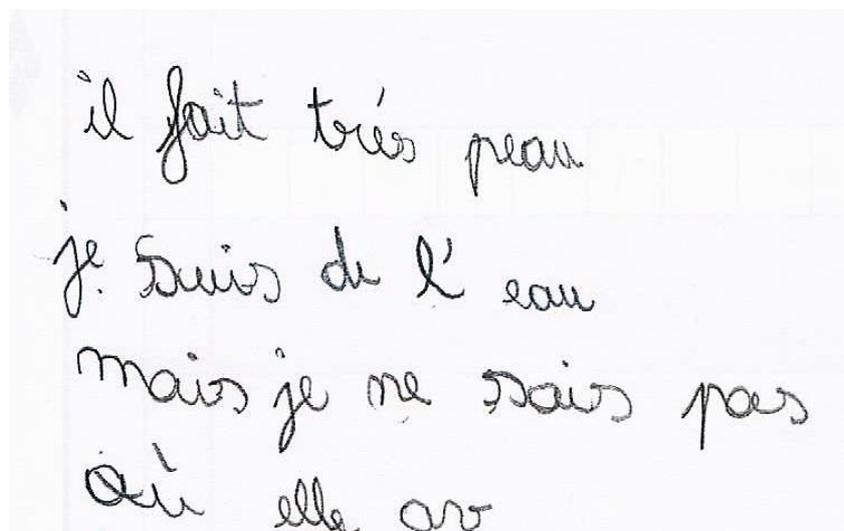


Figure 7 : Partie du BHK après rééducation

Tableau 4 : Résultats des 13 critères du BHK après rééducation

Critères	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Scores	1	0	3	0	1	4	0	1	0	0	1	1	1

Score en déviation standard :

- Qualité : score de 13 = -0,16 DS
- Vitesse : 116 caractères = -1,4 DS

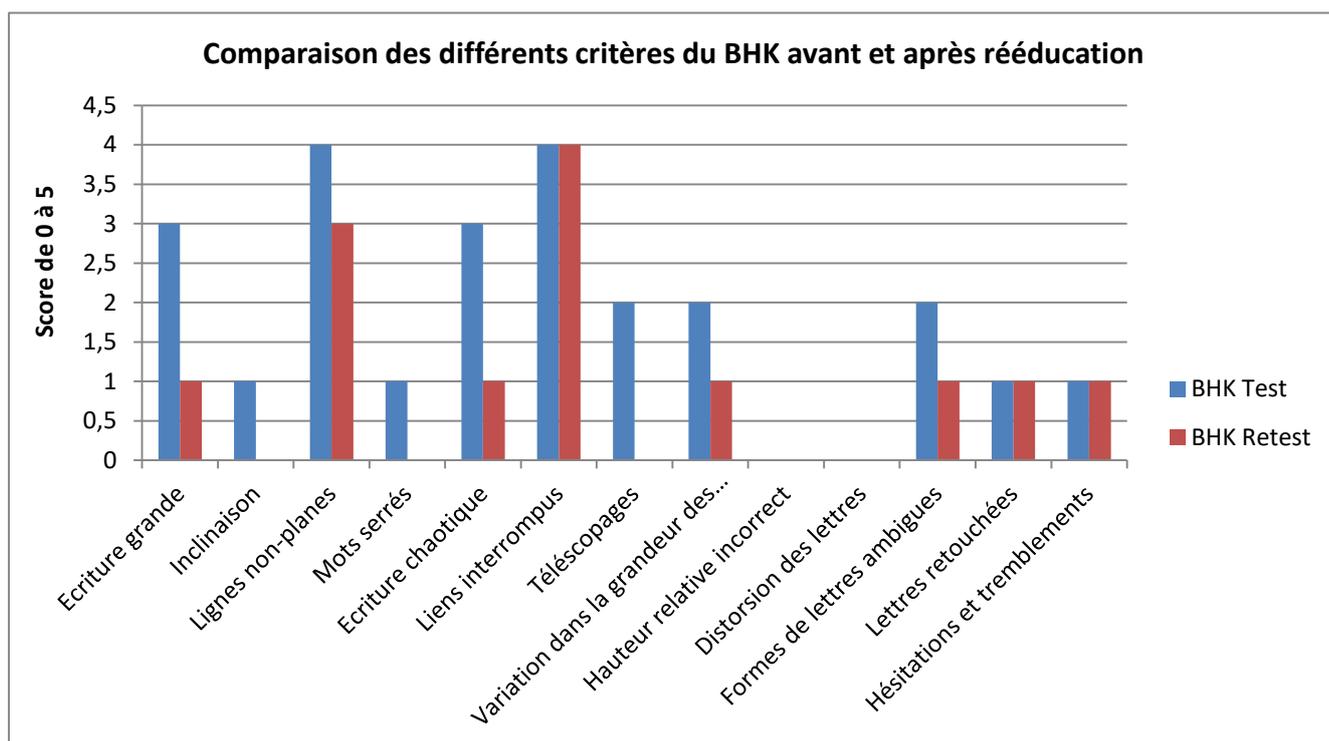
Sur le score global, au niveau qualitatif, Tom ne présente plus de dysgraphie.

La vitesse reste elle, encore limitée, cependant il y a une progression de 31 caractères.

