

UNIVERSITE TOULOUSE III

Faculté de Médecine Toulouse Rangueil

Institut de Formation en Psychomotricité



Caractéristiques motrices de l'écriture chez l'enfant

Etude préliminaire chez des enfants scolarisés en CE2 et chez un enfant dysgraphique

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

Manon LELEDY

Juin 2016

Sommaire

Introduction	1
PARTIE THEORIQUE	2
I.COMPOSANTES DE L'ECRITURE	2
I.1. Définitions et invariants	2
I.1.1. Définitions, rôles et caractéristiques	2
I.1.2 Invariants spatiaux et temporels	3
I.2. Développement chez l'enfant	4
I.2.1 Du dessin à l'écriture	4
I.2.2 Phases d'acquisition de l'écriture	5
I.2.3 Posture, tonus, prise du crayon et écriture	7
I.2.4 Evolution des performances et des contraintes d'écriture	10
I.2.5 Différences interindividuelles et écriture	11
I.3. Les modèles de l'écriture	13
I.3.1 Les modèles neuropsychologiques de référence	13
I.3.2 Les modèles d'analyse du mouvement ou du système effecteur	15
I.3.3 Le modèle ATEWRITE	16
II.TROUBLE DE L'ECRITURE CHEZ L'ENFANT	17
II.1 Définitions	17
II.2. Terminologies : Absence de consensus	18
II.3. Epidémiologie	19
II.4. Etiologies	20
II.5. Comorbidités	21
II.5.1. Avec le Trouble de l'Acquisition de la Coordination (TAC)	22
II.5.2. Avec le Trouble Déficitaire de l'Attention/Hyperactivité (TDA/H)	23
II.5.3 Avec les Troubles des Apprentissages	24
II.6. Classifications	24
II.6.1. La classification de Sandler	24
II.6.2. La classification de Deuel	25
II.6.3. La classification de Gaddes et Edgell	25
II.7. Critères actualisant une dysgraphie	26
III.MESURE DE L'ECRITURE CHEZ L'ENFANT	28
III.1. Evaluation de la trace écrite (le produit)	28
III.1.1. Echelles holistiques	28
III.1.2. Echelles analytiques	29
III.1.3 Le problème de la mesure de fréquence d'inscription	35
III.1.4. Trouble de l'écriture et appréciation des facteurs endogènes et exogènes	36

III.2. Enregistrement des critères dynamiques et des caractéristiques motrices de l'écriture par un digitaliseur (le processus) _____	38
---	----

PARTIE PRATIQUE _____ 40

I.PRESENTATION ET DESCRIPTION DE MA DEMARCHE _____ 40

I.1.Objectif _____ 40

I.2.Passation de l'épreuve _____ 41

I.2.1.Description de l'épreuve _____ 41

I.2.2.Matériel _____ 42

I.2.3.Consignes _____ 42

I.3.La population _____ 43

I.3.1.Conditions _____ 43

I.3.2.Population _____ 43

I.3.3.Effectifs _____ 44

II.INTERPRETATION DES DONNEES _____ 46

II.1.Sélection des données pertinentes _____ 46

II.2.Répartition de la population en fonction des scores _____ 48

II.2.1.Test de normalité de Shapiro-Wilk pour l'échantillon de filles _____ 48

II.2.2.Test de normalité de Shapiro-Wilk pour l'échantillon de garçons _____ 49

II.3.Analyse de la variance en fonction du sexe _____ 50

II.4.Calcul du coefficient de corrélation entre les données informatisées et le BHK _____ 53

II.5.Analyse de l'effet de répétition du mot « photos » _____ 54

II.5.1.Choix du mot « photos » _____ 54

II.5.2.Mesure de l'effet de répétition _____ 55

II.5.3 Profils des mots « photos » pour un individu extrait du groupe témoin _____ 57

III.POUR ALLER PLUS LOIN : Comparaison d'un sujet présentant un trouble de l'écriture à l'échantillon d'enfants ordinaires _____ 60

III.1.Comparaison des caractéristiques motrices de l'écriture entre un individu dysgraphique et mon groupe témoin _____ 60

III.2.Analyse de l'effet de répétition du mot « photos » chez un individu présentant un trouble de l'écriture _____ 68

III.2.1.Profils des mots « photos » pour l'individu dysgraphique (David) _____ 69

Conclusion-Discussion _____ 73

Bibliographie _____ 78

Introduction

J'ai intégré l'équipe d'un Centre Médico-Psychologique en tant que stagiaire en psychomotricité en octobre [REDACTED]. Après quelques semaines d'observation, je me suis aperçue que de nombreux patients étaient en prise en charge en psychomotricité pour des problèmes d'écriture. J'ai donc choisi d'orienter mon mémoire autour de l'écriture car il s'agit d'un problème de santé publique majeur touchant de nombreux enfants d'âge scolaire mais également car c'est un sujet qui m'intéresse tout particulièrement. Après de nombreuses discussions avec mon maître de mémoire et mon maître de stage et quelques lectures de mémoire toulousain traitant de cette problématique, je me suis orientée sur l'évaluation plutôt que sur la rééducation de l'écriture. Constatant que les échelles et questionnaires d'évaluation de l'écriture pouvaient se révéler incomplets et/ou imprécis, j'ai décidé de me pencher sur les nouvelles possibilités d'analyse de l'écriture. J'ai donc choisi de m'intéresser à l'étude des caractéristiques motrices de l'écriture chez l'enfant ordinaire à l'aide d'une tablette graphique. A terme, ces travaux auront pour finalité de mettre en évidence des caractéristiques motrices permettant de différencier une population ordinaire d'une population dysgraphique. Ce mémoire est donc une étude préliminaire en vue de l'élaboration d'une nouvelle façon d'envisager l'évaluation et l'analyse de l'écriture.

Dans la partie théorique, je tenterai de faire un état des lieux des connaissances actuelles qui gravitent autour de l'écriture afin d'apporter les clés indispensables à la lecture et à la compréhension de la partie pratique. Je commencerai par m'intéresser aux bases théoriques à savoir la définition, le développement et les modèles théoriques explicatifs de la production d'écriture. Je poursuivrai par une partie sur les troubles de l'écriture puis je terminerai par recenser les outils d'évaluation de l'écriture et les nouvelles perspectives d'analyse.

La partie pratique sera composée de trois parties : La première se consacrera à la présentation de ma démarche. Je préciserai les objectifs de mon projet, j'expliquerai mes passations auprès d'enfants ordinaires scolarisés en [REDACTED] je décrirai la population ciblée. La seconde partie concernera le tri et l'analyse des données recueillies à l'aide de la tablette graphique. Enfin, la troisième présentera les possibilités d'évolution de ce travail grâce à la comparaison de l'écriture d'un enfant diagnostiqué dysgraphique à celle de mon échantillon de normaux.

PARTIE THEORIQUE

I. COMPOSANTES DE L'ECRITURE

I.1. Définitions et invariants

I.1.1. Définitions, rôles et caractéristiques

« L'écriture est à la fois un geste complexe et une forme d'expression du langage. C'est la capacité à transcrire un message sur un support permanent à l'aide d'un nombre limité de signes et d'une organisation intrinsèque de ceux-ci » (Charles, Soppelsa, & Albaret, 2003).

La définition de l'écriture comprend deux aspects : (Sage, 2010)

- Un aspect symbolique, c'est une « manière d'exprimer sa pensée. »
- Un aspect moteur, l'écriture est un « ensemble de caractères écrits ; une manière propre à chacun de les former. »

Ces deux aspects sont indissociables pour qu'il y ait production d'écriture. Néanmoins, dans le cadre de ce mémoire, je ne m'intéresserai qu'à l'aspect moteur c'est-à-dire à l'écriture en tant « qu'habileté graphomotrice orientée par la forme de sa trajectoire et enregistrée par la trace laissée sur le papier. » (Albaret, Kaiser & Soppelsa, 2013)

L'écriture a de multiples rôles : C'est un outil de communication, un moyen d'apprendre, de mémoriser et de synthétiser des contenus scolaires. C'est également un outil de pensée, un moyen de mieux se connaître et de mieux se porter. C'est pourquoi, il existe des thérapies par l'écrit. Au cours de la scolarité, les exigences quant à la production d'écrit augmentent progressivement passant de l'aspect formel au primaire à l'aspect de la composition par la suite. En parallèle, on voit apparaître des contraintes de qualité et de vitesse. L'écriture latine a des particularités : nous écrivons de gauche à droite contrairement à l'écriture arabe et nous produisons des boucles antihoraires. Au cours de l'apprentissage de l'écriture, les enfants doivent basculer d'une production spontanément horaire à une production antihoraire. L'antihoraire est moins stable que l'horaire.

Berninger, Abbott, Abbott, Graham et Richards (1992, *in* Albaret, Kaiser & Soppelsa, 2013) définissent l'écriture comme une activité de langage, ce qui la place au carrefour entre langage et motricité. Ils parlent de « Language by hand » pour l'écriture et de « Language by eye » pour la lecture. Ces deux modes de langage ont des caractéristiques communes (Fitzgerald et Shanahan) :

- Les métaconnaissances sur les règles de communication (Fait de vouloir transmettre un message à quelqu'un. Il existe des règles de communication comme par exemple la redondance d'information, ce sont des métaconnaissances implicites.)
- Les métaconnaissances des fonctions de l'écriture et de la lecture.
- La signification des mots lus ou écrits : Cela fait appel au système sémantique
- La conscience phonologique : capacité que l'on a à jouer avec les mots. (Nécessaire autant pour la lecture que pour l'écriture)
- La grammaire et l'orthographe
- Les capacités à générer des connaissances au moyen de l'écrit ou de l'oral.

1.1.2 Invariants spatiaux et temporels

L'écriture est une activité excessivement stable. Cette stabilité a été étudiée dans les années 80-90. Les auteurs recensent différents types d'invariants.

D'une part, les invariants spatiaux :

- L'invariance des effecteurs : L'écriture conserve ses caractéristiques quelle que soit la partie du corps avec laquelle on écrit, le support d'écriture ou l'outil scripteur utilisé : L'équivalence motrice existe (Teulings & Schomaker, 1993). Wright (1990, *In* Albaret, Kaiser & Soppelsa, 2013) précise que la ressemblance entre les lettres est supérieure entre les effecteurs ipsilatéraux et dominants. Par exemple, main droite/coude droit.
- L'homothétie spatiale : Le rapport de taille entre les différentes parties du mot est toujours le même quelle que soit la taille globale du mot (Viviani & Terzuolo, 1980).

D'autre part, les invariants temporels :

- Isochronie : la durée de production du mot est indépendante de la taille des lettres. C'est un mécanisme compensatoire : Quand il y a augmentation de la taille des lettres, il y a augmentation de la vitesse d'écriture. (Zesiger, 1995)
- L'homothétie temporelle : Le rapport de durée entre les différentes parties du mot est toujours le même quelle que soit la durée globale. (Viviani & Terzuolo, 1982)

A côté de ces invariants, on note une loi dans la trace écrite appelée la loi de la puissance 2/3 : Cette loi indique qu'il existe des constances entre la courbure de la trajectoire et la vitesse angulaire du crayon. (Viviani & Terzuolo, 1982). En d'autres termes, cela signifie que lorsqu'on produit un geste fluide, sa vitesse augmente en ligne droite et diminue dans les courbes.

I.2. Développement chez l'enfant

I.2.1 Du dessin à l'écriture

L'écriture et le dessin sont deux activités dont les similitudes sont aussi importantes que les différences. Contrairement au dessin, l'écriture requiert un enseignement et un apprentissage (Albaret, Kaiser & Soppelsa, 2013). Ces deux activités perceptivo-motrices permettent d'exprimer des pensées et de communiquer avec autrui par la représentation graphique d'un objet pour le dessin et d'un symbole significatif pour l'écriture (Ziviani & Wallen, 2006). Elles ont également des caractéristiques communes telles que : le système effecteur, la volonté de représentation graphique avec signification et le contexte de production (Bara & Gentaz, 2010 ; Chartrel & Vinter, 2004 ; Vinter & Zesiger, 2007).

Au début du développement, ces deux activités sont indifférenciées. Le dessin semblerait être une étape essentielle d'accès à l'écriture. Noyer (2005, *In* Albaret, Kaiser & Soppelsa, 2013) décrit le passage du dessin à l'écriture en deux paliers : Le premier permettant la distinction des fonctions dessin/écriture, le second correspondant à l'accès à la conscience phonologique vers 5 ans. Il ajoute que les enfants qui font la distinction écriture/dessin adoptent un comportement différent selon qu'ils dessinent ou écrivent. Dans une tâche d'écriture, ils ont un comportement sérieux tandis qu'ils prennent un comportement plus joueur lorsqu'ils dessinent.

En 2001, Adi-Japha et Freeman tentent de déterminer l'âge auquel ces deux activités se distinguent en étudiant les caractéristiques cinématiques du dessin et de l'écriture à travers une étude sur des enfants de 4 à 12 ans. Ils leur demandent d'écrire ou de dessiner des « o » et des

« v » sur des pages blanches ou lignées. Les résultats de cette étude montrent qu'il n'y a pas de différence significative dans les deux types de production à 4 ans. En revanche, à 6 ans, les enfants écrivent davantage qu'ils ne dessinent. Cette différenciation s'opère en inhibant ponctuellement le système du dessin afin de favoriser l'utilisation de celui d'écriture. L'écriture devient plus fluide et plus rapide. Zesiger, Martory et Mayer (1997, *In* Adi-Japha & Freeman, 2001) suggèrent que la faible qualité d'écriture des patients dysgraphiques s'expliquerait par une utilisation du système de dessin pour écrire. Ce serait un mécanisme compensatoire d'un système d'écriture défaillant.

1.2.2 Phases d'acquisition de l'écriture

L'acquisition de l'écriture est longue et nécessite un apprentissage par le biais d'un enseignement. Elle passe par des phases d'acquisition. Ces phases ont été décrites par Lurçat concernant les quatre premières et Perron et Coumes concernant les trois suivantes (1974, *In* Ajuriaguerra, Auzias, Coumes, Denner, Lavondes-Monod, Perron & Stambak, 1956-1989).

- **La phase motrice** (de 18 mois à 2 ans) :

A 18 mois, l'enfant gribouille et fait des mouvements de balayage avec les deux mains. Les mouvements sont rapides, impulsifs et de grandes amplitudes car ils se font sous contrôle proximal (Coude et épaule). Au début, l'enfant dessine dans l'hémichamp de la feuille correspondant à l'hémicorps utilisé. C'est seulement à partir de 20 mois qu'il croise l'hémichamp et la main. A partir de 2 ans, l'enfant trace des formes circulaires dans le sens horaire pour la main droite et antihoraire pour la main gauche.

- **La phase perceptive** (de 2 à 3 ans) :

Au cours de cette phase le contrôle devient de plus en plus distal avec le développement des articulations du poignet et des doigts. Ce qui permet une diminution de la taille des tracés. De plus, le contrôle visuel se met en place, permettant l'anticipation du tracé. L'enfant produit des boucles et imite l'écriture (vers 30 mois). Lurçat note également des verbalisations au cours de l'acte graphique vers 2 ans.

- **La phase représentationnelle** (de 3 à 4 ans) :

Le répertoire graphique de l'enfant augmente. Il est plus contrôlé et plus varié (production de boucles, de vagues, etc.). Le tracé de cercle en sens horaire et antihoraire de la même main devient possible.

- **La phase de la genèse de la lettre** (de 5 à 6 ans) :

Cette phase prépare à l'apprentissage de l'écriture. L'enfant apprend à écrire son prénom. Il mémorise peu de lettres malgré son désir d'en apprendre davantage. Les lettres sont distordues, modifiées et de grande taille. Leur forme et leur orientation spatiale sont instables.

- **La phase pré-calligraphique** (de 5-6 ans à 8-9 ans) :

Entre 5 et 6 ans, il existe de grandes variations interindividuelles. Globalement, le respect des exigences calligraphiques reste difficile et le tracé incertain. (Lettres retouchées, tremblées, courbes cabossées, anguleuses, mal fermées, liaisons au sein du mot ou entre les mots difficiles). Ceci s'explique par une « incapacité motrice de type maturationnelle » (Sage, 2010) et pas seulement par un manque d'entraînement.

Entre 7 et 9 ans, l'écriture est mieux contrôlée. On constate une diminution de la taille des lettres ainsi qu'une augmentation de la vitesse d'écriture. L'entraînement explique en partie ces améliorations.

- **La phase calligraphique infantile** (de 8-9 ans à 12 ans) :

A partir de 8 ans, la prise et le guidage du crayon sont stables et maîtrisés. Ceci a un impact sur la qualité des tracés (écriture plus souple, lettres plus régulières). L'enfant accède à l'écriture dite calligraphique. La durée de production et la taille des lettres diminuent tandis que la vitesse augmente.

A 9 ans, la durée et le nombre de pauses diminuent. A 10 ans, la durée et le nombre de pauses ainsi que la trajectoire des lignes sont comparables à l'écriture chez l'adulte.

Après 10 ans, on observe peu de modifications. L'écriture est globalement stable. Seule la vitesse d'écriture continue à augmenter, en lien avec le niveau d'exigence scolaire.

Au cours cette phase, l'enfant se centre sur l'augmentation de la vitesse d'écriture, ce qui peut entraîner une amélioration de la fluidité du mouvement comme une légère dégradation de la qualité.