On observe aussi, une nette diminution de la taille des lettres, ainsi qu'une meilleure gestion de l'espace dans la feuille mais aussi dans les mots. En outre, l'aspect général paraît plus fluide.

Afin de se rendre compte de l'amélioration pour chaque critère, j'ai réalisé un graphique comparatif :

Graphique 3 : Comparaison des différents critères du BHK avant-après rééducation



Les résultats nous montrent une amélioration qualitative globale significative sur l'ensemble du BHK.

En effet, on retrouve une meilleure réalisation pour les 8 critères suivant :

- Ecriture grande
- Ecriture chaotique
- Téléscoptes
- Inclinaison
- Lignes non-planes
- Mots-serrés
- Variation dans la grandeur des lettres troncs
- Formes de lettres ambiguës

Sage, en 2010, identifie lors d'une étude sur les différents critères du BHK, des fonctions associées à chacun d'eux qui auraient une influence sur un ou plusieurs critères en particulier.

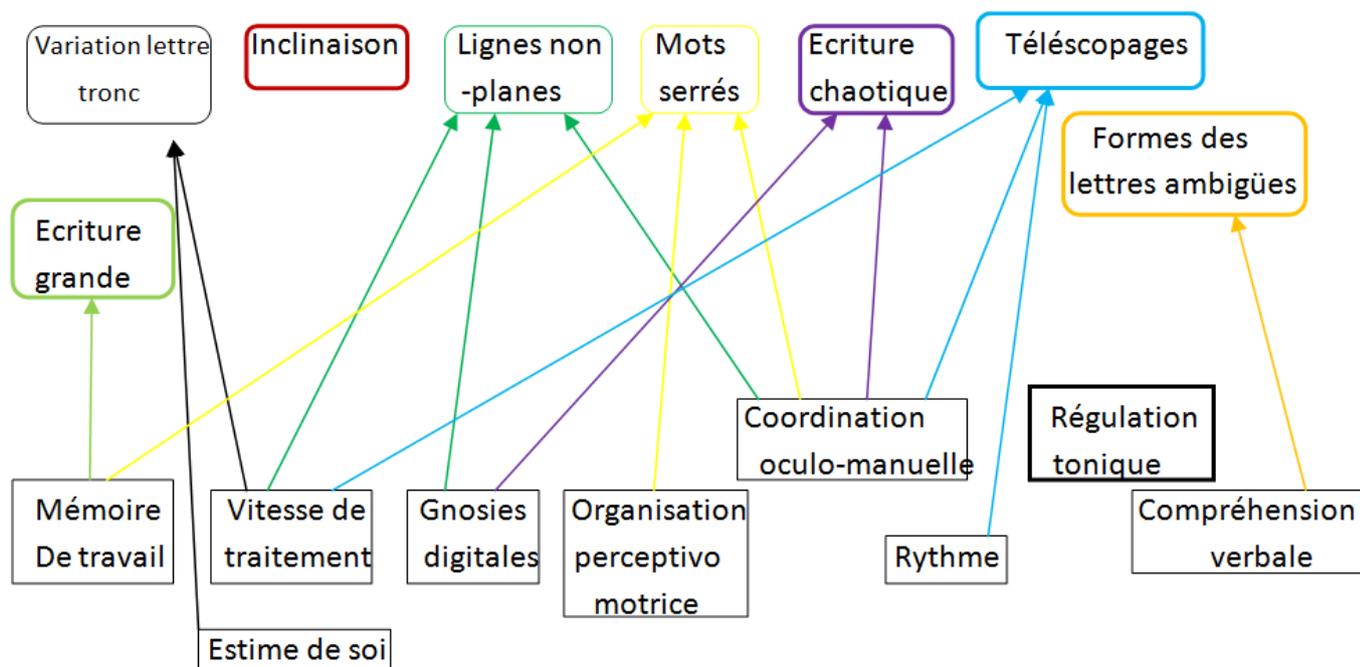


Figure 8 : Influence des fonctions sur les critères du BHK

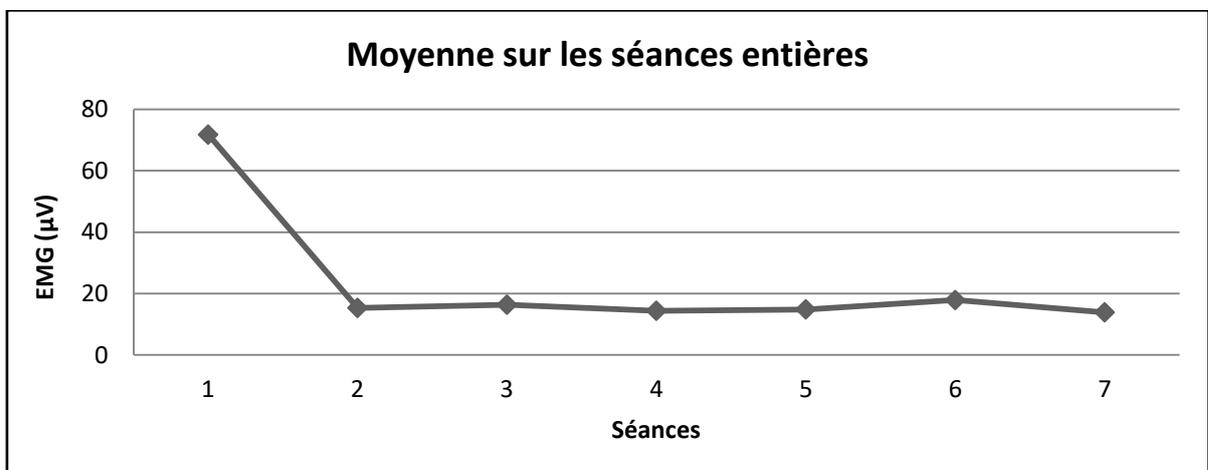
La régulation tonique n'a pas été décrite comme influençant des critères particuliers du BHK.

Cependant, les résultats obtenus après la rééducation de Tom montrent que réduire la régulation tonique a eu un effet significatif sur les résultats qualitatifs de son BHK, et particulièrement pour l'amélioration des critères suivant:

- Ecriture grande
- Ecriture chaotique
- Télésco page

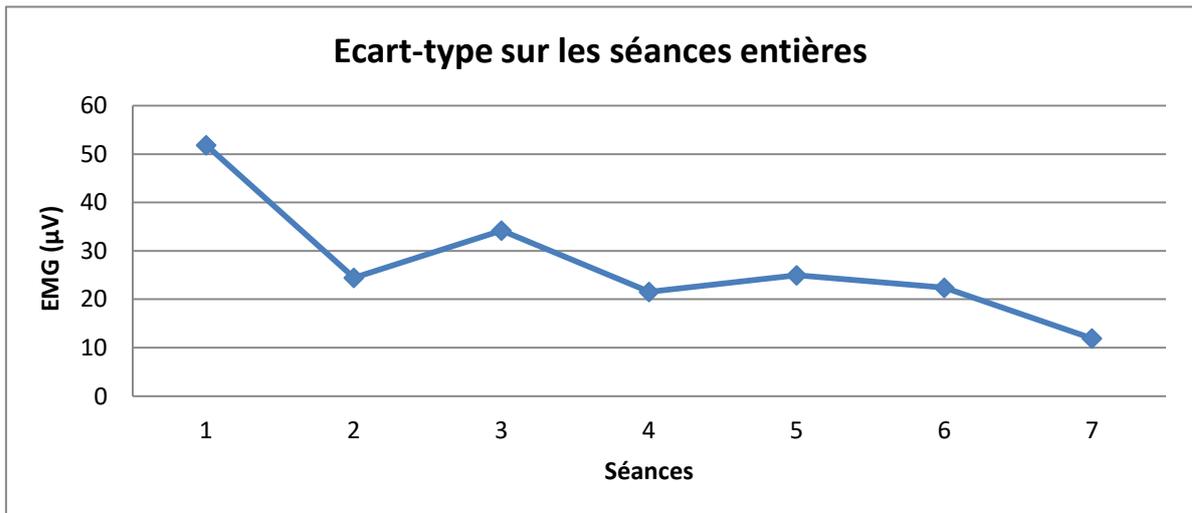
B- Résultats de la méthode de biofeedback sur le tonus musculaire :

Grâce au logiciel « Biograph Infiniti », qui nous a permis d'extraire les données de chaque séance afin de se rendre compte des variations tonique de Tom au cours des séances, j'ai pu comparer les données EMG pour les 7 séances.



Graphique 4 : Moyenne de l'électromyogramme sur les séances de biofeedback

On observe une diminution rapide de la contraction musculaire de la séance 1 à la séance 2. Ensuite la contraction musculaire reste stable en moyenne au fil des séances.



Graphique 5 : Valeurs des écart-types pour les séances de biofeedback

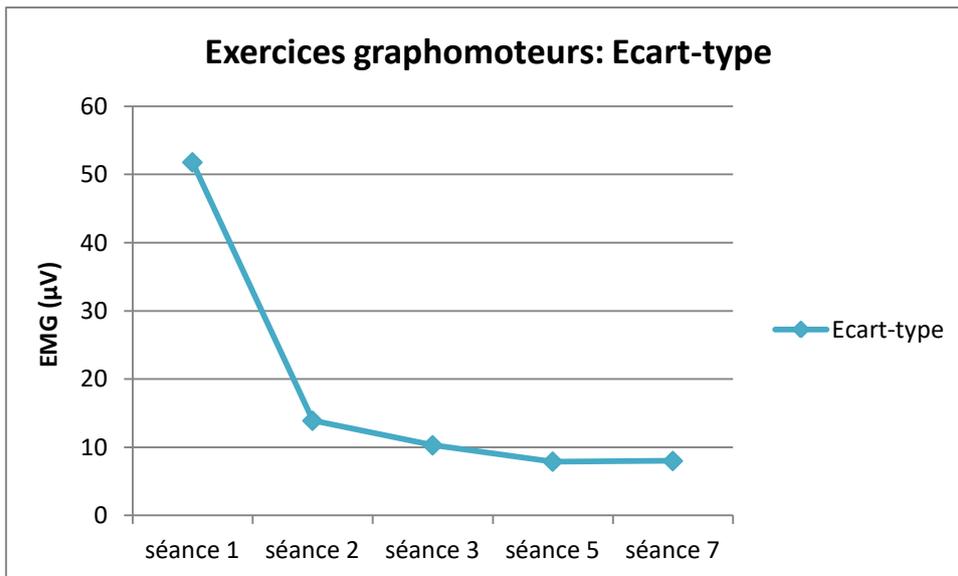
Pour la comparaison des valeurs des écart-types sur toutes les séances, on observe que la contraction musculaire varie beaucoup lors de la première séance. En revanche, au fil des séances cette variabilité diminue quelle que soit l'activité pendant la séance.