- **La phase post-calligraphique** (à partir de 12 ans) :

Cette phase correspond à la personnalisation de l'écriture. Les exigences scolaires augmentent et l'écriture calligraphique infantile ne peut plus répondre à la demande de vitesse. L'enfant personnalise donc son écriture afin de s'adapter au mieux aux contraintes. Le plus souvent, la personnalisation de l'écriture aboutit à une écriture mixte (Scripte et cursive). Il s'agit de la stratégie la plus performante pour une bonne lisibilité et une vitesse acceptable.

Dans sa thèse, Sage (2010) repère les principales étapes d'acquisition de l'écriture :

- Phase de découverte de l'écriture (de la phase motrice à la phase représentationnelle)
- Phase d'apprentissage de l'écriture (de la phase de la genèse de la lettre à la phase pré-calligraphique)
- Phase de perfectionnement de l'écriture (pendant la phase calligraphique infantile)
- *Crise de l'écriture (à la fin de la phase calligraphique infantile) : cette phase ne fait pas consensus.*
- Personnalisation de l'écriture (pendant la phase post-calligraphique).

1.2.3 Posture, tonus, prise du crayon et écriture

La posture, le tonus et la prise sont trois facteurs indissociables de l'évolution de l'écriture chez l'enfant. Ils évoluent à des vitesses différentes du fait du grand nombre d'éléments qui interviennent mais s'influencent les uns avec les autres. Globalement, « l'évolution de la motricité se fait dans le sens d'une libération progressive du membre supérieur » (Albaret, kaiser & Soppelsa, 2013). Pour des raisons de clarté, je présenterai ces trois facteurs séparément.

La posture :

Elle a un rôle essentiel sur l'écriture. L'étude de la posture d'écriture se fait par l'observation de la position de la tête, du buste et du membre supérieur. Pour décrire l'évolution, je m'appuie sur les travaux d'Ajuriaguerra *et al*, 1964 :

- La tête et le buste : Il y a un redressement progressif jusqu'à 12 ans, la tête se relève et le buste prend de moins en moins appui à la table et s'en éloigne. Il est important de noter qu'il n'y a pas de règle exhaustive à ce sujet. On retrouve chez l'adulte des postures érigées, des postures écrasées et des postures intermédiaires (Hamstra-Bletz &

Blöte, 1993). Cette évolution pourrait s'expliquer par une moindre nécessité de contrôle visuel et une évolution du tonus postural.

- Le membre supérieur : l'évolution se fait dans le sens d'une diminution de la surface d'appui de l'avant-bras. L'enfant passe d'une grande progression (mouvements initiés par l'épaule) à une petite progression (mouvements du poignet).

La posture d'écriture est influencée par le positionnement de la feuille et le positionnement de la main au niveau de la ligne d'écriture :

- Positionnement de la feuille : Le positionnement de la feuille change avec l'avancée en âge. Entre 5 et 7 ans, la feuille est droite devant l'enfant sur le bureau. Après 7 ans, l'individu incline plus ou moins sa feuille vers la gauche ou la droite afin de trouver une position d'écriture agréable. Globalement, Blöte, Zielstra et Zoetewey (1987, *in* Albaret *et al.*, 2013) ont montré que plus la feuille est éloignée du buste et plus la posture est écrasée.
- Positionnement de la main au niveau de la ligne d'écriture : à 5 ans, les enfants ont la plupart du temps leur main au niveau de la ligne d'écriture puis petit à petit cette position change pour devenir stable vers 14 ans. A partir de 14 ans, la majeure partie des enfants ont la main sous la ligne d'écriture.

Il est important de noter qu'il n'a pas été trouvé de corrélation entre posture et trouble de l'écriture. Néanmoins, il existe des normes ergonomiques et des conseils de bon sens pour aider les dysgraphiques à bien écrire : « A l'heure actuelle, les recherches montrent que la posture la plus académique, favorisant le geste graphique et la stabilité de la posture, est la suivante : Les deux pieds sont posés à plat au sol, l'assise repose sur les cuisses et les ischions, le dos est droit sans appui, le poids du buste repose sur le bras non scripteur libérant ainsi 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 de doigts. » (Sage, 2010)

Le tonus

De même que pour la posture, Ajuriaguerra *et al.*, ont étudié le tonus en observant les contractions musculaires des articulations impliquées dans la tâche d'écriture.

- L'épaule : Les auteurs notent qu'en situation écologique, il est difficile d'estimer la contraction musculaire de l'épaule. Ils se sont donc appuyés sur l'observation de la

« bosse » créée par une contraction excessive de l'épaule. Ils notent un tonus de l'épaule maximal vers 7 ans et plus léger par la suite.

- Le poignet : Les auteurs constatent une évolution en trois étapes. A 5 ans, les enfants ont un « poignet souple ». A 7 ans, les enfants ont majoritairement le « poignet rigide ». Entre 7 et 12 ans, ils observent un « assouplissement progressif ».
- Les doigts : Ils relèvent une diminution progressive du tonus conduisant à une amélioration et une stabilisation de la prise.

Au total, on note une évolution du tonus dans le sens d'un assouplissement progressif des articulations impliquées dans l'activité d'écriture. Les résultats des études montrent qu'à 7 ans, le tonus des différentes articulations est le plus élevé. Ce qui semble lié à la phase d'apprentissage de l'écriture. L'entraînement permet une meilleure régulation de l'activité tonique.

Dans son mémoire, Moczadlo (2010) ajoute qu'il est possible d'estimer le tonus via l'observation de la pression du stylo. Cette dernière est définie comme l'appui exercé par l'individu sur l'outil scripteur afin de laisser une trace graphique. On retrouve qu'au cours de l'apprentissage de l'écriture, les enfants ont tendance à appuyer considérablement sur leur outil scripteur ce qui est corrélé avec l'activité tonique maximale retrouvée à 7 ans.

La prise du crayon :

L'évolution de la prise du crayon est corrélée au développement de la motricité fine. Albaret *et al.*, 2013 dénombre 3 étapes d'évolution : Les âges indiqués ne sont pas exclusifs et sont extraits de l'étude de Rosenblum et Horton (1971, *in* Albaret *et al.*, 2013).

- La prise immature (De 1 an à 2 ans et demi) : il s'agit d'une prise palmaire globale, avant-bras en pronation et mouvements initiés par l'épaule sans mouvements intrinsèques des doigts.
- La prise transitoire (De 2 ans et demi à 4 ans) : prise tripodique ou quadripodique avec essentiellement des mouvements de flexion/extension du poignet.
- La prise mature (Acquisition entre 4 et 6 ans) : Rosenblum et Horton (1971, *in* Albaret *et al.*, 2013) constatent une dissociation de la main scriptrice avec une mobilisation des doigts radiaux et une stabilisation des doigts ulnaires associée à une dissociation des mouvements poignet/doigts. Schneck et Henderson (1990, *in* Albaret *et al.*, 2013) notent que 48% des enfants de 3 ans ont une prise mature contre 90% des enfants de 7 ans.

Il faut noter que cette évolution n'est pas nécessairement linéaire. Il peut y avoir des progressions, des régressions et des stagnations. Néanmoins, à partir de 6-7 ans, la prise se stabilise.

Il n'existe pas de consensus entre les auteurs sur la définition des différentes prises et leur rôle sur la qualité et la vitesse de l'écriture. Pour Schneck (1991, In Ziviani & Wallen, 2006), les différentes prises n'influent pas directement sur la qualité d'écriture.

1.2.4 Evolution des performances et des contraintes d'écriture

La fréquence d'inscription

Elle dépend de nombreux paramètres : (Charles, Soppelsa & Albaret, 2003)

- De la classe de l'enfant (Plus l'enfant avance en âge, plus les contraintes scolaires augmentent)
- De l'exercice demandé (Copie, dictée, écriture spontanée)
- Des exigences associées (écrire à vitesse normale, à vitesse accélérée, s'appliquer à écrire)
- Du type d'écriture (scripte, cursive, mixte)

Plusieurs études ont tenté de déterminer une norme de fréquence d'inscription d'écriture pour chaque classe, mais les résultats sont très hétérogènes. En ne considérant que les moyennes, on s'aperçoit que la fréquence d'inscription croît de classe en classe passant de « 15 lettres par minute au CP à 75 lettres par minute en fin de cycle primaire ». Elle évolue en parallèle des contraintes scolaires. A la fin du primaire, l'augmentation de la fréquence d'inscription confirme l'automatisation des processus d'écriture tels que la grammaire, l'orthographe, la motricité et de la stabilisation de la prise de l'outil scripteur. Au collège, l'aspect formel de l'écriture passe au second plan au profit de la composition. La fréquence d'inscription est capitale pour mettre en place les fonctions métacognitives essentielles à la composition que sont la planification, la transcription et la révision (Albaret *et al.*, 2013). Mojet (1991, *in* Charles *et al.*, 2003) trouve que la fréquence d'inscription est davantage fonction de la classe de l'enfant que de son âge ou de sa qualité graphique. Il n'existe pas de corrélation significative entre fréquence d'inscription et lisibilité. D'autres auteurs tels que Phelps et Stemple (1987, *in*

Charles *et al.*, 2003) décrivent qu'elle dépend du type d'écriture : cursive, scripte ou mixte. De nombreuses études ont montré que l'écriture mixte est plus efficace pour écrire vite plutôt qu'une écriture exclusivement cursive ou exclusivement scripte. (Albaret *et al.*, 2013).

Au niveau de la trace, l'augmentation de la fréquence d'inscription se traduit par une modification des liaisons entre les lettres et une simplification de la formation des lettres. (Graham, Berninger, Weintraub, Schafer, 1998).

La qualité

Comme indiqué précédemment, au départ, l'enfant dessine les lettres. Puis, progressivement, le système d'écriture prend le dessus grâce à l'enseignement et l'apprentissage ce qui permet la différenciation dessin/écriture. Cette étape est primordiale à l'amélioration de la qualité d'écriture mais pas suffisante. En effet, le développement de la motricité digitale est une étape incontournable de l'évolution.

L'évolution de la qualité de l'écriture passe dans un premier temps par la diminution de la taille d'écriture, des hauteurs relatives entre lettres troncs et non troncs davantage respectées, la diminution des lettres ambiguës et l'aplanissement des lettres, des mots puis des phrases (Ce phénomène a lieu aux environs de la classe de CE1). Par la suite, le perfectionnement porte sur la régularité dans la formation des lettres et dans les liaisons entre les lettres puis entre les mots. Tandis que la taille d'écriture continue de diminuer (Aux environs de la classe de CE2) (Albaret *et al.*, 2013 ; Overvelde & Hsulstjin, 2011). Dans les classes ultérieures, l'écriture continue de s'affiner.

Entre le CM1 et la 6^e, une personnalisation de l'écriture a lieu permettant de répondre aux contraintes scolaires.

1.2.5 Différences interindividuelles et écriture

Filles/Garçons :

Vlachos et Bonoti (2006, *in* Albaret *et al.*, 2013) ainsi que Overvelde et Hsulstjin (2011) ont montré que les filles acquièrent une meilleure qualité d'écriture plus rapidement que les garçons. Ce qui pourrait s'expliquer par un développement plus rapide de la motricité manuelle chez les filles. Cette observation pourrait quant à elle être la résultante d'un intérêt plus marqué pour les activités manuelles chez les filles. Par ailleurs, d'autres études montrent que les filles

personnalisent leur écriture plus rapidement que les garçons (Graham *et al.*, 1998). De même, le score total de qualité d'écriture du BHK montrent une différence significative entre les filles et les garçons avec une évolution du score entre le CP et le CM2 plus régulière chez les garçons (Charles *et al.*, 2003). Concernant la fréquence d'inscription, les études ont des résultats contradictoires.

Droitier/Gaucher, dominance mixte :

La question est de savoir s'il existe une différence de vitesse et de qualité d'écriture en fonction de la dominance latérale. Bon nombre d'études ne montrent aucune différence dans ces domaines selon la dominance latérale. Les droitiers et gauchers se distinguent essentiellement par leur posture d'écriture et par la position de leur main par rapport à la ligne. (Albaret *et al.*, 2013)

I.3. Les modèles de l'écriture

Il existe de nombreux modèles de l'écriture dont le but fondamental est de comprendre les différentes étapes permettant d'aboutir à la production d'écriture. Ces modèles ne sont valables que chez l'adulte étant donné que chez l'enfant ce sont des processus développementaux qui sont observés.

I.3.1 Les modèles neuropsychologiques de référence

Le modèle d'Ellis et Young (1988) :

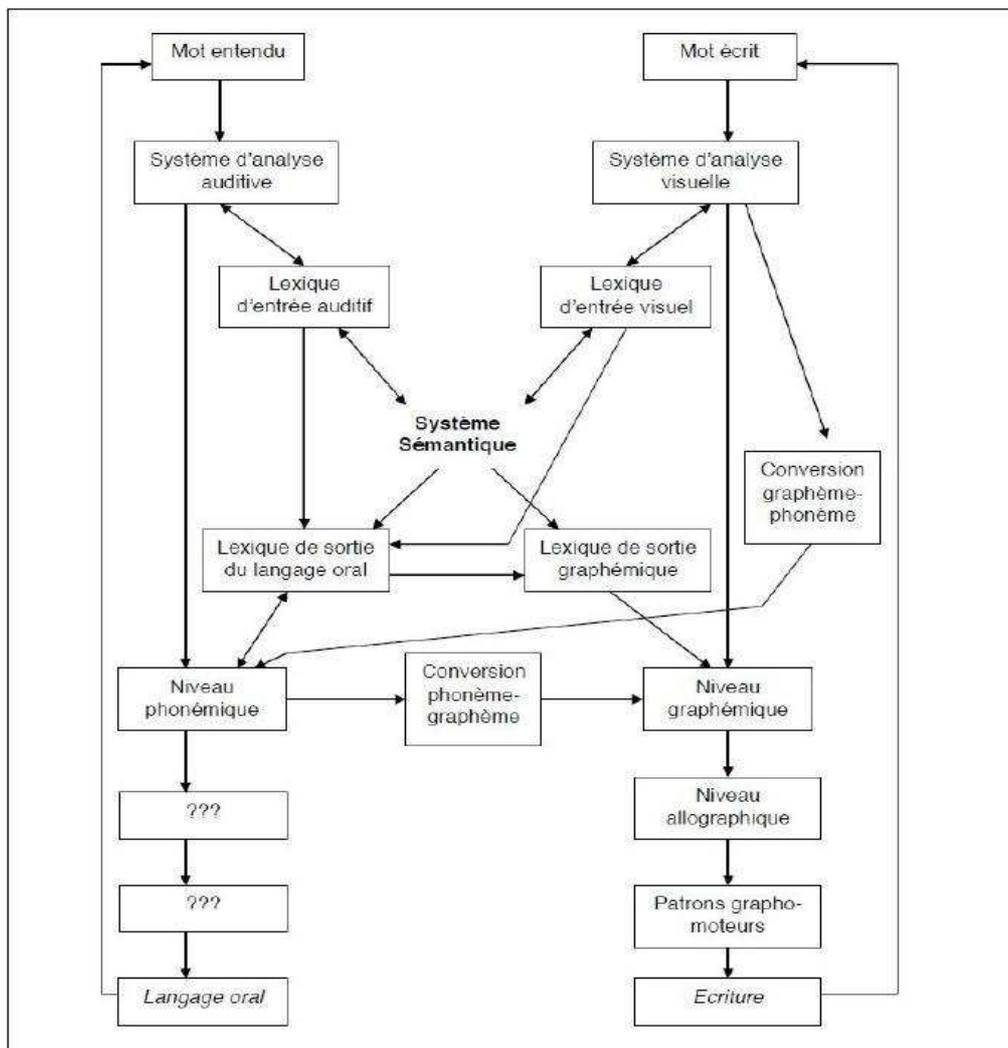


Schéma 1 : Modèle de la reconnaissance et de la reproduction du langage oral et du langage écrit (Ellis & Young, 1988)

Il s'agit d'un modèle de référence dans les études en neuropsychologie. Ces auteurs proposent une modélisation des voies neurologiques (ascendantes et descendantes) impliquées dans la

production du langage écrit et oral. Concernant le langage écrit, c'est la voie descendante indirecte (croisée) qui est actionnée : elle permet la lecture d'un mot et sa transposition par écrit. Cette voie est décomposée en sous-systèmes liés les uns aux autres et jouant un rôle spécifique dans ce processus :

A partir d'un mot écrit, le module « d'analyse visuelle » permet d'identifier les différentes lettres et leurs places dans le mot. Le « lexique visuel d'entrée » active le « système sémantique » lors de la reconnaissance de mots familiers ce qui permet de donner un sens au mot lu. Ce mot est stocké temporairement en mémoire via le module « lexique de sortie graphémique ». En parallèle de ces deux modules, il existe une voie directe passant par la « conversion graphème-phonème » sans compréhension du mot lu.

Le module « niveau graphémique » permet de convertir les phonèmes en graphèmes, il s'agit du carrefour entre voie lexicale et voie phonologique. Le module « niveau allographique » correspond aux différentes « polices » que peuvent prendre les lettres en fonction du contexte d'écriture (majuscule/minuscule, cursive/scripte). Le pattern moteur graphique correspondant au programme moteur spécifique d'un allographe. Il est exécuté pour aboutir au produit final : l'écriture. Selon Ellis et Young (1988), le programme moteur détermine la forme de l'allographe c'est à dire le nombre, l'ordre, la taille et la direction des traits. Il sélectionne également les groupes musculaires à activer pour réaliser le mouvement. (Albaret *et al.*, 2013)

Le modèle de Zeziger (2003) :

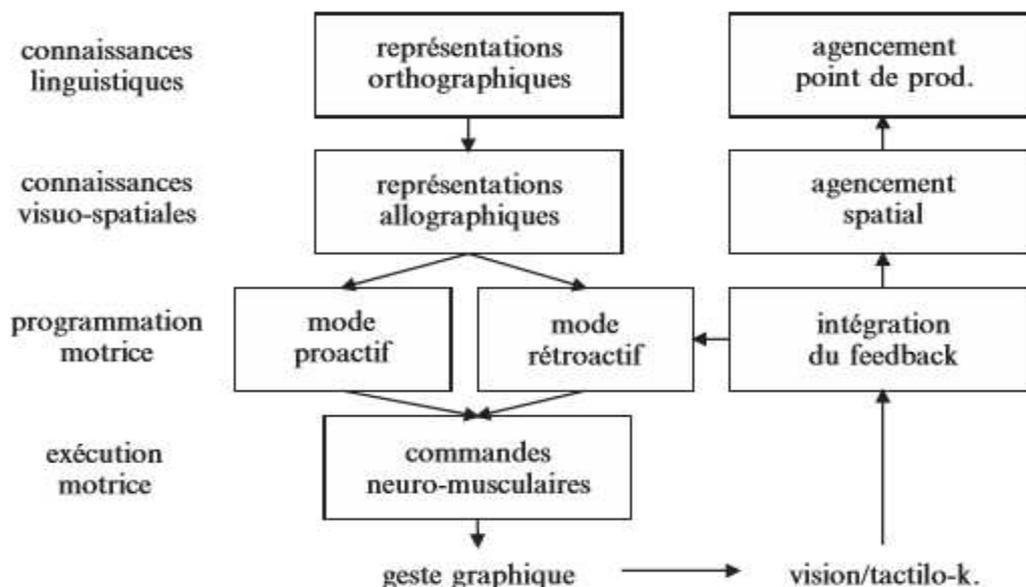


Schéma 2 : Modèle de Zeziger

- Colonne 1 : Concerne les différents types de connaissance tels que les connaissances linguistiques, les connaissances visuo-spatiales, les capacités de programmation et d'exécution motrices.
- Colonne 2 : Concerne les éléments impliqués dans l'apprentissage de l'écriture. Le contrôle rétroactif est utile au début du développement de l'écriture. C'est un contrôle de la précision et de la vitesse d'écriture par des informations sensorielles. Le mode proactif implique un apprentissage de l'écriture. Il n'y a plus de rétroaction, c'est le système nerveux central qui dirige les mouvements. L'utilisation de ce mode de contrôle nécessite « la formation de programmes moteurs sollicitables indépendamment de la présence d'informations sensorielles sur le mouvement en cours » (Chartrel & Vinter, 2004). Au cours du développement, l'enfant passe donc d'un contrôle rétroactif à un contrôle proactif.
- Colonne 3 : Les fonctions des afférences perceptives.

1.3.2 Les modèles d'analyse du mouvement ou du système effecteur

Le modèle cinématique de Plamondon : (Plamondon, Djioua & O'REILLY, 2009)

C'est actuellement le modèle le plus précis en termes d'analyse du mouvement lors de la production d'écriture. De par ses calculs mathématiques, ce modèle prend automatiquement en considération les notions d'isochronie, d'équivalence motrice et la loi de la puissance 2/3. Cette extrême précision se paie au prix de sa complexité mathématiques. Ce modèle postule que la vitesse du mouvement serait la différence entre l'activité du groupe musculaire agoniste et l'activité du groupe musculaire antagoniste.

Le modèle oscillatoire de Hollerbach (1981) :

Selon Hollerbach, l'écriture est le résultat d'oscillations antéro-postérieures dans l'axe longitudinal de la feuille correspondant aux mouvements des doigts et d'oscillations latérales dans l'axe transversal de la feuille correspondant aux mouvements du poignet. Auxquelles s'ajoute un déplacement du membre scripteur de la gauche vers la droite. A partir de ce postulat, Hollerbach a décrit un système d'équations. La production d'une lettre serait l'enchaînement de plusieurs tracés, son début et sa fin seraient marqués par l'annulation de la vitesse verticale. Ce qui voudrait dire que l'unité fondamentale de l'écriture pourrait être isolée : « elle correspondrait à la trace produite entre deux points successifs où la vitesse s'annule et chaque

unité serait contrôlée par le système nerveux central (SNC) en modulant la phase, la fréquence et l'amplitude de chaque composante oscillatoire. »

1.3.3 Le modèle ATEWRITE

Ce modèle de Grossberg et Paine (2000, *in* Albaret *et al.*, 2013) s'intéresse au processus d'apprentissage des mouvements complexes engagés dans la production de lettres cursives. Ce modèle résulte de l'association de deux modèles :

- (1) Le modèle VITE « Vector Integration to Endpoint » : Ce modèle justifie la possibilité de réaliser des mouvements synchronisés de plusieurs articulations à des vitesses variables et prend en compte l'influence des feed-back proprioceptifs et des forces externes.
- (2) Le modèle VITEWRITE s'appuie sur les travaux de Bernstein (1967) et Kelso (1982) à savoir : Les trajectoires de mouvements dans la production des courbes dans l'écriture cursive et les synergies de mouvement. Ce modèle postule l'existence d'une séquence prédéfinie à la manière d'un programme moteur qui permettrait le contrôle de la vitesse pendant la production des courbes. Cependant, ce modèle n'explique pas la manière dont cette séquence serait apprise et stockée. C'est pourquoi, Grossberg et Paine l'ont complété en créant le modèle AVITEWRITE.

Ce modèle décrit 8 étapes dans la production de l'écriture : (1) L'attention visuelle se centre sur la position initiale de la main (Ce que les auteurs nomment « Vecteur Position Actuel »). (2) Puis elle se dirige vers le point d'arrivée du mouvement qu'ils nomment « Vecteur Position Cible ». (3) Cette troisième étape correspond à la programmation du mouvement pour réaliser le déplacement du point initial au point d'arrivée (Représentation de la distance et de la direction), c'est le « Vecteur Différentiel ». (4) Ce vecteur permet l'activation adaptée des synergies musculaires nécessaires à la réalisation d'un mouvement contrôlé par rétroactions visuelles. (5) Dans le même temps, le cervelet enregistre les synergies impliquées dans le mouvement et permet la régulation temporelle. (6-7) Ces synergies stockées en mémoire de travail au niveau cérébelleux peuvent aussi entrer en compétition avec les rétroactions visuelles pour contrôler le générateur de trajectoire au niveau cortical. Ce contrôle visuel permet de rectifier les erreurs détectées par la mémoire. Quand il y a correction de la trajectoire, il a un

nouvel enregistrement des synergies musculaires. (8) La vitesse et la taille de la trajectoire sont contrôlées par les ganglions de la base.

Le postulat central de ce modèle résulte de l'hypothèse d'une compétition entre mémoire motrice cérébelleuse et les aires corticales impliquées dans les rétroactions visuelles pour le contrôle du mouvement. Ce modèle explique l'apprentissage d'une courbe chez l'enfant mais ne le transpose pas à la production des courbes au sein de l'écriture.

Bien que nombreux, tous ces modèles sont lacunaires car ils ne s'intéressent chaque fois qu'à un aspect de la production d'écriture. Il serait intéressant de pouvoir créer un modèle intégrant toutes les connaissances sur la production d'écriture.

II. TROUBLE DE L'ECRITURE CHEZ L'ENFANT

II.1 Définitions

Bien que nombreuses dans la littérature, les définitions de la dysgraphie n'en restent pas moins évasives :

Historiquement, les premières descriptions sont faites chez des adultes cérébro-lésés aphasiques, on parle d'agraphie consécutive au trouble du langage. Puis d'autres patients présentant une agraphie sans aphasie ont été décrits ce qui a permis de mettre en évidence l'indépendance des deux troubles. Bien que le trouble de l'écriture chez l'enfant soit de nature neurodéveloppemental, les chercheurs lui ont appliqué la symptomologie retrouvée chez l'adulte cérébro-lésé. On voit alors apparaître le terme de dysgraphie. (Charles *et al.*, 2003).

Ajuriaguerra *et al.*, (1956), Auzias (1970) : Est dysgraphique un enfant « dont la qualité d'écriture est déficiente, alors qu'aucun déficit neurologique ou intellectuel n'explique cette déficience ». Ce sont donc des enfants d'intelligence normale qui viennent en consultation pour une écriture illisible ou trop lente qui entrave leur scolarité. Ces auteurs ne parlent de dysgraphie qu'à partir de l'âge de 7 ans. En effet, plus l'enfant est jeune et plus il est difficile de distinguer un trouble de l'écriture, d'une écriture en cours d'acquisition car l'enfant est en plein apprentissage.

Hamstra-Bletz et Blöte (1993) définissent la dysgraphie « comme un trouble du langage écrit qui concerne les habiletés mécaniques de l'écriture. Elle se manifeste par de faibles compétences en écriture, chez un enfant d'intelligence normale en l'absence d'un trouble

neurologique distinct ou d'un trouble perceptivo-moteur. De plus, le niveau d'instruction concernant cette habileté correspond à ce qu'un enfant de cet âge est censé savoir. »

Le DSM IV-TR (2004) mentionne un « trouble de l'expression écrite » parmi les « troubles des apprentissages » mais ce trouble ne concerne que les versants orthographique et syntaxique. Les difficultés motrices provoquant l'illisibilité de l'écriture sont renvoyées au « Trouble de l'Acquisition de la Coordination » sans plus de précisions.

Ce trouble de l'écriture est défini selon 3 critères :

- Les capacités d'expression écrite, évaluées par des tests, sont nettement au-dessous du niveau escompté compte tenu de l'âge chronologique du sujet, de son niveau intellectuel et d'un enseignement approprié à son âge.
- La perturbation décrite ci-dessus interfère de façon significative avec la réussite scolaire ou les activités de la vie courante et requière une évaluation.
- S'il existe un déficit sensoriel, les difficultés d'expression écrite dépassent celles habituellement associées à celui-ci.

II.2. Terminologies : Absence de consensus

Etant donné que le trouble de l'écriture n'est pas clairement identifié dans les classifications internationales telles que la CIM (Classification Internationale des Maladies) ou le DSM (Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders), on comprend aisément l'absence de consensus entre les auteurs. Les classifications associent systématiquement ce trouble à un trouble moteur ou à un trouble des apprentissages. Il n'est jamais envisagé de façon isolée.

- Le DSM IV-TR : ne cite l'écriture illisible que dans le cadre du « Trouble de l'Acquisition de la Coordination »
- Le DSM-5 (2015) ne fait toujours pas référence aux dysgraphies comme trouble graphomoteur à part entière. On trouve les difficultés d'écriture dans le chapitre des troubles neurodéveloppementaux et plus particulièrement dans les sous chapitres suivants :
 - Les Troubles Spécifiques des Apprentissages : il parle de difficultés de clarté ou d'organisation de l'expression écrite imputable à une perturbation dans l'apprentissage.

- Les troubles moteurs : Les difficultés d'écriture se retrouvent au sein du Trouble Développementale de la Coordination (TDC, Anciennement TAC). Au sein des caractéristiques diagnostiques, il est noté que « la capacité d'écriture est souvent affectée, ce qui a un impact sur la lisibilité et/ou la vitesse de la production écrite et également sur la réussite scolaire ou universitaire. (L'impact est distingué des difficultés spécifiques des apprentissages par l'importance de la composante motrice de la production écrite). »
- La CIM-10 évoque une tendance malhabile pour l'écriture au sein du « trouble spécifique du développement moteur ».

Par conséquent, les terminologies utilisées dans la littérature pour désigner les difficultés d'écriture sont multiples. Selon les auteurs, on trouve les termes de troubles graphomoteurs, de dysgraphie, de faible écriture manuelle, d'écriture manuelle non performante. Dysgraphie de développement et faible écriture manuelle sont les termes les plus employés. (Albaret *et al.*, 2013)

Albaret *et al.*, (2013) choisissent d'intituler leur livre « Trouble de l'écriture chez l'enfant » en raison de cette absence de consensus et proposent à leur tour le terme de Trouble d'Apprentissage de la Graphomotricité (TAG) :

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

II.3. Epidémiologie

Les données épidémiologiques varient selon l'âge, le sexe et la scolarisation des enfants pris en compte. Par exemple, les études révèlent une proportion plus importante de problèmes d'écriture chez le garçon (de 77 à 88% de sujets atteints) que chez la fille. Ce qui pourrait s'expliquer par une différence de développement de la motricité manuelle ou une proportion plus élevée de garçons dans les troubles neurodéveloppementaux pouvant impliquer des troubles de l'écriture.

Smits-Engelsman, Niemeijer et Van Galen (2001) trouvent d'après les résultats du BHK que pour une population d'enfants âgés entre six et neuf ans scolarisés dans des classes régulières, il y a 67 % d'élèves bons scripteurs, 27 % d'élèves faibles scripteurs et 6 % d'élèves dysgraphiques.

Une étude réalisée par Karlsdottir et Stefansson (2002) sur le devenir des problèmes d'écriture montre que la proportion d'élèves dysgraphiques diminue au cours du temps, passant de 27% en CP à 7% en CM2. Les enfants ayant amélioré spontanément leur écriture ont de bons résultats en motricité fine, en intégration visuomotrice, en attention visuelle et en lecture. Ce qui veut dire que la présence de troubles associés serait un facteur prédictif de la persistance du problème d'écriture. Cette affirmation est confirmée par d'autres études : Marr et Cermak (2003) et Kaiser (2009), (*in* Albaret *et al.*, 2013).

II.4. Etiologies

Comme je l'ai précisé précédemment, la dysgraphie est absente des nosographies internationales : l'indépendance du syndrome est encore discutée. En prenant le parti des auteurs qui définissent la dysgraphie comme un trouble neurodéveloppemental à part entière, il est difficile de déterminer sa symptomatologie précise. Son étiologie est comme dans la plupart des troubles neurodéveloppementaux confuse. Il est généralement difficile d'identifier la cause de la dysgraphie avec certitude. (Charles *et al.*, 2003)

Globalement, ce trouble peut être lié à une déficience des processus linguistiques, psychomoteurs et/ou biomécaniques.

Atteinte de la composante linguistique :

Le trouble relèverait d'une déficience au niveau de l'orthographe et de l'expression du langage.

Atteinte des composantes psychomotrice et biomécanique:

L'aspect psychomoteur et biomécanique regroupe l'apprentissage moteur, l'exécution motrice, le contrôle visuomoteur et la sensibilité kinesthésique. Différents auteurs posent des hypothèses pouvant expliquer la faiblesse d'écriture :

- L'hypothèse d'une déficience des capacités kinesthésiques (Ziviani, Hayes & Chant, 1990) : Cela se traduirait par un manque de précision dans la formation et dans l'alignement des lettres causé par un dysfonctionnement des sensations du mouvement, de la posture.
- L'hypothèse d'une instabilité ou d'une déficience du programme moteur (Wann, 1986) : Cela se traduirait par une dysfluece importante (discontinuité du mouvement) et par de longues pauses. Les mauvais écrivains auraient tendance à surinvestir les feedbacks visuels ce qui pourrait expliquer les deux phénomènes précédemment cités.
- L'hypothèse d'une défaillance d'exécution motrice (Van Galen, Portier, Smits-Engelsman & Schomaker, 1993) : Les processus de vitesse et de contrôle du mouvement seraient atteints. Les productions des mauvais scripteurs seraient repérées par une irrégularité spatiale, temporelle et cinématique. Cette variabilité témoignerait d'un manque de contrôle du système neuromoteur : présence d'un bruit neuromoteur trop élevé (proche du tremblement physiologique) empêchant l'écrivain de s'adapter aux exigences de l'exécution motrice.

Ces deux dernières hypothèses concernant le programme moteur et l'exécution motrice ne sont pas incompatibles. Néanmoins, les dysgraphiques ne présentent pas le même tableau symptomatique selon l'étiologie du trouble. En effet, si le trouble est consécutif à un dysfonctionnement du programme moteur, l'écriture sera lente et le tracé dysfluent. Tandis que si le trouble est consécutif à un problème d'exécution motrice, on notera une irrégularité de l'écriture au niveau spatial et temporel. (Zesiger, 2003)

II.5. Comorbidités

On retrouve des cas de dysgraphie dans de nombreuses pathologies cliniques. Mais la dysgraphie est particulièrement représentée en association avec les troubles neurodéveloppementaux. (Albaret *et al.*, 2013)

II.5.1. Avec le Trouble de l'Acquisition de la Coordination (TAC)

Le problème d'écriture est historiquement associé aux enfants présentant un TAC (Ajuriaguerra *et al.*, 1964). Pour Smits Engelsman *et al.* (2001), l'atteinte de la motricité fine dans le TAC serait à l'origine des difficultés d'écriture dans le cadre de cette association. Bien que cette association soit fréquemment rencontrée, elle n'est pas systématique. La proportion d'enfants dysgraphiques dans une population de TAC (diagnostiqués par le M-ABC) varie d'une étude à l'autre passant de 10% dans l'étude de Kaiser (2009), à 25% dans l'étude de Smits Engelsman *et al.* (2001) et jusqu'à 90% dans l'étude de Volman *et al.* (2006). De nombreuses études montrent encore des résultats différents. Cette variabilité dans les résultats pourrait être causée par l'extrême hétérogénéité du TAC ou à une grande différence du nombre d'enfants inclus dans les études citées.