Afin de se rendre compte si le type d'activité réalisé pendant la séance avait une influence sur la contraction musculaire ainsi que sur la variabilité de celle-ci au cours des 7 séances, j'ai isolé des résultats EMG.

En effet, j'ai pris les données EMG qui représentaient la contraction musculaire en action :

- Dans une tâche d'écriture ou
- Dans une tâche graphomotrice

Selon la tâche, les moyennes restent toujours stables à partir de la deuxième séance. En revanche, on observe une nette différence dans la variabilité de sa contraction musculaire lorsqu'il se trouve dans une tâche graphomotrice.



Graphique 6 : Ecart-type des séances graphomotrice avec l'utilisation du biofeedback

Il y a donc une diminution très marquée de la séance 1 à la séance 2, puis une diminution progressive de la variabilité tonique au fil des séances de graphomotricité.

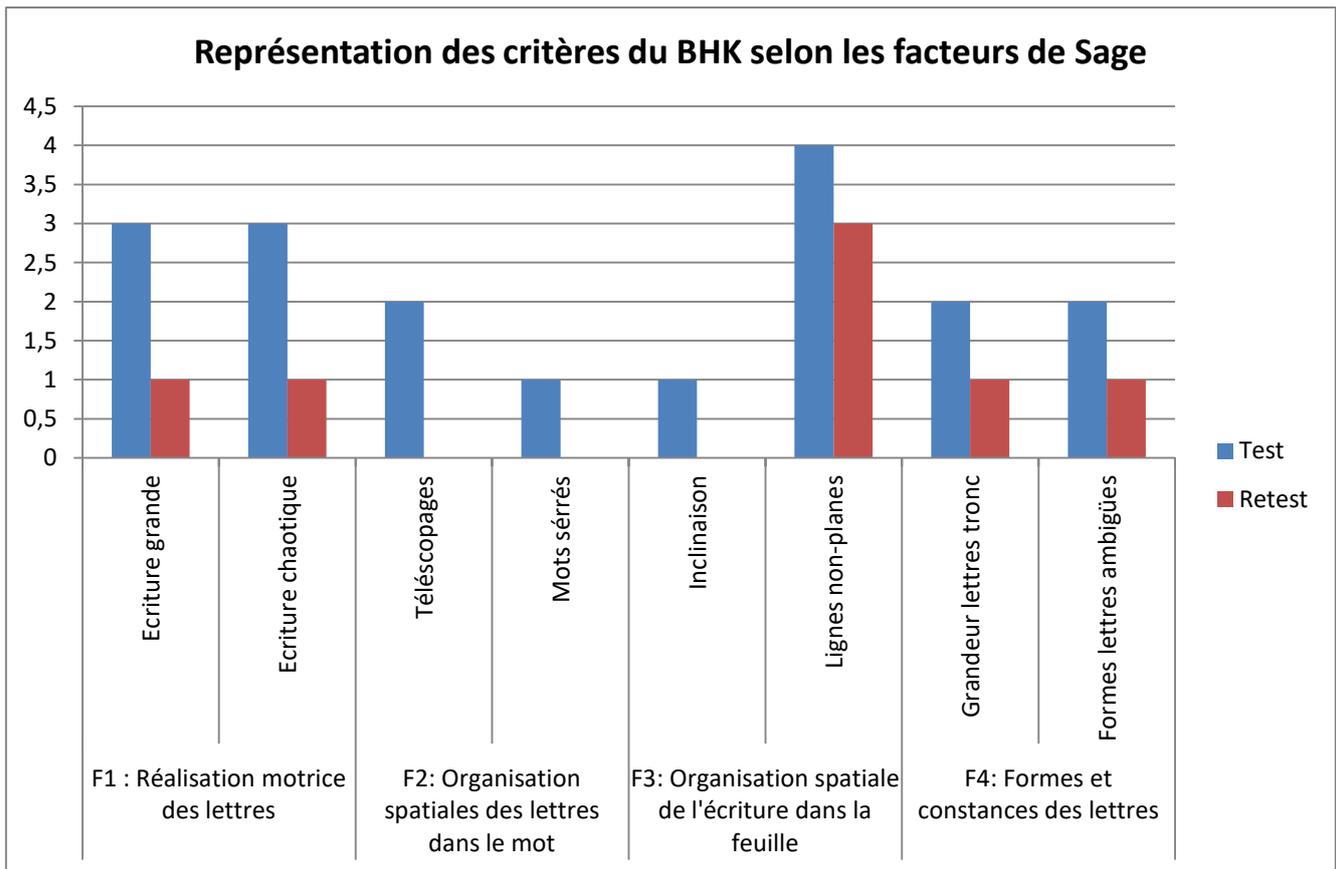
V) Discussion

A- Les mesures externes

1) BHK:

Le travail sur le tonus dans l'action à eu un effet sur l'écriture de Tom. En effet, les BHK passés avant et après la rééducation nous montrent une nette amélioration de la qualité, ainsi qu'une légère augmentation de la vitesse.

Si l'on reprend les facteurs de Sage on retrouve une amélioration globale dans tous les facteurs.



Graphique 7 : Résultat des critères BHK –Test/Retest – selon les facteurs de Sage

On pourrait alors penser que la rééducation de la régulation tonique de Tom a eu une influence significative et spécifique sur l'amélioration de certains critères, car on observe une diminution de 2 points pour:

- L'écriture grande
- L'écriture chaotique
- Le télescopage

D'autres critères s'améliorent. Cependant, ils diminuent de 1 point, ce qui ne nous permet pas d'établir un lien significatif.

Diminuer la contraction musculaire et donc la pression aurait un impact important sur la réalisation motrice des lettres, ainsi que l'organisation spatiale dans le mot. De façon plus générale, la régulation tonique est une des pré-requis à l'écriture, la rééducation a donc eu une influence positive sur tous les aspects qualitatif de l'écriture de Tom.

2) Tablette :

Grâce aux résultats fournis par le logiciel « écriture suite », on a observé plusieurs phénomènes indiquant qu'il y a eu un changement au sein de l'écriture :

- Diminution significative de la pression du stylo sur la feuille, et de la vitesse
- Augmentation des levées de crayon

Pression :

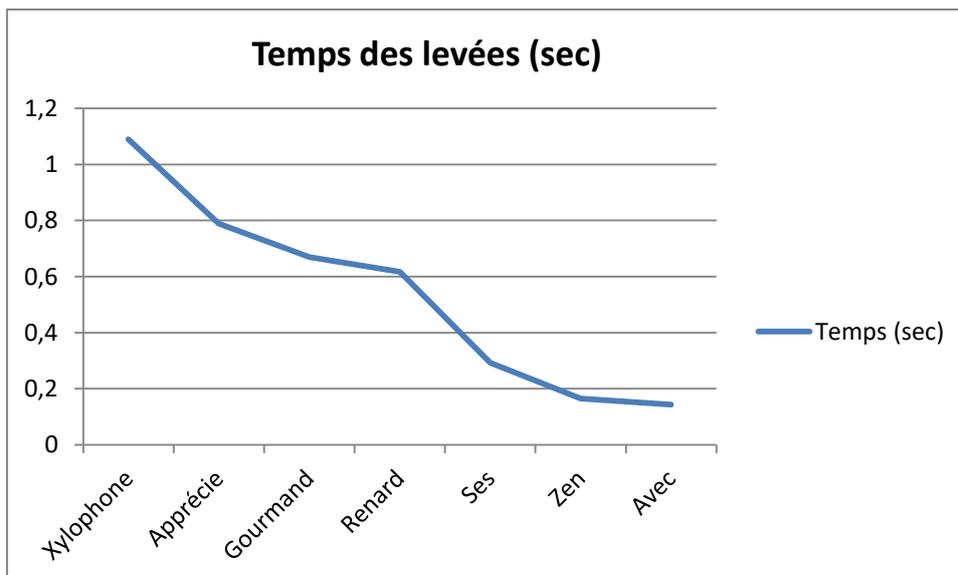
La diminution de pression est très importante, cela nous prouve que la rééducation sur la relaxation musculaire dans l'action a fonctionné. Tom réussit donc à contrôler davantage son tonus, ce qui lui permet de réduire la pression du stylo sur la feuille lors des différentes activités graphiques.

Levées de crayon :

Il y a une augmentation significative des levées, il passe donc plus de temps en l'air. La durée des levées était en moyenne de 28 secondes pour la première mesure, alors qu'elle est de 72 secondes en moyenne pour la deuxième mesure. Cela pourrait s'expliquer par le fait qu'un contrôle sur sa détente s'établit avant d'écrire un nouveau mot.

De plus, lors de la première mesure, les temps des levées avant les différents mots de la phrase étaient homogènes pour quasiment tous les mots. En revanche, lors du calcul du temps de levées pour la deuxième mesure tablette, on obtient des résultats plus cohérents avec le fait que : plus le mot est long, plus le temps passé en l'air est important.

En effet, chez les enfants, selon la taille des mots, le temps de levées en amont est généralement plus long que pour les mots de petite taille. Cependant, il faut prendre en compte que des processus linguistiques rentrent en jeu dans cette durée des levées, selon la complexité du mot par exemple, la durée sera supérieure à un mot plus simple ou plus fréquent.



Graphique 8: Temps de levées avant l'écriture d'un mot

L'entraînement à la diminution de la contraction musculaire dans le mouvement a donc eu un effet significatif sur la diminution de pression dans l'écriture, qui a engendré l'augmentation du temps des levées de crayon.

Dans un premier temps, on pourrait alors penser qu'il y a un contrôle plus important dans la préparation de sa détente musculaire de l'avant-bras jusqu'au doigt, entraînant cette augmentation des levées. En effet, grâce à la rééducation, le tonus est rendu conscient, il peut donc réussir à agir dessus et l'intégration de celui-ci permet de faciliter l'écriture.

Dans un deuxième temps, on sait que dans l'écriture, il y a, lors de ces levées de crayon, un pré-traitement du mouvement. On pourrait alors penser que l'augmentation du temps de ces levées de crayon a permis une augmentation du contrôle pro-actif. En effet, c'est à ce moment là qu'il y a une représentation interne du mouvement à accomplir grâce à la programmation motrice. De plus, des études de stop & go dans l'écriture ont montré que, lorsque les enfants analysaient davantage le mot lors des levés de crayon, la qualité d'écriture s'améliorait.