Plusieurs auteurs ont essayé d'analyser et de caractériser l'écriture des enfants présentant un TAC. Globalement, ils retrouvent une fréquence d'inscription significativement inférieure au groupe contrôle. Certains auteurs précisent que ce critère pourrait être un élément constitutif du TAC. Au niveau de la qualité de l'écriture, ils retrouvent une lisibilité plus faible que dans le groupe contrôle avec principalement un plus grand nombre de lettres retouchées et une organisation spatiale dysfonctionnelle.

Chang et Yu (2010, *in* Albaret *et al.*, 2013) : Comparant sur tablette digitale l'écriture de trois groupes d'enfants âgés de 6 ans 2 mois et 7 ans 11 mois :

- Groupe 1 : 39 enfants avec difficultés d'écriture isolées
- Groupe 2 : 33 enfants avec difficultés d'écriture et TAC
- Groupe 3 : 22 enfants contrôles sans trouble

Cette étude révèle que l'apprentissage de nouveaux caractères graphiques demande plus de temps chez les sujets TAC que chez les enfants des deux autres groupes. Ce constat actualise un retard d'automatisation du mouvement. De plus, les sujets TAC présentent une lenteur lors de la réalisation de mouvements complexes.

« Les caractéristiques cinématiques, fournies par une tablette digitale, vont dans le sens d'un défaut d'automatisation des lettres : nombre de levers de crayon et longueur plus grande des lettres en copie ; vitesse, longueur et nombre de mouvements lents plus élevés en dictée. Un

défaut de mémoire procédurale ainsi qu'une élaboration retardée des programmes moteurs due à une mise en concordance défailante des informations visuelles et tactilo-kinesthésiques sont suspectées. » Albaret *et al.* (2013)

II.5.2. Avec le Trouble Déficitaire de l'Attention/Hyperactivité (TDA/H)

Il peut exister une association entre TDA/H et difficulté d'écriture. Dans ce cadre, les caractéristiques de l'écriture sont les suivantes (Albaret *et al.*, 2013) :

- Une qualité moindre
- Une variabilité marquée des composantes spatiales
- Des lettres mal formées et difficilement reconnaissables
- Des difficultés d'adaptation aux exigences de la tâche proposée
- Une vitesse d'écriture élevée

Adi-Japha, Landau, Frenkel, Teicher, Gross-Tsur et Shalev (2007, *in* Albaret *et al.*, 2013) font une étude comparative de l'écriture entre un groupe d'enfants TDA/H et un groupe contrôle. Les résultats concernant le groupe TDA/H sont les suivants :

- Ils font davantage de fautes d'orthographe. Ce constat peut s'expliquer par un déficit en mémoire de travail (tampon graphémique) qui se traduit par de nombreuses substitutions, transpositions, omissions et insertions de lettres. Avec en plus, des confusions de lettres, une tendance à la simplification.
- A propos de la qualité de l'écriture des enfants TDA/H, elle est globalement moins lisible et peu stable. La fréquence d'inscription diminue proportionnellement à mesure que la complexité ou la longueur du mot augmente, l'appui du stylo est plus fort et les lettres retouchées sont plus nombreuses.

Comme souvent, quand il s'agit de la vitesse d'écriture, les études ont des résultats contradictoires. Certaines études révèlent une vitesse d'écriture plus rapide chez les TDA/H (Rosenblum & Livneh-Zirinski, 2008), tandis que d'autres rapportent une écriture plus lente (Adi-Japha *et al.*, 2007). Cette variabilité des résultats peut s'expliquer par l'hétérogénéité de la population des enfants TDA/H inclus dans les études ou par la diversité des méthodes de recueil de données.

Pour finir, plusieurs études telles que Lange *et al.* (2007, *in* Albaret *et al.*, 2013) montrent que la prise de méthylphénidate pour l'amélioration de l'attention dans le cadre d'un TDA/H permet également l'amélioration des compétences en écriture. Cela se produit au détriment de la fluidité du mouvement. Le méthylphénidate permet une augmentation du contrôle rétroactif via l'amélioration des capacités attentionnelles. Cependant, ce contrôle est incompatible avec l'automatisation de l'écriture.

II.5.3 Avec les Troubles des Apprentissages

Les troubles des apprentissages regroupent (INSERM) : Les troubles de la lecture (la dyslexie), les troubles du développement moteur et de l'écriture (le TAC et la dysgraphie), les troubles des quantités numériques (la dyscalculie), les troubles du langage oral (la dysphasie ou trouble spécifique du langage oral), les troubles de l'attention (le TDA/H).

Ces troubles sont fréquemment comorbides : Dans 40% des cas, un enfant présentant un de ces troubles en présente au moins un en plus. Un enfant dysgraphique a 30 à 40% de risque de présenter un autre trouble des apprentissages, Mayahra *et al.*, (1990, *in* Albaret *et al.*, 2013) et jusqu'à 67% de risque selon l'étude de Waber et Bernstein (1994, *in* Albaret *et al.*, 2013).

La dysgraphie est très fréquemment associée à la dyslexie et/ou à la dysorthographe. Ces associations pourraient s'expliquer par le fait que lecture et écriture partagent des processus cognitifs sous-jacents communs. Ainsi, Nicolson et Fawcette (2007, 2011, *in* Albaret *et al.*, 2013) expliquent dans leur modèle que dyslexie et dysgraphie sont consécutives à un dysfonctionnement des boucles cortico-cérébelleuses impliquées dans l'apprentissage procédural.

II.6. Classifications

II.6.1. La classification de Sandler

Sandler *et al.* (1992, *in* Charles *et al.*, 2003) proposent quatre types de dysgraphie :

Dysgraphie avec trouble linguistique et trouble de la motricité fine : la dysgraphie est associée à une dysorthographe. La symptomatologie comprend un retard d'apprentissage de la lecture, une mémoire immédiate perturbée, une agnosie digitale et des syncinésies d'imitation. Le test d'imitation de gestes rend compte de difficultés.

Dysgraphie avec déficits visuo-spatiaux : Les difficultés d'écriture se situent principalement dans l'organisation spatiale : lignes non planes, espace inter-mots irréguliers, inclinaison de la marge... Les épreuves visuo-spatiales sont altérées. La lecture et l'orthographe sont préservées.

Dysgraphie avec trouble de l'attention et de la mémoire : Lecture, phonation et orthographe sont altérées. Les épreuves de mémoire sont échouées particulièrement dans les épreuves visuelles. On note une impulsivité et de l'inattention.

Dysgraphie avec trouble séquentiel : La dysgraphie s'accompagne d'une dyscalculie provoquant un défaut d'automatisation dans la production des lettres et l'altération de l'orthographe. Cette dysgraphie est caractérisée par une agnosie digitale et un trouble du mouvement séquentiel des doigts. Au WISC, le quotient intellectuel performance est supérieur au quotient intellectuel verbal.

Cette classification est difficilement interprétable du fait de l'absence d'indication concernant les éventuelles comorbidités.

II.6.2. La classification de Deuel

Deuel (1994, *in* Charles *et al.*, 2003) proposent trois sous-types de dysgraphie :

Dysgraphie dyslexique : La dysgraphie ne s'exprime qu'en écriture spontanée et s'accompagne d'une dysorthographe sévère. En activité de copie de texte, l'écriture est préservée et la vitesse d'oscillation digitale est normale.

Dysgraphie liée à une maladresse motrice : La dysgraphie s'exprime en écriture spontanée comme en copie de texte sans dysorthographe. La vitesse d'oscillation digitale est altérée.

Dysgraphie due à un trouble spatial : La dysgraphie s'exprime en écriture spontanée comme en copie de texte sans dysorthographe. La vitesse d'oscillation digitale est préservée.

II.6.3. La classification de Gaddes et Edgell

Gaddes et Edgell (1994, *in* Albaret *et al.*, 2013) regroupent les troubles graphomoteurs en quatre rubriques généralistes :

L'altération de l'écriture : tremblements, lettres mal formées, télescopages ou absence de liaison, absence de boucle, traits repassés, micrographie...

Les troubles spatiaux : mauvais alignement des lettres, mots serrés, absence de marge, lignes non planes...

Les troubles syntaxiques : difficultés grammaticales alors que l'expression orale est préservée.

La répugnance à écrire

II.7. Critères actualisant une dysgraphie

Dans cette partie, je vais essayer de recenser les critères que différents auteurs ont repérés comme étant caractéristiques de la dysgraphie. La définition d'une faible écriture fait consensus : il s'agit d'une écriture dont la lisibilité est altérée.

L'instabilité dans la production est une caractéristique centrale de la faiblesse d'écriture, elle est retrouvée dans la plupart des critères. En d'autres mots, l'écriture du mauvais scripteur est plus variable que celle du bon scripteur. (Albaret, Kaiser, & Soppelsa, 2013).

La faiblesse d'écriture se retrouve à tous les niveaux d'un texte, du mot au paragraphe, et s'actualise en termes de précision et de qualité. Les mauvais scripteurs ont plus de discontinuité entre les lettres au sein d'un mot, ils produisent davantage de levers de crayons ; ce qui se traduit par un nombre plus élevé d'unités de lettre. Dans le même registre, les dysgraphiques ont des temps de lever de crayon entre les mots plus longs que les bons écrivains. Ces temps en l'air plus nombreux et plus longs s'expliquent par de faibles capacités à planifier le mot ou la lettre qui suit ainsi que des programmes moteurs peu automatisés (Graham & Weintraub, 1996). Cette dernière donnée suppose que les mauvais scripteurs ont une vitesse d'écriture inférieure aux bons scripteurs. Cette affirmation ne se confirme pas : Les dernières études affirment que vitesse et qualité de l'écriture ne sont pas corrélées. Ce serait deux variables indépendantes. En effet, il n'y a pas d'écart significatif de vitesse d'écriture entre faibles et bons scripteurs (Graham, Weintraub & Berninger, 1998 ; Karlsdottir & Stefansson, 2002). Quelques rares études montrent le contraire dont celle de Volman *et al.*, (2006). Ce résultat pourrait s'expliquer par une grande quantité d'enfants Trouble d'Acquisition de la Coordination (TAC) dans le groupe des faibles scripteurs. (Albaret, Kaiser, & Soppelsa, 2013).

Par ailleurs, les études révèlent que les mauvais écrivains font davantage de changements de direction soudains dans la formation des lettres, ce qui crée des angulations. Ils créent aussi des espaces inter-mots et inter-lettres irréguliers (Graham & Weintraub, 1996).

Des critères mesurant la qualité de la trace sont également soulignés comme étant caractéristiques d'une faible écriture tels que le non-alignement des mots sur une ligne

horizontale, la distorsion de la forme des lettres, les lettres ambiguës, le plus grand nombre de lettres retouchées (Ce critère met en évidence la prise de conscience de l'enfant de l'écart entre sa production et ce qui est normalement attendu), les mots serrés, la hauteur relative inadaptée entre lettres troncs et lettres non-troncs. (Karlsdottir & Stefansson, 2002 ; Simner & Eidlitz, 2000 ; Rosenblum, Dvorkin & Weiss, 2006). Concernant la taille des lettres, il n'y a pas de consensus entre les auteurs. Certains pensent qu'une micrographie est caractéristique d'une faible écriture. Tandis que d'autres estiment qu'au contraire c'est la macrographie qui en est la caractéristique. (Karlsdottir et Stefansson, 2002 ; Graham, Struck, Santoro & Berninger, 2006). D'un point de vue cinématique, les mauvais scripteurs présentent davantage de pics de vitesse et d'accélération (Wann & Jones, 1986).

Certains auteurs ont émis l'hypothèse que la désynchronisation conduit à des activités motrices dysfonctionnelles. Ils ont fait l'expérience avec l'écriture et ont pu observer que les mauvais scripteurs ont des difficultés à faire correspondre leur vitesse de frappe au son d'un métronome. Ils parlent de trouble du rythme qui s'expliquerait par un dysfonctionnement cérébral. Cette difficulté de synchronisation est corrélée à une irrégularité dans la vitesse des traits. (Ben-Pazi, Kukke & Sanger, 2007)

Des chercheurs ont mené de nombreuses études sur la pression du crayon mais leurs résultats n'aboutissent pas aux mêmes conclusions. Certains trouvent que chez l'écrivain habile, la pression varie selon la demande de précision et de complexité sur des tâches graphiques en dehors de l'écriture mais aussi selon la longueur du texte à écrire. Ce qui conduirait à dire que la variabilité dans la pression du crayon ne soit pas un critère de faible écriture. (Wann & Nimmo-Smith, 1991 ; Kao, Shek & Lee, 1983). Tandis que d'autres au contraire ne constatent pas de variation de pression du crayon en fonction du degré de complexité de l'acte graphomoteur. (Smits-Engelsman et Van Galen, 1997). Quant à la quantité de pression, seule une étude chez des enfants Trouble d'Acquisition de la Coordination (TAC) révèle que la quantité de pression du crayon est 2,6 fois supérieure par rapport à un groupe contrôle.

Une expérimentation visant à examiner et comparer les caractéristiques motrices de l'écriture entre bons et mauvais scripteurs via l'utilisation d'une tablette graphique a été réalisée. Elle comportait deux groupes de 50 élèves de 8-9 ans répartis par leurs enseignants grâce à l'utilisation d'un questionnaire en groupe de mauvais ou bons scripteurs. La tablette a enregistré le temps total, le temps « sur papier » et « en l'air », le nombre de lettres par minute, la vitesse. Les résultats montrent que chez les mauvais scripteurs : le temps total est plus long notamment à cause des temps « en l'air » considérablement plus long. Leur vitesse d'écriture est plus lente

et ils écrivent moins de lettres par minute.

L'utilisation des digitaliseurs dans l'analyse de l'écriture rend possible l'enregistrement d'exemplaires d'écriture et de mouvement avec une précision supérieure. Ces conclusions conduisent les auteurs à affirmer que l'élaboration d'outils supplémentaires pour l'évaluation et le traitement des difficultés de l'écriture est une piste à ne pas négliger (Rosenblum, Parush & Weiss, 2003).

III. MESURE DE L'ÉCRITURE CHEZ L'ENFANT

L'évaluation objective de l'écriture questionne depuis de nombreuses années. Durant les cinquante dernières années, plusieurs auteurs ont exploré de nombreuses options. Dans cette partie, je m'intéresserai uniquement aux moyens d'évaluation critériés et chiffrés. J'ai pris le parti de ne pas présenter les échelles et protocoles d'observation considérant qu'ils sortaient du cadre de mon mémoire. Albaret *et al.*, (2013) distingue l'évaluation de la trace laissée sur le papier qu'il nomme le produit (Product), de l'évaluation du geste au travers de l'analyse dynamique de l'écriture via un digitaliseur qu'il nomme le processus (Process).

III.1. Evaluation de la trace écrite (le produit)

III.1.1. Echelles holistiques

Ce sont des échelles qui considèrent l'écriture dans sa globalité. Dans l'histoire de l'évaluation de l'écriture, ce sont les plus anciennes :

- **Le test de lisibilité de l'écriture (*Test Of Legible Handwriting* = TOLH) :**
(In Albaret *et al.*, 2013)

Ce test a été conçu par Larsen et Hammill en 1989. Il permet l'obtention d'un score de lisibilité en comparant l'écriture d'un enfant scolaire (Du CE1 à la terminale) à 9 exemples d'écriture classés du moins lisible au plus lisible et donc notés de 1 à 9. Ces exemples d'écriture ont été réalisés dans 3 styles d'écriture à savoir : écriture scripte penchée à droite ou perpendiculaire, écriture scripte penchée à gauche et écriture cursive. En parallèle de ce score de lisibilité, il y a un protocole qualitatif qui permet l'analyse de la formation des lettres.

Les études sur les qualités métriques de ce test ont montré de fortes corrélations positives : une consistance interne à .86, une fidélité inter-correcteurs à .95, une fidélité test-retest à .90 et une validité concurrente à .92. Par ailleurs, la comparaison faible scripteur/population d'étalonnage

indique que le test discrimine bien les deux populations. Néanmoins, ces études de validité ne comprenaient qu'un faible nombre d'enfants.

- **L'échelle d'évaluation de l'écriture de l'enfant (*Children's Handwriting Evaluation Scale = CHES*)** : (Phelps, Stempel, & Speck, 1985)

Dans les années 80, l'absence d'instrument de mesure fiable de l'écriture a conduit Phelps, Stempel et Speck à concevoir le CHES. Leur population d'étalonnage comprend 1365 enfants du CE2 à la quatrième (Grade 3 à 8). L'épreuve consiste à faire copier une nouvelle préalablement lue comprenant toutes les lettres de l'alphabet à l'exception du « x » et du « z ». Après 2 minutes, le correcteur marque d'un trait la dernière lettre écrite et l'enfant est invité à poursuivre. Cette échelle permet de repérer les enfants nécessitant une rééducation grâce à la mesure normée de la qualité et de la fluidité de l'écriture cursive. La qualité comprend la formation des lettres, l'inclinaison, les espaces et la lisibilité générale. Elle est évaluée sur une échelle de 5 points (très pauvre/pauvre/satisfaisante/bon/très bon), un rang percentile est attribué à chaque point. De même, la fluidité est obtenue en convertissant le nombre de lettre produite sur 2 minutes à l'aide d'une échelle en 5 points (de très pauvre à très bon).