Cependant, différents programmes moteurs sont stockés en mémoire selon les mots et la maîtrise de l'écriture.

La vitesse :

Les données tablette nous montrent une importante diminution de la vitesse pour certains mots. En revanche, certains mots comme « gourmand » ont une vitesse similaire lors des deux mesures.

La diminution de pression engendre donc une diminution de vitesse certainement due au contrôle du tonus pendant la formation du mot. Cependant, pour le mot « gourmand », on observe, grâce à la segmentation, qu'il était formé lors de la première mesure en 3 unités distinctes. Or, lors de la deuxième mesure il est formé en 1 seule unité. On peut alors penser que la réduction des unités dans le mot, compenserait ici la diminution de vitesse. Ce qui montre un gain de fluidité dans le mouvement.

3) Comparaison résultats Tablette/BHK :

Pour la vitesse, on peut observer une diminution de celle-ci lors de l'écriture de la phrase sur la tablette, pourtant lorsqu'il recopie le texte du BHK sa vitesse d'inscription augmente légèrement.

On peut penser qu'il se concentre davantage sur son tonus lorsqu'il écrit la phrase sur la tablette. Or, lorsqu'il doit recopier le texte du BHK, les conditions sont plus ergonomiques. Il se concentre sûrement davantage sur la tâche de copie de texte, ce qui lui permet, grâce à une meilleure fluidité du mouvement, d'accélérer légèrement.

Au niveau des lettres, on se rend compte lors de la mesure tablette, ainsi que lors du BHK, qu'il y a une réduction importante de la macrographie. En effet, dans un premier temps au niveau du BHK, le critère écriture grande diminue de 2 points. Dans un deuxième temps, la comparaison des coordonnées tablette met en évidence une diminution significative de la longueur des parties de phrases ainsi qu'une diminution de la largeur. En plus d'une meilleure réalisation motrice des lettres il y a donc aussi une amélioration de la gestion de l'espace dans la feuille. De plus, on observe que la gestion de l'espace dans les mots est nettement meilleure. Ces observations nous montrent que réguler son tonus lui a permis d'améliorer sa fluidité dans l'écriture.

Chez les dysgraphiques, il est très fréquent d'observer une augmentation dans la taille des lettres. La réduction de sa graphie expliquerait alors qu'il passe moins de temps à produire une lettre. Par conséquent, l'augmentation du nombre de caractères au niveau du BHK ne permet pas de penser qu'il est plus rapide qu'auparavant.

Ces résultats nous indiquent alors que la régulation tonique a joué un rôle sur la réalisation motrice des mots. De plus, l'écriture de Tom est plus fluide, plus stable, et davantage rectiligne lors des mesures prises après la rééducation. Ce qui nous permet de penser que la régulation tonique pourrait aussi tenir un rôle dans l'amélioration de l'organisation spatial dans la feuille et dans les mots.

B- Les mesures internes :

Il s'agit de la rééducation de la relaxation de l'avant-bras jusqu'aux doigts dans l'action, à l'aide du matériel de biofeedback.

Le résultat des moyennes des EMG de chaque séance, met seulement en évidence un processus d'apprentissage qui se fait rapidement. En effet, il y a une forte diminution de la contraction musculaire moyenne de la première à la deuxième séance qui se stabilise lors des séances suivantes.

En revanche, l'étude de la variabilité (écart-types) du tonus révèle que plus les séances avancent, plus elle diminue.

Tom module donc son tonus de façon moins importante de séance en séance. Ce qui est un marqueur d'amélioration. En effet, il intègre son tonus, et le régule, quelle que soit l'activité.

Après analyse des différentes tâches proposées pendant les séances, et après avoir extrait les données où Tom était dans la tâche concernée seulement, on s'aperçoit que les écart-types diminuent davantage lors des exercices graphomoteurs.

On peut alors penser que les exercices de graphomotricité sont suffisants pour diminuer le tonus musculaire et la pression dans l'écriture, et ainsi améliorer l'écriture de Tom.

La diminution de la variabilité n'étant pas représentative dans les exercices d'écriture, une rééducation du tonus sans tâche d'écriture pourrait alors être envisagée.

Ce qui permettrait aux enfants dysgraphiques ayant des réticences dans le passage à l'écrit comme Tom, de s'en dégager.

Conclusion

La rééducation du tonus dans l'écriture a donc eu un impact favorable et non-négligeable sur la qualité d'écriture.

Cliniquement, au terme de la rééducation, j'ai pu observer chez Tom une écriture plus fluide et plus stable, de plus, ses douleurs sont moins présentes et il dit réussir à écrire plus longtemps qu'auparavant.

Selon les facteurs de Sage, on pourrait alors penser que la régulation du tonus permettrait spécifiquement d'améliorer la réalisation motrice des lettres.

De plus, l'augmentation de sa concentration sur son propre tonus lors des levées de crayon, mais aussi sur sa trace reflétant la pression du stylo sur la feuille, pourraient augmenter les feedbacks présents dans l'écriture :

- Les feedbacks visuels, qui entraineraient, une meilleure gestion spatiale dans la feuille par une augmentation du contrôle visuel, ainsi qu'une meilleure qualité de la trace.
- Les feedbacks proprioceptifs, car l'intégration de son tonus a pu avoir une conséquence sur l'amélioration de ses sensations proprioceptives.