Sa fidélité est basée sur la comparaison de jugement entre 4 correcteurs, cette fidélité inter-correcteurs est acceptable (De .64 à .82). Les auteurs concluent que le CHES est un outil diagnostique fiable avec une administration et une cotation simple. Les données concernant la validité sont limitées (Albaret *et al.*, 2013).

En 1987, Phelps et Stempel ont développé la version scripte (CHES-M) pour les enfants plus jeunes. L'épreuve est semblable, la seule différence est que les enfants n'écrivent que deux phrases. La fidélité inter-correcteurs est satisfaisante (De .65 à .81) et les données de validité sont absentes.

III.1.2. Echelles analytiques

Ce sont des épreuves qui considèrent l'étude de l'écriture de façon plus fine, elles utilisent des critères d'analyse qui sont des caractéristiques indépendantes de l'écriture. On retrouve des questionnaires et des tests. Ces échelles sont plus récentes que les échelles holistiques :

LES QUESTIONNAIRES :

- **Le *Handwriting Checklist***, Alston (1981, *in* Albaret *et al.*, 2013) :

Ce questionnaire comprend 23 items sous forme d'interrogation répartis en quatre parties. La première partie concerne les observations en cours d'écriture (prise du crayon, posture, position de la feuille, variations de pression du crayon). La seconde partie porte sur le tracé (la reconnaissance et la formation des lettres). La troisième partie s'intéresse aux patrons de base utiles à la réalisation des lettres. Enfin, la dernière partie apprécie l'inclinaison des lettres et les espaces inter-mots et inter-lettres.

Les qualités métriques sont les suivantes : la fidélité intra-correcteur est élevée, elle est comprise entre .92 à .98, la fidélité inter-correcteurs est acceptable (De .63 à .82). Tandis que la fidélité test-retest est moyenne (De .64 à .68).

- **Questionnaire de dépistage des compétences d'écriture (*Handwriting Proficiency Screening Questionnaire = HPSQ*)** Rosenblum (2008, in Albaret *et al.*, 2013)

Ce questionnaire est à destination des enseignants. Il comprend dix questions et cinq possibilités de réponse (De 0, jamais à 4, toujours). Les questions portent sur la lisibilité, la capacité de relecture de l'enfant, le temps de copie d'un texte au tableau, le nombre de vérifications au tableau, le nombre de corrections, la motivation, la fatigabilité et les devoirs à la maison. La population de référence comprend 320 enfants de 7 à 14 ans et scolarisés du CE1 à la quatrième.

L'étude des qualités métriques objective de fortes corrélations positives : une consistance interne à .90, une fidélité test-retest à .84 et une fidélité inter-correcteurs à .92.

- **Questionnaire d'évaluation de l'écriture du Minnesota (*Minnesota Handwriting Assessment = MHA*)** Rosenblum *et al.*, (2008, Albaret *et al.*, 2013)

Ce questionnaire est à destination des thérapeutes. Il peut être utilisé en association avec le Handwriting Checklist pour apporter des précisions à certains items tels que : la posture (position du bassin, du buste, du membre scripteur et de la tête), les observations comportementales qualitatives (l'inclinaison du buste, observation du bras passif, attention portée à l'activité, présence/absence de soliloque), l'usage des outils d'écriture (La position et la stabilisation de la feuille, la fréquence des corrections, la main utilisée pour gommer, les mouvements des doigts, pression du crayon), et le type de prises (mature, intermédiaire, immature).

La fidélité inter-correcteurs est élevée (de 80 à 95%). Sa simplicité et sa rapidité d'administration en fait un bon complément aux tests d'écriture critériés.

TESTS D'ECRITURE :

- ***Scale of Children's Readiness in PrinTing*** = **SCRIPT** (Weil & Cunningham-Amundson, 1994)

Dans leur étude, Weil *et al.*, ont examiné la relation entre les performances visuomotrices et les compétences d'écriture chez 60 enfants (30 filles/30 garçons) âgés de 5 à 6 ans. Pour cela, ils leur ont administré la Visual-Motor Integration (VMI) et la SCRIP. Ils trouvent une relation significative entre les deux variables testées sans différence sexuelle. Dans le cadre de ce mémoire, je ne m'intéresse qu'à la partie concernant la SCRIPT. Cette échelle comprend la copie des 26 lettres de l'alphabet en minuscule et 8 lettres en majuscule. Les enfants copient la lettre dans une case située sous le modèle. Chaque lettre est cotée soit :

- Correcte : 1 point (Lettre reconnaissable et lisible, complète, proportion corps/branche respectée)
- Incorrecte : 0 point (lettre mal formée/non reconnaissable, lettre inversée, majuscule au lieu d'une minuscule ou l'inverse, orientation non respectée, lettre en dehors de la case, ajout ou omission de partie de lettre...)

Cette échelle est utilisée chez des enfants en maternelle et permet de repérer des éléments prédictifs d'éventuels problèmes scolaires ultérieurs. De nombreuses études réalisées par Simmer (1982, 1986, 1989, 1991, *in* Albaret *et al.*, 2013) confirment la pertinence de cette échelle. Ils trouvent que 70 à 80% des enfants ayant un score déficitaire à la SCRIPT auront des difficultés scolaires. Ce qui veut aussi dire que 20 à 30% n'en auront pas. C'est pourquoi, l'utilisation de cette échelle doit se faire en parallèle d'autres observations et/ou tests.

La fidélité inter-correcteurs est élevée à savoir .95 (Marr, Windsor & Cermark, 2001), la validité test-retest est bonne : .77 (Marr, Cermark, 2002). (*In*, Albaret *et al.*, 2013)

- ***Evaluation Tool of Children's Handwriting*** = **ETCH**, Amundson (1995, *in* Albaret *et al.*, 2013)

Il s'agit d'un outil d'évaluation de l'écriture chez l'enfant conçu par Amundson en 1995. Ce test comprend deux versions : scripte (ETCH-M) et cursive (ETCH-C). Il mesure la lisibilité et la fréquence d'inscription dans 6 conditions d'écriture : les lettres de l'alphabet de mémoire,

les nombres de 1 à 12 de mémoire, copie de cinq phrases à partir d'un modèle proche (livre), copie de cinq phrases à partir d'un modèle lointain (tableau), dictée et écriture spontanée d'une phrase. La durée moyenne du test est de 15-20 minutes. De par la diversité des conditions d'évaluation, ce test est le plus complet des tests d'écriture chez l'enfant. Concernant la cotation, le test comporte trois scores de lisibilité : lettres, mots et nombres.

L'étude des qualités métriques du test rapporte : une bonne fidélité test-retest de l'ETCH-M à .71 pour la lisibilité générale (Diekema, Deitz et Amundson ,1998). La comparaison des résultats de l'ETCH-M au jugement des enseignants montre que ce test discrimine bien les bons des mauvais scripteurs. Une autre étude précise que la discrimination se fait à 82% correctement pour les CM1 (Grace-Fredrerick, 1998, Koziatsek & Powell, 2002). Ces mêmes auteurs trouvent une validité convergente moyenne à .61 pour la lisibilité générale d'un mot entre ETCH-C et l'appréciation subjective des enseignants. Selon d'autres auteurs, Cette relation n'est pas significative car le test d'écriture n'apprécie pas de la même manière la qualité de l'écriture que les enseignants. En effet, les enseignants prennent en compte l'uniformité, la taille relative, l'alignement sur une ligne pour évaluer la qualité d'écriture ce que ne fait pas l'ETCH. De même, les enseignants évaluent l'écriture de leur élève sur une année scolaire tandis qu'un test ne l'évalue qu'à un moment T. (Sudsawad, Trombly, Henderson et Tickle-Degnen, 2001)

- ***Minnesota Handwriting Assessment***, Reisman (1999, in Albaret *et al.*, 2013)

Il s'agit de la version commerciale du *Minnesota Handwriting Test* (Reisman, 1993, 1995). Il a été conçu pour évaluer l'écriture d'enfants de 5 à 7 ans. L'épreuve est constituée de deux temps. Le premier comprend la copie de la phrase suivante : *The quick brown fox jumped over the lazy dog*. Cette phrase contient toutes les lettres de l'alphabet. La correspondance en français est « Portez ce whisky au vieux juge blond qui fume ». (Charles *et al.*, 2003) Le second temps comprend la copie de cette même phrase dans un ordre illogique (inversions de mots). Pour les deux temps, la copie s'effectue en script. La qualité est appréciée en fonction des critères suivants : lisibilité, formation des lettres, alignement, taille des lettres et espaces inter-mots. La fréquence d'inscription est estimée en comptant le nombre de lettres écrites pendant 2 minutes 30 secondes.

Les qualités métriques ont été étudiées par Reisman, (1995, in Albaret *et al.*, 2013). Il rapporte : une fidélité inter-correcteurs élevée à .99, une bonne fidélité intra-correcteur à 7 jours allant de 96.4 à 98.7% et une fidélité test-retest moyenne à .72.

- *L'échelle E et l'échelle D*, Ajuriaguerra *et al.*, (1964)

L'échelle E :

La toute première échelle E date de 1954, elle comprenait 37 items. En 1958, une première révision a eu lieu. Des items ont été supprimés. Les autres ont été classés en deux grandes parties : Les « malformations enfantines du graphisme » (Composantes EM : difficultés d'exécution motrice), et les « formes et agencements enfantins » (Composantes EF). En 1960, les deux sous-échelles ont été de nouveau modifiées portant à 14 items pour l'échelle EF et 16 items pour l'échelle EM. Soit 30 items au total. Le test a été administré sur 700 enfants du CP au CM2. L'épreuve consiste à copier un texte sur modèle pour les CP/CE1. Du CE2 au CM2, le texte est lu puis dicté. De cette population initiale, ils ont extrait 356 écritures en respectant des critères d'exclusion. La cotation comprend 3 scores : un score EF, un score EM et un score pour l'ensemble. Ce sont des scores qualitatifs qui permettent de situer et d'apprécier le niveau de développement de l'écriture entre 6 et 11 ans.

Habituellement, cette échelle est associée à une mesure de la fréquence d'inscription (Le test graphométrique). De même que pour l'échelle E, selon la classe de l'enfant, il copie sur modèle ou sous dictée la phrase suivante pendant une minute : « Je respire le doux parfum des fleurs. ». L'enfant écrit à vitesse normale puis à vitesse accélérée. Le thérapeute compte le nombre de lettres écrites en une minute dans les deux modalités.

L'échelle D :

Au fur et à mesure de l'utilisation de l'échelle E, les thérapeutes se sont aperçus qu'elle ne rendait pas bien compte des difficultés réelles d'écriture et des progrès de la rééducation. C'est pourquoi, la nécessité d'un nouvel outil devenait indispensable. Ajuriaguerra *et al.*, ont recherché les aspects graphiques susceptibles de caractériser une dysgraphie. Pour cela ils ont étudié les écritures de 55 enfants dysgraphiques et de 55 enfants non dysgraphiques (De 8 à 14 ans) appareillés en sexe et en âge. Après avoir dégagé une première impression visuelle, ils concluent que l'écriture des enfants dysgraphiques se caractérise par trois grandes rubriques : la mauvaise organisation de la page, la maladresse, les erreurs de formes et de proportions. A partir de ces rubriques, ils créent l'échelle D. Elle comprend 25 items. Cette échelle peut être appliquée à n'importe quel texte copié sur papier non ligné. Pour chaque item, la cotation est la suivante : 1 point (Présence nette de l'item), ½ point (Présence discrète ou inconstante de l'item) 0 point (Absence de l'item).

Cette étude a permis aux auteurs de conclure que :

1/ Un score supérieur à 14 points suggère une dysgraphie. (82% des enfants dysgraphiques de l'étude sont de ce cas contre 18% des non dysgraphiques)

2/ Un score supérieur à 19 points permet d'affirmer une dysgraphie. (5% des non dysgraphiques de l'étude sont dans ce cas et il se pourrait qu'ils soient dysgraphiques)

Ils ajoutent à ces deux notes, qu'un score supérieur à 10 est à surveiller. Ce qui ajoute une confusion supplémentaire à leur travail.

- ***L'échelle d'évaluation rapide de l'écriture chez l'enfant = BHK*** (Charles *et al.*, 2003)

Ce test a été conçu par Hamstra-Bletz, Hans De Bie et Berry P. LM Den Brinken en 1987 pour détecter précocement la dysgraphie. La version originale a été mise en place au sein du département de Psychologie de développement de l'Université de Leiden (Pays-Bas). Ces auteurs se sont inspirés des échelles E et D présentés ci-dessus. Ils en ont extrait les critères pertinents pour repérer les écritures dysgraphiques. Suite à ces travaux, une norme hollandaise a été créée et Charles *et al.*, des auteurs français ont réalisé une nouvelle version et une norme française. Cette nouvelle version a servi à établir une norme libanaise (Matta Abizeid *et al.*, 2012), et quelques données ont été recueillies sur la population suisse (Kaiser, 2012). D'autres auteurs (Di Brina *et al.*, 2011) ont créé une version italienne.

L'épreuve est une copie de texte sur papier non ligné pendant 5 minutes. Le premier paragraphe comprend des mots simples retrouvés au CP puis le texte se complexifie progressivement. De même, la taille d'écriture diminue petit à petit. A posteriori, l'analyse se fait sur les cinq premières lignes (1^{er} paragraphe) et comprend 13 critères notés 0 (Absence du critère) ou 1 (Présence du critère). Cela permet d'obtenir une note totale de dégradation (Comprise entre 0 et 65). Les 13 items sont les suivants : (1) écriture grande, (2) inclinaison de la marge, (3) lignes non planes, (4) mots serrés, (5) écriture chaotique, (6) liens interrompus entre les lettres, (7) télescopages, (8) variation dans la hauteur des lettres troncs, (9) hauteur relative incorrecte, (10) distorsion des lettres, (11) formes de lettres ambiguës, (12) lettres retouchées, (13) hésitations et tremblements. Un score total inférieur à la moyenne de deux écart-types indique une dysgraphie. En parallèle de ce score de qualité d'écriture, il est possible de calculer la fréquence d'inscription. Il faut alors compter le nombre de lettres inscrites en 5 minutes. De même que pour la qualité, un score inférieur à la moyenne de deux écart-types indique une fréquence d'inscription excessivement lente.

Il est également possible de recueillir un certain nombre de signes cliniques : la translinéarité (Passage à la ligne alors qu'il y a la place de poursuivre), omission de la partie gauche, marge allant exagérément vers la droite, tremblements, micrographie, lettres miroirs, lettres étalées, parties de mots détachées, texte déviant, fautes d'orthographe et corrections.

La norme française comprend 837 enfants de 6 à 11 ans. Les qualités métriques sont les suivantes : Une validité convergente moyenne avec l'échelle D, d'Ajuriaguerra allant de .68 à .78 et de .76 avec l'appréciation subjective des enseignants, une fidélité inter-correcteurs satisfaisante de .71 à .89. La corrélation est d'autant plus forte que les correcteurs sont expérimentés. Une analyse factorielle réalisée par Sage, Zesiger et Garitte (2009) met en avant 4 facteurs : (F1) formes et constance des lettres (items 8, 10, et 11), (F2) réalisation motrice des lettres (items 1, 5 et 13), (F3) organisation spatiale des lettres (items 4, 7 et 9) et (F4) organisation spatiale de l'écriture dans la feuille (items 2, 3, 6 et 12).

Une version pour les adolescents a été conçue par Soppelsa et Albaret en 2012. Deux caractéristiques sont recherchées : la lisibilité et la stabilité. La fréquence d'inscription calculée sur 5 minutes a été conservée. Concernant le score qualité, il est coté sur les 5 lignes du 2nd paragraphe et contient seulement 9 critères dont les critères 7, 8, 9 et 11 du BHK-enfant et les critères suivants : lettres majuscules à l'intérieur des mots, parallélisme des lignes, stabilité des mots, stabilité des « a » et des « t ». La population d'étalonnage comprend 471 enfants âgés de 9 ans à 12 ans 11 mois.