Ensuite, les feedbacks auditifs présents dans l'interface du biofeedback permettraient d'associer une variable physiologique à un son. Cela apporterait alors une amélioration du contrôle moteur en cours d'exécution, et donc une meilleure qualité de l'écriture grâce à l'intégration de la modulation tonique au cours du mouvement.

Les feedbacks donnent un retour d'informations sur l'aspect tonique de l'avant-bras en situation d'écriture. Il réussit alors à faire un lien entre contraction musculaire et écriture douloureuse. Le tonus serait alors sous-jacent à une mauvaise écriture lors de troubles toniques chez l'enfant.

Cependant, malgré une légère augmentation dans la fréquence d'inscription, celle-ci n'est pas significative. Il serait alors utile d'évaluer cette donnée sur d'autres

enfants présentant des troubles toniques afin de se rendre compte de la modification de cette variable.

De plus, proposer ce protocole sous forme de protocole à cas unique mais aussi sur plusieurs enfants permettrait de confirmer le rôle de la rééducation du tonus en situation d'écriture dans l'amélioration qualitative de l'écriture.

Afin de se rendre compte si la rééducation de la régulation tonique a permis une généralisation à l'école, j'envisage de récupérer ses cahiers scolaires. Cela pourrait permettre de constater s'il y a eu une amélioration de l'écriture pendant l'année scolaire et si celle-ci s'est dégradée à l'arrêt des séances. Enfin, on peut se demander si une prise en charge à raison d'une séance par semaine pendant 7 semaines est suffisante ou si une rééducation sur du long terme serait pertinente.

Bibliographie

- Abeilhou, P., & Corraze, J. (2010). Le biofeedback: une aide technique supplémentaire à la prise en charge psychomotrice.
- Ajuriaguerra J., Auzias, M., Coumes, F., Denner, A., Lavondes-Monod, V., Perron, R. & Stambak, M. (1956). L'écriture de l'enfant : l'évolution de l'écriture et ses difficultés. Tome 1. Neuchâtel : Delachaux et Niestlé.
- Albaret et Soppelsa (1999). Précis de rééducation de la motricité manuelle. Marseille : Solal
- Albaret J-M. (2002). Le développement du dessin, des praxies constructives et de l'écriture. Academia.edu.
- Albaret, J. M., Giromini, F., & Scialom, F. (2011). Manuel d'enseignement de psychomotricité. *Marseille: Solal.*
- Albaret, J. M., Kaiser, M. L., & Soppelsa, R. (2013). *Troubles de l'écriture chez l'enfant.* De Boeck Supérieur.
- Albaret, J-M. (2001). Les troubles psychomoteurs chez l'enfant. Encyclopédie Médico-chirurgicale, Pédiatrie, 4-101-H-30, Psychiatrie, 37-201-F-10, Paris : Elsevier
- American Psychiatric Association. (2015). DSM-5®: manuel diagnostique et statistique des troubles mentaux. Elsevier Masson.
- Athenes, S., Sallagoity, I., Zanone, P. G., & Albaret, J. M. (2004). Evaluating the coordination dynamics of handwriting. *Human movement science*, 23(5), 621-641.
- Auzias, M., & de Ajuriaguerra, J. (1964). *L'écriture de l'enfant: La rééducation de l'écriture.* Éd. Delachaux & Niestlé.
- Chaix, Y., & Albaret, J.-M. (2014). Trouble de l'Acquisition de la Coordination et déficits visuo-spatiaux. *Développements*, (2), 32–43
- Charles M., Soppelsa R., et Albaret J-M., (2003). BHK – Echelle d'évaluation rapide de l'écriture chez l'enfant. Paris : Editions et Applications psychologiques

- Danna J., Paz-Villagrán V., & Velay J.-L. (2013). Signal-to-Noise velocity peak difference: a new method for evaluating the handwriting movement fluency in children with dysgraphia. *Research in Developmental Disabilities*, 34;4375-4384.
- Danna, J., Athènes, S., & Zanone, P. G. (2011). Coordination dynamics of elliptic shape drawing: Effects of orientation and eccentricity. *Human movement science*, 30(4), 698-710.
- Danna, J., Paz-Villagran, V., Velay, J. L., Gondre, C., Kronland-Martinnet, R., Ystad, S., ... & Omer, H. (2012). Sonifier l'écriture: un outil pour le diagnostic et la remédiation de la dysgraphie. *Développements*, (3), 32-40.
- De La Santé, O. M. (1993). CIM 10—Classification Internationale des troubles Mentaux et des troubles du comportement: descriptions cliniques et directives pour le diagnostic.
- Dounskaia, N., Van Gemmert, A. W. A., & Stelmach, G. E. (2000). Interjoint coordination during handwriting-like movements. *Experimental Brain Research*, 135(1).
- Graham, S., & Weintraub, N. (1996). A review of handwriting research: Progress and prospects from 1980 to 1994. *Educational psychology review*, 8(1), 7-87.
- Herrick et Otto (1961). Pressure on point and barrel of a writing instrument. *Journal of experimental education*.
- Hollerbach, J. M. (1981). An oscillation theory of handwriting. *Biological Cybernetics*, 39(2), 139-156.
- 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).
- Kelso, J. A. S. (1981, January). On the oscillatory basis of movement. In *Bulletin of the psychonomic society* (Vol. 18, No. 2, pp. 63-63).
- Korkman, M., Kirk, U., & Kemp, S. (2007). *NEPSY-II*. San Antonio, TX: Pearson.
- Lurçat, L. (1974). *Etude de l'acte graphique*. Paris : Mouton
- Lurçat, L. (1980). *L'activité graphique à l'école maternelle*. Paris : ESF

- Mandal, T. (2009). Better furniture types for work and studies reduces bending and pain. *Association for Body Conscious Design*.
- Parush, S., Levanon-Erez, N., & Weintraub, N. (1998). Ergonomic factors influencing handwriting performance. *Work*, 11(3), 295-305.
- Paz- Villagrán V, Gilhodes J-C, Velay J-L. (2012). Les enfants dysgraphiques sont-ils plus lents que les autres ?, *Développements*, (n°13), p38-44
- Pireyre, E. (2011). Clinique de l'image du corps. *Paris, Dunod*.
- Plane, S. (2006). Singularités et constantes de la production d'écrit. L'écriture comme traitement de contraintes. In J. Lafont-Terranova et D. Colin (Eds), *Didactique de l'écrit : La construction des savoirs et le sujet-écrivain*. Presses Universitaires de Namur. 33-54.
- Rémond, A., & Rémond, A. (1994). *Biofeedback: principes et applications*. Masson.
- Rosenblum, M., Pikovsky, A., Kurths, J., Schäfer, C., & Tass, P. A. (2001). Phase synchronization: from theory to data analysis. *Handbook of biological physics*, 4, 279-321.
- Sage, IH (2010). *Écriture et processus psychomoteurs, cognitifs et conatifs chez les enfants âgés de 8 à 12 ans* (Doctorat, Université de Genève).
- Schneck, C. M. (1991). Comparison of pencil-grip patterns in first graders with good and poor writing skills. *American Journal of Occupational Therapy*, 45(8), 701-706.
- Scholz, J. P., & Kelso, J. A. S. (1990). Intentional switching between patterns of bimanual coordination depends on the intrinsic dynamics of the patterns. *Journal of motor behavior*, 22(1), 98-124.
- Smyth, JM (1998). Expression émotionnelle écrite : taille des effets, types de résultats et variables modératrices.
- Soppelsa, R., Abizeid, C. M., Chéron, A., Laurent, A., Danna, J., & Albaret, J. M. (2016). Dysgraphies et rééducation psychomotrice: Données actuelles.
- Zesiger, P. (1995), *Ecrire : approche cognitive, neuropsychologique et développementales*, Paris : PUF
- Zesiger, P. (2003). Acquisition et troubles de l'écriture. *Enfance*, 55 (1),56-64.

Ce mémoire a été supervisé par Jérôme Marquet-Doléac,

Résumé :

L'écriture est une activité complexe et elle résulte d'un long processus d'apprentissage. Une bonne écriture manuscrite est un facteur prédictif de réussite scolaire, pourtant de nombreux enfants se retrouvent en difficultés face à l'acquisition de l'écriture. De nombreuses variables influencent l'écriture de manière qualitative et quantitative, il est donc nécessaire de posséder diverses habiletés. Le tonus est un des pré-requis à l'écriture et les enfants ayant des troubles de l'écriture sont régulièrement enclin à un défaut de régulation tonique.

Ce mémoire présente une rééducation de l'écriture incluant une méthode de relaxation : le biofeedback, sur un enfant présentant une dysgraphie et une hypertonie à l'écriture ainsi que des douleurs. Cette rééducation avait pour but de montrer le lien entre régulation tonique dans le mouvement et amélioration des critères du BHK. En effet, la littérature n'affecte pas les résultats d'une amélioration de l'écriture à la seule intervention d'une méthode de relaxation.

Les résultats présentés, suggèrent que rééduquer le tonus dans l'activité graphique elle-même provoquerait une amélioration globale des facteurs présents dans l'écriture, ainsi qu'une modification de ses composantes cinématiques mis en lumière grâce à l'utilisation de la tablette graphique.

Mots clés : dysgraphie, tonus, hypertonie, biofeedback, tablette graphique, cinématique

Summary :

Handwriting is a complex activity and results from a long learning process. Good handwriting is a predictive factor for academic achievement, yet many children find themselves struggling with the acquisition of writing. Many variables influence writing qualitatively and quantitatively, so it is necessary to have various skills. Tone is one of the prerequisites for writing and children with writing disorders are regularly prone to a faulty tonic regulation.

This dissertation presents a writing re-education including a relaxation method: biofeedback, on a child with dysgraphia and hypertonia to writing and pain. The purpose of this rehabilitation was to show the link between tonic regulation in the movement and improvement of the BHK criterias. Indeed, the literature does not affect the results of a writing improvement to the sole intervention of a relaxation method.

The results presented suggest that re-educating the tone in the graphic activity itself would bring about an overall improvement in the factors present in writing, as well as a modification of its kinematic components highlighted through the use of the graphic tablet.

Keywords: dysgraphia, tonus, hypertonia, biofeedback, graphic tablet, kinematics