III.1.3 Le problème de la mesure de fréquence d'inscription

La mesure de la fréquence d'inscription est une évaluation classique retrouvée dans de nombreuses épreuves. Il s'agit du calcul du nombre de lettres écrites dans un temps imparti. La majorité des auteurs emploie les termes de vitesse et de fréquence d'inscription sans distinction. Albaret *et al.*, (2013) préfère réserver le terme de vitesse d'écriture à l'analyse cinématique de l'activité d'écriture. La fréquence d'inscription informe sur l'aptitude de l'enfant à s'adapter aux contraintes scolaires. En effet, la corrélation entre fréquence d'inscription et classe est supérieure à la corrélation entre fréquence d'inscription et qualité d'écriture. Par ailleurs, les études sur la fréquence d'inscription rendent compte d'une grande variabilité. En effet, la fréquence d'inscription dépend du type d'exercice (dictée, écriture spontanée ou copie), des consignes (écrire vite/lentement, du mieux possible...), du type d'écriture (écriture scripte ou

cursive) et de la complexité du texte à écrire. C'est pourquoi, l'utilisation de cette donnée est délicate dans le dépistage des troubles de l'écriture. (Charles *et al.*, 2003)

Barnett, Henderson, Scheib & Schultz (2009) ont créé et étalonné une nouvelle épreuve mesurant uniquement la fréquence d'inscription pour les enfants de 9 à 16 ans. Il s'agit du DASH (*Detailed Assessment of Speed of Handwriting*). L'épreuve reprend la phrase du MHA (*Minnesota Handwriting Assessment*) : *The quick brown fox jumped over the lazy dog*. L'enfant écrit dans 4 conditions différentes : (1) Copie de la phrase pendant 2 minutes avec une contrainte de qualité ; (2) Ecriture spontanée de l'alphabet en minuscule pendant 1 minute ; (3) Copie de la phrase pendant 2 minutes avec une contrainte de vitesse ; (4) Ecriture libre. La fréquence d'inscription est calculée dans les 4 conditions et comparée à un rang percentile correspondant à la tranche d'âge de l'enfant. Cette épreuve a l'avantage de tester la fréquence d'inscription dans différentes conditions. (Barnett *et al.*, 2009)

III.1.4. Trouble de l'écriture et appréciation des facteurs endogènes et exogènes

Si les scores des épreuves présentées dans les parties précédentes actualisent un trouble de l'écriture, il est important d'approfondir les investigations afin de tenter de connaître la ou les causes perceptivo-motrice(s) et/ou cognitive(s) éventuelle(s) de ce trouble afin de mettre en place une rééducation adaptée.

- **Evaluation des facteurs endogènes** : (Facteurs propres à l'individu)

La dextérité manuelle et digitale : La dextérité manuelle est la « Capacité à faire habilement et de façon contrôlée des manipulations avec le bras et la main sur des objets relativement gros » Albaret & Soppelsa, (1999, in Albaret *et al.*, 2013). Tandis que la dextérité digitale correspond à la capacité à faire des mouvements fins et dissociés des doigts. Ces deux types de dextérité se regroupent sous le terme de motricité fine. Plusieurs épreuves mesurent la motricité fine dont en voici quelques exemples : La partie « dextérité manuelle » du M-ABC (Batterie d'évaluation du mouvement chez l'enfant), le Purdue Pegboard, plusieurs items de la partie fonctions sensorimotrices de la NEPSY-II (Tapping, l'imitation de position de mains, les séquences motrices manuelles et la précision visuo-motrice), Plusieurs facteurs du Lincoln Oseretsky, Etc...

Les fonctions visuospatiales : **(1) La visuoperception** : L'intégrité du système visuel est indispensable à la visuoperception à savoir l'acuité visuelle, l'accommodation, la poursuite et

la fixation oculaire. Un contrôle de la vision par un ophtalmologue est conseillé dans le cadre d'une évaluation de l'écriture. **(2) La visuomotricité** : correspond à la « coordination entre la perception visuelle et la coordination des mouvements des doigts et de la main » Berry *et al.*, (2003, *in* Albaret *et al.*, 2013). Voici quelques exemples d'épreuves évaluant cette fonction : Le Test de Développement de la Perception Visuelle (DTVP-2), le Frostig, Etc... **(3) La visuoconstruction** : correspond à la capacité à agencer des formes les unes par rapport aux autres. Cette fonction est mesurée par la figure complexe de REY et les cubes de la NEPSY-II par exemple.

L'attention visuelle : on recense trois types d'attention visuelle pouvant être impliqués dans la production d'écriture à savoir l'attention sélective, divisée et soutenue. De nombreuses épreuves permettent d'évaluer ces différents types d'attention. En voici quelques exemples : Les tests de barrage tels que le T2B (Test des deux Barrages de Zazzo), l'épreuve chats-visages de la NEPSY-1, le D2. Le TEA-CH (Test of Everyday Attention for Children) est une batterie d'évaluation de l'attention.

La lecture : Une évaluation de la lecture est incontournable quand on constate des difficultés d'écriture. Il est important de faire un bilan orthophonique pour écarter tout type de problème d'ordre linguistique.

- **Evaluation des facteurs exogènes** : (Facteurs extérieurs à l'individu influençant son écriture)

Il existe un ensemble d'éléments extérieurs à l'individu qui ont un impact sur la qualité et sur la vitesse d'écriture. C'est pourquoi il est important de les prendre en compte dans l'évaluation de l'écriture. Les facteurs exogènes sont les suivants :

L'enseignement : Il est important de savoir la manière dont l'enfant a appris à écrire. L'apprentissage est un élément central dans l'acquisition et dans le développement de l'écriture. L'étude de Hayes (1982, *in* Albaret *et al.*, 2013) montre que la combinaison des modalités d'apprentissage visuel (modèle de la lettre et modèle du geste par l'enseignant) et d'apprentissage verbal est la plus efficace.

Le style d'écriture : Cursive, scripte ou mixte. Chaque style d'écriture présente ses avantages et ses inconvénients.

L'environnement matériel : Il correspond au type d'outils scripteur, et au type de papier. Il est important d'investiguer cet environnement car il peut avoir un impact sur la qualité de l'écriture.

La position d'écriture : l'observation clinique de la position d'écriture permet d'analyser si elle est en lien avec les difficultés d'écriture.

III.2. Enregistrement des critères dynamiques et des caractéristiques motrices de l'écriture par un digitaliseur (le processus)

Dans cette partie nous nous intéresserons uniquement à l'enregistrement des caractéristiques motrices de l'écriture. En pratique, les digitaliseurs se présentent sous la forme d'une surface lisse reliés à un ordinateur et sur lesquels on peut positionner une feuille. L'avantage des digitaliseurs par rapport aux épreuves papier-crayon classiques c'est l'enregistrement des données, ce qui permet une analyse à posteriori à la fois de la trace mais également des caractéristiques motrices de l'écriture. Ainsi, une tablette graphique peut enregistrer :

- Des données spatiales : longueur totale de la trace, trajectoire, hauteur et largeur des lettres, régularité des courbures. Elle peut également indiquer l'erreur spatiale entre la production et le modèle dans les tâches de reproduction (Albaret, Kaiser & Soppelsa, 2013)
- Des données temporelles : les temps de mouvement sur le papier et en l'air, les temps de pauses et leur nombre. (La pause se définit comme l'absence de mouvement du crayon)
- Des données cinématiques : vitesse moyenne et vitesse maximale, continuité/discontinuité de la trace (Autrement dit, le nombre de levers de crayon), l'accélération
- Des données dynamiques : la pression du crayon
- Des données sur la fluidité du geste graphomoteur : Analyse des courbes de vitesse. Albaret *et al.* (2013) considère la fluidité comme étant un indice d'automatisation de l'écriture. Sur la tablette, elle se repère par les pics de vitesse ou d'accélération ou par la secousse (Variation de l'accélération au cours du temps). La tablette graphique permet d'obtenir le bruit neuromoteur (Indicateur de la fluidité du geste graphomoteur).
- Autres données : les coordonnées de pointe du stylo et son inclinaison.

Dans un article, Albaret et Santamaria (1996) précisent les différents rôles que peuvent remplir les tablettes graphiques :

- Permettent l'enregistrement des caractéristiques motrices de l'écriture
- Permettent d'apprécier l'évolution de ces caractéristiques au cours du développement
- Sont un outil pour la rééducation des troubles de l'écriture et deviendront probablement d'ici peu de temps un outil d'évaluation de l'écriture permettant de différencier une population normale d'une population dysgraphique.

L'analyse affinée des caractéristiques motrices de l'écriture a permis de préciser les étapes et la nature de la programmation motrice. Concernant la nature du programme moteur, ce sont principalement les informations spatiales qui entrent dans les représentations au niveau du système nerveux central. Ces représentations constituent des unités de base. Ces dernières varient selon le niveau d'expertise du sujet, la nature et la difficulté de la tâche. Concernant les étapes du programme moteur, elles sont au nombre de trois :

- La détermination de la forme de la lettre qui correspondrait au rappel d'un programme moteur stocké en mémoire
- Le contrôle de la taille de la lettre (ou paramétrisation)
- L'adaptation aux exigences de la situation avec la sélection des groupes musculaires impliqués dans la réalisation motrice et la mise en place des synergies entre muscles agonistes et antagonistes.

Au total, le temps de réaction (Durée qui sépare une stimulation d'une réponse) est la somme des durées nécessaires pour chaque étape. (Van Galen et Teulings, 1983)

De même, la définition des invariants temporels et spatiaux a été facilitée par l'utilisation de ces instruments de mesure modernes.

PARTIE PRATIQUE

Les similitudes linguistiques entre lecture et écriture n'ont laissé que peu de place à l'étude de la production d'écriture en tant qu'activité motrice. A partir des années 1980, l'essor d'outils sophistiqués tels que les tablettes graphiques a permis aux chercheurs d'analyser l'écriture dans sa dimension motrice. Les digitaliseurs donnent accès à de nouvelles variables permettant d'envisager l'écriture comme un processus qui évolue dans le temps, et pas seulement comme une trace statique laissée sur un support.

Dans cette partie, j'exposerai l'étude des caractéristiques motrices d'un échantillon d'enfants scolarisés en CE2. Je ferai également un clin d'œil aux possibilités qu'offre ce travail en comparant mon échantillon à un individu dysgraphique dans leurs caractéristiques motrices.

I. PRESENTATION ET DESCRIPTION DE MA DEMARCHE

I.1. Objectif

Dans le paragraphe « Mesure de l'écriture chez l'enfant » de la partie théorique, j'ai recensé les principales épreuves qui permettent actuellement l'évaluation de l'écriture. Ces dernières s'intéressent à la trace écrite à posteriori de sa production et s'appuient sur des critères de qualité et de fréquence d'inscription pour différencier les bons des mauvais scripteurs.

Certains auteurs (Comme l'équipe de Danna *et al.*) ont commencé à appréhender l'écriture différemment via l'utilisation de digitaliseurs qui permettent l'enregistrement de la trace écrite en cours de production. Ce qui rend possible l'analyse dynamique et cinématique qui sera par définition plus précise qu'une évaluation à posteriori de la trace. Ces auteurs mettent en avant la nécessité de créer une épreuve spécifique à l'évaluation du mouvement générant la trace écrite.

De ce fait, j'ai décidé de m'intéresser à l'élaboration d'un outil de ce type. Ce mémoire, de type expérimental, est donc une étude préliminaire en vue d'un étalonnage de test.

L'objectif de mon travail est d'étudier les caractéristiques dynamiques et cinématiques de l'écriture des enfants « normaux » à l'aide d'une tablette graphique. La finalité de ce travail étant de mettre en évidence des critères actualisant un trouble de l'écriture en comparant une population « normale » à une population avec trouble de l'écriture dans leurs caractéristiques dynamiques et cinématiques.

I.2. Passation de l'épreuve

L'épreuve s'administre de façon individuelle, dans un endroit calme et lumineux.

I.2.1. Description de l'épreuve

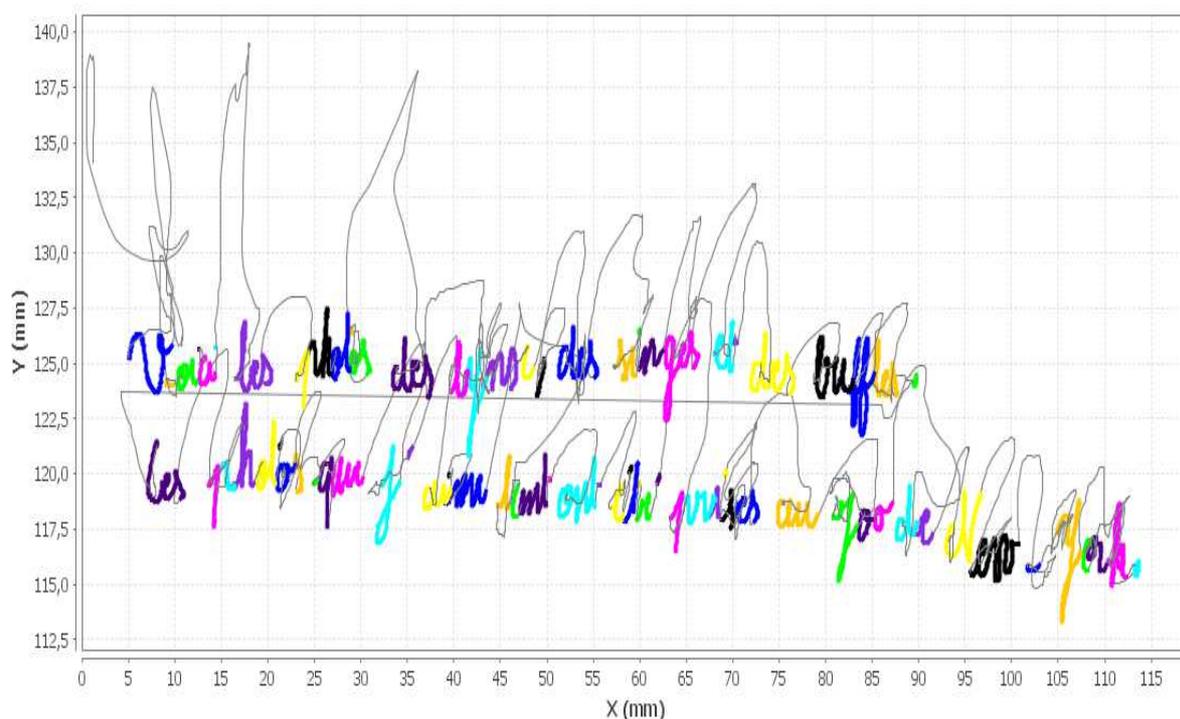
L'épreuve est une copie des deux phrases suivantes :

« Voici les photos des lynx, des singes et des buffles.

Ces photos que j'aime tant ont été prises au zoo de New-York. »

Ces phrases contiennent toutes les lettres de l'alphabet, des répétitions de mots (« photos » et « des ») ainsi que des mots rarement employés tels que « buffles » ou encore « New-York ». Cette phrase a été conçue afin d'avoir de multiples possibilités d'analyse. L'objectif étant que les enregistrements recueillis dans les écoles servent à d'autres travaux que celui qui m'occupe dans le cadre de ce mémoire.

Un exemple d'enregistrement sur le logiciel de saisie



Chaque couleur représente une unité (Ce qui permet au logiciel « Ecriture Suite » de calculer le nombre de traits). Les traits gris représentent les déplacements du stylet lors des levers de crayon.

1.2.2. Matériel

Le matériel nécessaire à la passation de l'épreuve est le suivant :

- Une feuille blanche
- Une tablette graphique (Ici de marque WACOM, modèle Intuos A5 Wide) et un stylet
- Un ordinateur équipé du logiciel de saisie
- Le modèle des phrases à recopier

En raison de la population ciblée (*Cf. -> 1.3. Population*), j'ai choisi d'écrire le modèle en Calibri 14. En effet, cette taille d'écriture correspond au mieux à la taille d'écriture écologique moyenne des enfants en classe de CE2 à savoir 3 millimètres (Information extraite du manuel du BHK).

Par ailleurs, j'ai fait le choix de plastifier mon modèle afin de coller aux mieux aux conditions de passation du BHK. J'ai également préféré le présenter en format paysage afin qu'il n'y ait pas de saut de ligne au sein des phrases.

Photographie du dispositif



1.2.3. Consignes

Dire à l'enfant « **Tu as un modèle devant toi. Tu vas devoir le recopier sur cette feuille blanche (montrer). Tu commenceras à écrire quand je te donnerai le signal de départ. Tu**

dois écrire comme tu as l'habitude d'écrire en classe (Pas plus vite, pas moins vite/ Pas plus beau, pas moins beau). As-tu des questions ? »

S'il y a des questions, il faut prendre le temps d'y répondre en répétant les consignes. Dès que l'enfant a bien tout compris, l'examineur dit « **Tu es prêt ? C'est parti** ». L'examineur déclenche l'enregistrement sur le logiciel de saisie en appuyant sur la touche « Entrée » de l'ordinateur. Il cesse l'enregistrement en appuyant sur la touche « Echap » quand l'enfant a terminé.

I.3. La population

Dans le cadre de ce mémoire, le temps ne me permettait pas d'étudier toutes les classes. J'ai donc choisi d'analyser les caractéristiques d'écriture des enfants en classe de CE2. Cette classe n'a pas été sélectionnée par hasard. En effet, il s'agit de la première du second cycle de l'élémentaire. L'écriture est automatisée pour la plupart des enfants mais n'est pas encore personnalisée. Il m'a donc paru intéressant d'étudier les caractéristiques du mouvement générant de l'écrit chez ces enfants.

I.3.1. Conditions

La passation du test s'est réalisée de façon individuelle dans deux écoles publiques. Chaque passation durait en moyenne 10 minutes. Dans un premier temps, je remplissais un questionnaire avec l'enfant afin d'obtenir les informations nécessaires au traitement des données (âge, sexe, latéralité graphique, métier des parents, redoublement, les prises en charge éventuelles, le port des lunettes et la présence d'une Auxiliaire de Vie Scolaire). Dans un second temps, j'administrais le BHK dans les conditions standards puis je procédais à l'enregistrement des phrases avec la tablette graphique en respectant les conditions que j'avais fixé au préalable. Je tiens à préciser que l'aspect informatisé de l'épreuve a beaucoup intéressé les enfants. Ils se sont montrés investis et curieux.

I.3.2. Population

L'étude a été réalisée dans deux écoles primaires publiques de la région toulousaine au cours du second trimestre.

Afin d'avoir accès aux élèves de CE2 pour mener à bien mon projet d'étude, il m'a fallu l'autorisation du recteur d'académie, des directeurs d'établissement, des instituteurs et un

consentement éclairé des parents. Obtenir une approbation n'a pas toujours été possible pour certaines écoles ou certaines classes. L'avantage d'avoir des enfants issus de deux écoles permet de diversifier les facteurs socio-économiques.

1.3.3. Effectifs

Au total, j'ai réalisé 62 passations. L'objectif étant de créer une norme des CE2, j'ai ôté certains enfants du traitement statistique afin de lui garantir une certaine fiabilité. Les critères d'exclusion de mon étude sont les suivants :

- Les enfants ayant oubliés leurs lunettes
- Les enfants ayant une prise en charge (Psychomotricité, Orthophonie, Orthoptiste, Ergothérapeute)
- Les enfants ayant une Auxiliaire de Vie Scolaire
- Les enfants ayant un trouble de l'écriture (Objectivé par les scores du BHK)

Dominance latérale d'écriture et Sexe :

Le questionnaire rempli avec les enfants a permis de faire une répartition de l'ensemble des droitiers et gauchers de la population évaluée :

	Droitier	Gaucher	Total
Filles	41,2%	5,8%	47%
Garçons	43,5%	9,5%	53%
Total	84,7%	15,3%	100%

Tableau 1

Dans la population générale, on estime qu'il y a entre 10 et 15% de gauchers. D'après le tableau (1), On constate par conséquent que l'échantillon est représentatif de la population générale.

La répartition en fonction du sexe révèle un nombre quasi égal entre les filles et les garçons (47% de filles et 53% de garçons). L'étalonnage du BHK met en évidence une différence significative entre les filles et les garçons pour la qualité et la vitesse d'écriture. Par conséquent, dans l'interprétation des résultats, il faut séparer les groupes par sexe. Il est donc intéressant d'avoir une répartition équivalente de l'échantillon afin de pouvoir faire une analyse par sexe

si comme pour le BHK, les caractéristiques motrices se révèlent significativement différentes entre filles et garçons.

Statut socio-professionnel :

Sur la feuille d'autorisation parentale, je demandais aux parents de préciser leur profession. En comptabilisant les données et en les comparant avec les données de l'INSEE (2010), cela a permis de savoir si la population étudiée était représentative de la population générale. Le statut professionnel des parents a été analysé selon la nomenclature des Professions et Catégories Socioprofessionnelles de L'INSEE.

Catégories socio professionnelles	Normes INSEE (2010)	Echantillon
Agriculteur exploitant	1,8%	0%
Artisans, commerçants, chef d'entreprise	6,1%	7,3%
Cadres, professions intellectuelles supérieures	15,1%	19,4%
Professions intermédiaires (libéraux et fonctionnaires)	22,1%	20,9%
Employés	26,2%	12,1%
Ouvriers	19,3%	12,9%
Chômeurs et autres personnes sans emploi	9,4%	11,3%
Non renseigné	-	16,1%

Tableau 2

En comparant les pourcentages de mon échantillon à ceux de la population générale, je constate que les catégories cadres et professions intellectuelles supérieures et sans emploi sont davantage représentées tandis que les professions intermédiaires, les employés et les ouvriers le sont moins.

Tenue du stylo : (Observation lors de l'administration du BHK)

Type de prise	Nature de la prise	Nombre
Instable	Variable au cours du temps	4,9 %
Mature	Tripodique	53,2 %

Intermédiaire (Quadripodique)	Pouce engagé	14,5%
	Brisée de l'index/du majeur ou des deux	27,4%
Immature	En paume	0%
	En poing	

Tableau 3

D'après le tableau (3), on constate que pour cette classe (CE2) et pour cet échantillon, les enfants ont majoritairement une prise mature. Ce chiffre nuance les résultats de l'étude de Schneck et Henderson (1990, *in* Albaret *et al.*, 2013) qui trouvaient que 90% des enfants de plus de 7 ans avaient une prise mature. Néanmoins les chiffres retrouvés dans les différentes études dépendent de la définition que les auteurs donnent aux différentes prises. Il n'existe pas de consensus à ce sujet. Ce qui pourrait expliquer les variations.

Recherche de l'existence de douleurs : (Epaule, bras, avant-bras, poignet, ou doigts)

Dans le questionnaire, je demandais aux enfants s'ils avaient des douleurs lorsqu'ils écrivaient vite et/ou longtemps. Leurs réponses sont répertoriées dans le tableau suivant :

Vite		Longtemps	
Oui	Non	Oui	Non
17,7%	82,3%	56,5%	43,5%

Tableau 4

Le tableau (4) révèle que la vitesse d'écriture ne crée que très rarement des douleurs. Concernant la durée, un peu plus de la moitié des enfants disent avoir des douleurs quand ils écrivent longtemps. Ces chiffres ne sont qu'une indication car d'un enfant à un autre, l'impression subjective du temps varie et les seuils de sensation douloureux sont eux aussi différents.

II. INTERPRETATION DES DONNEES

Toutes les analyses statistiques qui suivent ont été réalisées avec le logiciel IBM SPSS (Statistical Package for the Social Sciences)

II.1. Sélection des données pertinentes

L'objectif était de sélectionner des critères susceptibles de discriminer les bons des mauvais scripteurs. Grâce aux recherches recensées dans le paragraphe « Critères actualisant une dysgraphie » de la partie théorique. J'ai retenu les critères suivants :

- L'instabilité, la variabilité
- Les discontinuités entre les lettres au sein des mots et entre les mots
- Le plus grand nombre de levers de crayon
- Des durées de levers de crayons plus importantes
- Des pics de vitesse et d'accélération plus nombreux
- Une quantité de pression plus importante.
- Une vitesse d'écriture plus lente en raison de temps en l'air plus long

La tablette graphique enregistre de nombreuses données. J'ai donc dû faire un tri afin de ne retenir que les données susceptibles de caractériser les troubles graphiques. C'est pourquoi j'ai fait le choix d'étudier les données suivantes : ces dernières peuvent se répartir en 4 catégories (Danna *et al.*, 2013) :

Les données quantitatives : le nombre de traits (ou d'unités), le nombre de levers total (Comprend les levers au sein des mots et les levers entre les mots)

Les données temporelles : la durée de production totale, la durée des traits, la durée des levers (En secondes)

Les données cinématiques : la vitesse moyenne, la vitesse des traits, la vitesse des levers, (En millimètres par seconde) et le bruit neuromoteur.

Une donnée dynamique (Les variables dynamiques résultent d'une analyse des forces générant le mouvement de l'écriture manuscrite) : La tablette graphique me permettait d'enregistrer la pression moyenne. Il faut être particulièrement vigilant quant à l'analyse de cette donnée car la pression dépend fortement de l'inclinaison du stylet par rapport à la surface d'écriture et du stylet lui-même. C'est pourquoi les comparaisons de pression entre les études devraient être faites avec prudence (Danna *et al.*, 2013).

Quelques précisions concernant le bruit : (Danna *et al.*, 2013)

Auparavant, la fluidité était obtenue en analysant les variations de vitesse surnuméraires. Ces variations de vitesse surnuméraires correspondent à des accélérations ou décélérations de l'outil scripteur supplémentaires qui sont causées par un manque de contrôle. Ces fluctuations sont calculées en additionnant le nombre de pics de vitesse ou le nombre d'inversions de la vitesse. Dans d'autres études, la fluidité était étudiée via l'accélération (On parlait alors de secousse). Le principal inconvénient de ces données renseignant sur la fluidité du geste produisant de l'écriture était qu'elles ne parvenaient pas à distinguer clairement les fluctuations de vitesse normales résultant de la courbure de la trajectoire, des fluctuations de vitesse anormales.

Afin de différencier les fluctuations normales des fluctuations anormales, Meulenbroek & Van Galen (1986), (*in* Danna *et al.*, 2013) ont suggéré de calculer une variable qu'il nomme le **bruit neuromoteur** qui correspond à la différence entre les fluctuations caractérisant le mouvement contrôlé et les fluctuations caractérisant le mouvement non contrôlé. Sans rentrer dans des considérations techniques, il faut savoir que cette variable permet de comptabiliser les pics de vitesses anormaux, c'est-à-dire ceux qui apparaissent lorsque le geste n'est pas fluide.

Dans leur étude, Danna *et al.*, 2013 ont montré que cette variable est la plus discriminatoire en termes d'évaluation de la fluidité du geste graphomoteur.

J'ai choisi d'utiliser cette variable dans mon étude car les auteurs ont émis l'hypothèse que la qualité de la trace écrite dépendrait également de la fluidité du mouvement. Néanmoins, contrairement à l'étude de Danna *et al.*, 2013 mes mesures n'ont pas été filtrées. Ce qui veut dire que le bruit neuromoteur a été enregistré pour toutes les fréquences de la tablette graphique. Ce qui les rend moins lisibles mais néanmoins interprétables et tout aussi intéressantes.

II.2. Répartition de la population en fonction des scores

Les conditions d'administration sont restées inchangées pour toutes les passations. Si ces conditions n'étaient pas respectées (Non-respect des consignes de l'enfant ou dysfonctionnement du matériel d'enregistrement), les sujets étaient retirés de l'étude.

Avant de réaliser le traitement statistique, il est important de s'assurer de la normalité de la distribution des mesures. Ce qui déterminera le type de traitement statistique à utiliser. (Si pour

les données sélectionnées, l'échantillon suit une loi normale, nous utiliserons des tests paramétriques. Sinon, nous utiliserons d'autres tests tels que « le test de Kruskal-Wallis ».)

Les données sont réputées suivre une loi normale si la probabilité (p) est supérieure à 0,05 (Seuil de référence).

II.2.1. Test de normalité de Shapiro-Wilk pour l'échantillon de filles

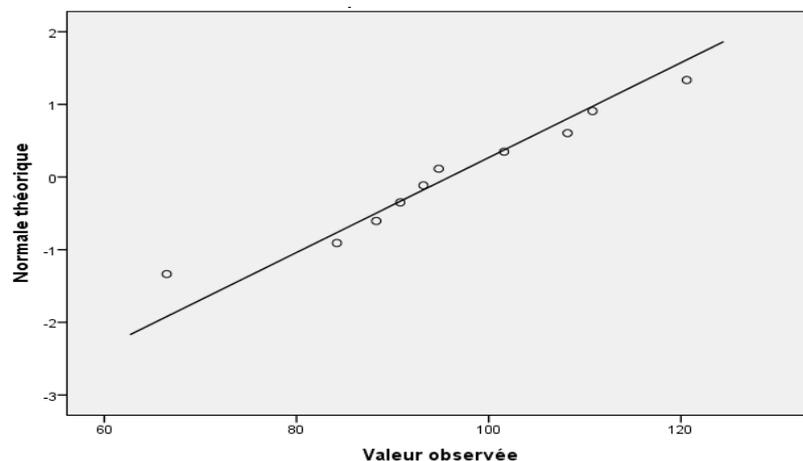
Cet échantillon comprend 10 filles de CE2 (N = 10). Les résultats du test de normalité sont les suivants :

Données testées	Signification (p)
Nombre de traits	,747
Nombre de levers	,613
Durée totale	,205
Durée des traits	,960
Durée des levers	,260
Vitesse moyenne	,276
Vitesse des traits	,764
Vitesse des levers	,095
Pression moyenne	,594
Bruit neuromoteur	,523

Tableau 5

D'après le tableau (5), on constate que pour toutes ces données l'échantillon suit une loi normale.

Illustration 1 : Normogramme de la durée des traits



Les différents points représentent les individus filles de mon échantillon, la droite ascendante représente la loi normale théorique. On constate que les sujets de l'échantillon se répartissent autour de la normale.

II.2.2. Test de normalité de Shapiro-Wilk pour l'échantillon de garçons

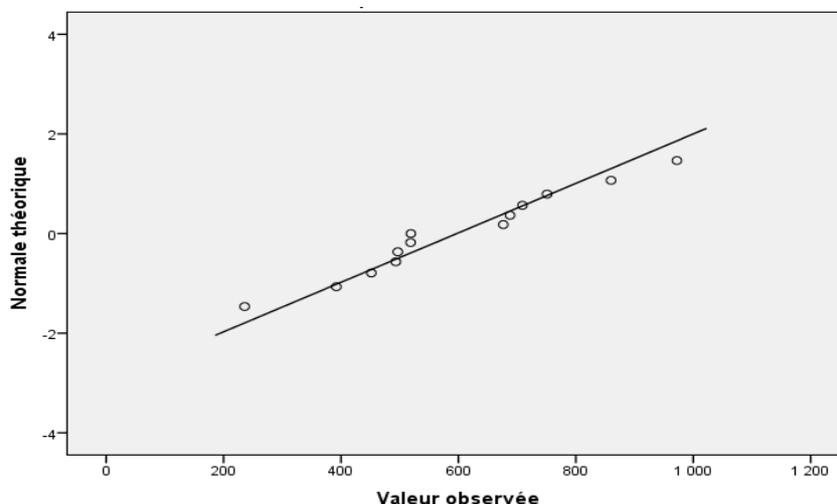
Cet échantillon comprend 13 garçons de CE2 (N = 13). Les résultats du test de normalité sont les suivants :

Données testées	Signification (p)
Nombre de traits	,403
Nombre de levers	,925
Durée totale	,637
Durée des traits	,700
Durée des levers	,902
Vitesse moyenne	,116
Vitesse des traits	,447
Vitesse des levers	,014
Pression moyenne	,930
Bruit neuromoteur	,128

Tableau 6

D'après le tableau (6), on constate que l'échantillon de garçons suit une loi normale. On remarque que pour la vitesse des levers ($p < 0,05$). Néanmoins, on peut considérer que globalement l'échantillon suit la loi normale.

Illustration 2 : Normogramme de la pression moyenne



Les différents points représentent les individus garçons de mon échantillon. On constate que les sujets se répartissent autour de la normale théorique.

II.3. Analyse de la variance en fonction du sexe

Pour cette analyse, l'échantillon comprend 10 garçons et 13 filles. (N = 23)

Remarque : Il est important de préciser que toutes les conclusions et interprétations faites dans ce mémoire ne concernent que l'échantillon réduit d'enfants scolarisés en CE2 étudiés. Toute généralisation à la population générale sera donc à nuancer.

Hypothèse : l'appartenance sexuelle a un effet significatif sur les caractéristiques motrices de l'écriture. En d'autres termes, filles et garçons ont des caractéristiques motrices d'écriture différentes.

L'analyse concerne l'intégralité des deux phrases. Pour cela, j'ai procédé à une segmentation¹ sur le logiciel « Ecriture Suite » avant la première lettre de la première phrase et après le point de la seconde phrase. J'ai également supprimé l'enregistrement du lever de crayon représentant le saut de ligne entre la 1^{ère} et la 2^{ème} phrase. Tout ceci dans le but de centrer mon analyse sur les phrases et non sur les éventuels levers de crayons ou traits avant et après l'enregistrement des deux phrases.

Les résultats du test de l'effet du sexe sur les caractéristiques motrices de l'écriture sont les suivants :

Données	F (Fisher)	Significativité (p)
Nombre de traits	0,08	,782
Nombre de levers	0,19	,669
Durée totale	0,03	,867
Durée des traits	0,31	,583
Durée des levers	0,11	,739
Vitesse moyenne	0,05	,831
Vitesse des traits	0,03	,858
Vitesse des levers	0,07	,797

¹ La segmentation est un procédé du logiciel « Ecriture Suite » permettant de couper la phrase ou les mots intéressant l'analyse que l'on souhaite faire.

Pression moyenne	0,04	,850
Bruit neuromoteur	3,11	,092

Tableau 7

Un résultat est dit statistiquement significatif lorsque $p < 0,05$ (seuil de référence). D'après le tableau (7), on constate donc que pour toutes ces données, il n'existe pas d'effet du facteur « sexe ». Ce qui signifie qu'il n'y aurait pas de différence sexuelle concernant les caractéristiques motrices de l'écriture pour les enfants ordinaires scolarisés en CE2.

Exemple pour le nombre de traits : $F(1,23) = 0,08$ (Avec $p = 0,782$)

Ce résultat est différent de ce à quoi on pourrait s'attendre. En effet, jusqu'à présent, l'ensemble des échelles et tests critériés existants font consensus : l'analyse de la trace à posteriori actualise une différence significative entre les filles et les garçons. Par exemple, pour le BHK, on retrouve un effet significatif du facteur sexe avec :

- Pour le score qualité : $F(1,827) = 17,13$ (Avec $p < 0,0001$)
- Pour le score fréquence d'inscription : $F(1,827) = 5,8$ (Avec $p < 0,05$). En moyenne, les filles ont une fréquence d'inscription plus importante que les garçons

De même, l'observation qualitative de l'écriture permet très souvent de distinguer une écriture de garçon, d'une écriture de fille. Ce qui voudrait dire que l'appartenance sexuelle aurait un effet sur le produit (la trace) mais pas sur le processus (les caractéristiques motrices).

En CE2 et pour l'échantillon d'enfants concernés par l'étude, l'appartenance sexuelle n'a pas d'effet sur les processus moteurs qui permettent la production d'écriture. Néanmoins, on peut se demander si la personnalisation de l'écriture qui a lieu dans les classes supérieures aurait un impact sur cette distinction (Garçons/filles).

Etant donné que les caractéristiques motrices de l'écriture ne sont pas significativement différentes entre filles et garçons, on peut regrouper l'échantillon ($N = 23$) pour calculer les moyennes et les écarts-type (Racine carrée de la variance) :

Données	Moyenne	Ecart-Type
Nombre de traits	77,9	14,3
Nombre de levers	77	14,3
Durée totale	179,8	40,7

Durée des traits	99,3	25,1
Durée des levers	80,4	22,8
Vitesse moyenne	9,3	2,4
Vitesse des traits	7,7	2,3
Vitesse des levers	11,4	3
Pression moyenne	603,8	183,2
Bruit neuromoteur	8853,8	2236,5

Tableau 8

Les valeurs indiquées dans le tableau (8) me permettront par la suite de comparer les caractéristiques motrices de cet échantillon de « normaux » à un individu dysgraphique.

II.4. Calcul du coefficient de corrélation entre les données informatisées et le BHK

Le coefficient de corrélation (r) rend compte de la relation entre des variables. Il est compris entre -1 et 1. Son interprétation est la suivante :

- Si r est proche de 0, il n'y a pas de relation linéaire
- Si r est proche de -1, il existe une forte relation linéaire négative
- Si r est proche de 1, il existe une forte relation linéaire positive

Remarque : On considère qu'à partir d'un coefficient de corrélation à $|0,6|$ les données sont corrélées (Seuil de référence).

L'échantillon d'enfants reste le même : $N = 23$

Données	r (BHK qualité)	r (BHK fréquence d'inscription)
Nombre de traits	-0,01	-0,39
Nombre de levers	-0,01	-0,3
Durée totale	-0,1	-0,62
Durée des traits	-0,01	-0,75
Durée des levers	-0,17	-0,29
Vitesse moyenne	0,05	-0,78
Vitesse des traits	-0,1	0,74
Vitesse des levers	0,24	0,56

Pression moyenne	0,12	-0,22
Bruit neuromoteur	-0,13	-0,37

Tableau 9

D'après le tableau (9), on remarque qu'aucune corrélation n'est retrouvée entre le score qualité du BHK et les caractéristiques motrices de l'écriture. Trois hypothèses pourraient expliquer cette absence de corrélation :

- Une différence de mesure : L'absence de corrélation pourrait s'expliquer par le fait que le BHK et la tablette graphique ne mesurent pas la même chose. En effet, le BHK s'intéresse à l'aspect qualitatif de l'écriture (taille, forme, organisation dans l'espace...) alors que la tablette graphique quantifie l'activité motrice qui sous-tend la production d'écriture.
- La population cible : le fait qu'il s'agisse de l'étude d'une population d'enfants ordinaires, c'est-à-dire, ne présentant pas de trouble de l'écriture pourrait expliquer cette absence de corrélation. En effet, le BHK est un test de dépistage rapide des troubles de l'écriture. Il n'a donc pas vocation à analyser l'écriture dite « normale ».
- Mojet (1991, in Charles et al., 2003) répertorie quatre profils de scripteurs :

Type A : Rapide/Performant	Type B : Lent/Performant
Type C : Rapide/Imprécis	Type C : Lent/Imprécis

Tableau 10

D'après le tableau (10), on note que deux profils (Type A et B) parviennent à un même produit de sortie : une écriture performante. Ici, l'analyse concerne des enfants ordinaires. Leur écriture est donc performante. Les critères du score qualité du BHK ne les différencient pas les uns des autres. Par opposition, on peut supposer que la tablette distingue les types A et B. Ce qui pourrait expliquer l'absence de corrélation.

Concernant le score « fréquence d'inscription » du BHK, on relève une corrélation attendue avec les données temporelles et cinématiques. En effet, la fréquence d'inscription est calculée en comptant le nombre de lettres inscrites en 5 minutes ce qu'on pourrait assimiler à la vitesse qui est un rapport de distance sur le temps.

II.5. Analyse de l'effet de répétition du mot « photos »

II.5.1. Choix du mot « photos »

Le mot « photos » n'a pas été choisi par hasard, mais parce qu'il présente des particularités pouvant se révéler intéressantes dans l'analyse des caractéristiques motrices de l'écriture.

J'ai d'abord cherché un mot simple ne posant pas de problème de compréhension pour les enfants de CE2. Le mot « photos » ne présente aucune ambiguïté, c'est pourquoi je l'ai retenu. Néanmoins, la pratique m'a montré que bien qu'il s'agisse d'un mot fréquemment employé dans le langage commun, l'orthographe du mot a parfois posé problème. Certains enfants substituant le « ph » par un « f » ou omettant le « s » terminal, le mot étant au pluriel. Cela dit, comme le disait Kapista (1980, *in* Danna, 2011) « la théorie est une bonne chose mais rien ne vaut une bonne expérience ».

Par ailleurs, j'ai décidé de choisir un mot présentant à la fois des lettres troncs et des lettres non troncs. Le mot « photos » présente 3 lettres troncs à savoir une répétition du « o » et un « s », ainsi que 3 lettres non troncs à savoir le « p », le « h » et le « t ». Ce mot a l'avantage de contenir des lettres non troncs qui montent (le « h » et le « t ») et qui descendent (le « p »). De même, j'ai souhaité que le mot écrit en lettres cursives, contienne au moins une lettre non tronc avec une boucle. Le mot « photos » répond à cette exigence avec la boucle du « h ».

II.5.2. Mesure de l'effet de répétition

Pour faire cette analyse, j'ai segmenté isolément les mots « photos » (Via le logiciel « Ecriture Suite ») de la première et de la deuxième phrase puis j'ai recueilli les caractéristiques motrices de l'écriture pour chacun d'eux.

J'émetts deux hypothèses quant à l'effet de répétition du mot « photos » :

- L'effet de répétition tend à l'amélioration des caractéristiques motrices de l'écriture
- La répétition d'un même mot démontre la stabilité des caractéristiques motrices

L'échantillon comprend :

Sexe	N
Filles	22
Garçons	16
Total	38

Tableau 11

Cet échantillon est plus conséquent que pour la phrase complète car les dysfonctionnements informatiques de type « rupture d'enregistrement » n'ont pas nécessairement affectés les mots « photos » c'est pourquoi j'ai pu récupérer davantage de segmentations concernant ces mots.

Plusieurs individus ayant été rajoutés à l'étude, j'ai décidé de tester de nouveau l'effet du sexe sur les caractéristiques motrices de l'écriture. Les résultats restent les mêmes : il n'y a pas de différence sexuelle significative.

J'ai ensuite procédé à l'analyse de l'effet de répétition :

Données répétées	F (Fisher)	Significativité (p)
Nombre de traits	0,01	,926
Nombre de levers	0,02	,903
Durée totale	1,59	,216
Durée des traits	2,10	,156
Durée des levers	0,01	,934
Vitesse moyenne	3,26	,079
Vitesse des traits	4,84	,034
Vitesse des levers	0,06	,805
Pression moyenne	0,83	,370
Bruit neuromoteur	9,27	,004

Tableau 12

Un résultat est dit statistiquement significatif lorsque $p < 0,05$ (seuil de référence). D'après le tableau (12), on remarque que pour de nombreuses caractéristiques motrices de l'écriture, les enfants scolarisés en CE2 sont stables concernant la répétition du mot « photos ». En effet, pour un grand nombre de données répétées, l'effet de répétition n'est pas significatif. Ce qui

confirmerait la première partie de mon hypothèse de départ : la répétition démontre la stabilité des caractéristiques motrices de l'écriture.

En revanche, on relève que la répétition a un effet significatif sur la vitesse des traits et le bruit neuromoteur.

- Vitesse des traits : $F(1,38) = 4,84$ (avec $p = 0,034$)
- Bruit neuromoteur : $F(1,38) = 9,27$ (avec $p = 0,004$)

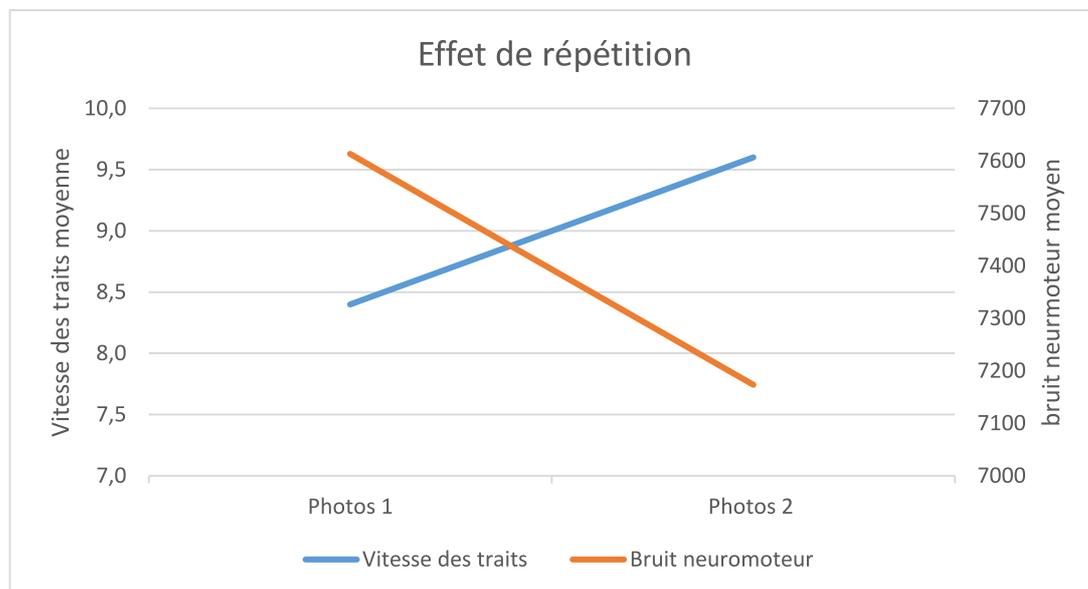
On se demande si cette différence va dans le sens d'une amélioration. Pour vérifier, on regarde les moyennes concernant ces deux données pour les mots « photos » 1 et 2 :

	Moyenne
Vitesse des traits 1	8,4
Vitesse des traits 2	9,6

Tableau 13

	Moyenne
Bruit neuromoteur 1	7613,2
Bruit neuromoteur 2	7173,1

Tableau 14



Graphique 1

Le tableau (13) révèle que la vitesse des traits 1 est inférieure à la vitesse des traits 2. Le tableau (14) révèle que le bruit neuromoteur 1 est supérieur au bruit neuromoteur 2. Alors que la vitesse augmente, le bruit neuromoteur décroît. Ces valeurs montrent donc que la différence

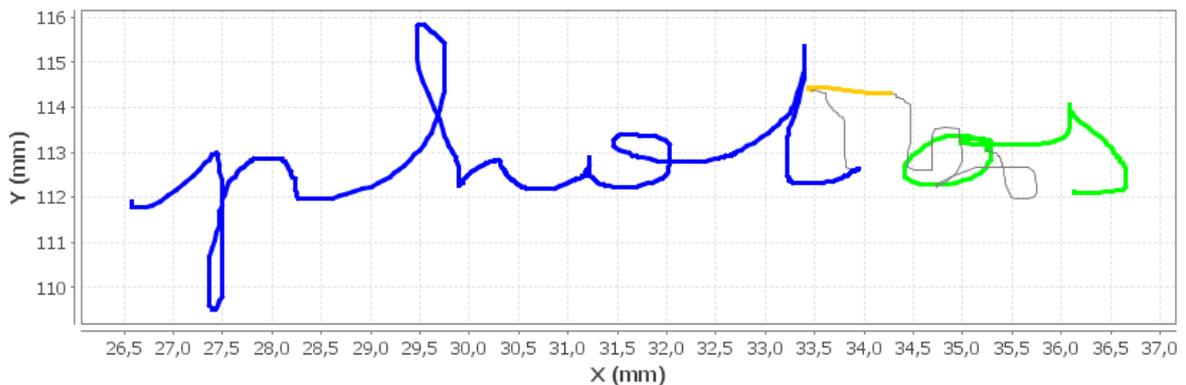
va dans le sens d'une amélioration de l'écriture. Ce qui confirmerait la seconde partie de mon hypothèse de départ.

Le graphique (1) illustre ces explications et peut se traduire de la façon suivante : la répétition du mot « photos » permettrait aux enfants d'augmenter significativement leur vitesse sur le papier tout en contrôlant davantage leur geste. La diminution significative du bruit neuromoteur démontrerait que les enfants auraient un geste graphomoteur plus fluide. Il y aurait un effet de succession. L'enfant ordinaire mémoriserait la programmation du mot au cours de la production d'écriture permettant l'amélioration de ses caractéristiques motrices.

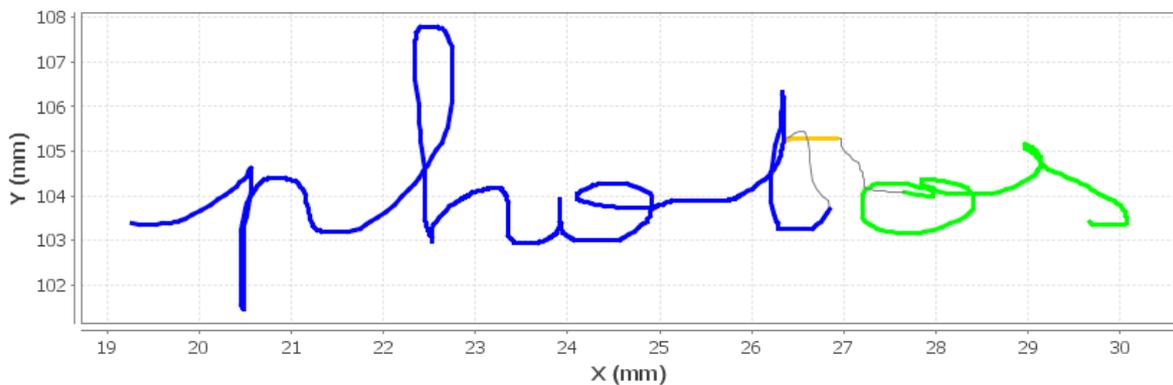
II.5.3 Profils des mots « photos » pour un individu extrait du groupe témoin

J'ai choisi un individu qui, d'après mon analyse, représentait au mieux l'échantillon d'enfants ordinaires scolarisés en CE2.

Enregistrements des mots « photos » :



Enregistrement du 1^{er} mot « Photos »



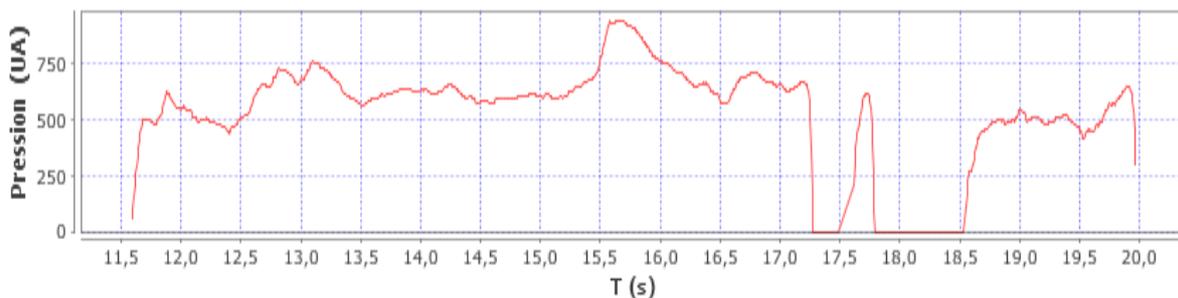
Enregistrement du 2nd mot « Photos »

Ces enregistrements donnent plusieurs types d'informations :

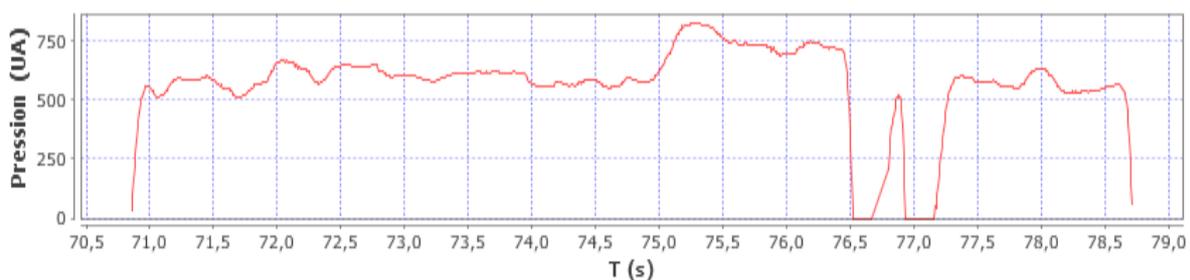
- Le nombre d'unités au nombre de 3 est équivalent entre le premier et le second mot « photos ». Il y a donc eu 2 levers de crayon pour chacun des mots.
- La longueur (x) des deux mots est identique et est environ égale à 11 mm.
- La hauteur (y) des lettres « p » et « t » des deux mots est analogue et est environ égale à 3 mm. De même, la hauteur de la lettre « h » des deux mots est semblable et est environ égale à 4.5 mm. La hauteur du « h » est légèrement supérieure à celle du « p » et du « t ». Cette différence est conforme à ce qui est enseigné lors de l'apprentissage de la formation des lettres.
- La hauteur (y) des lettres troncs est la même entre les deux mots et est environ égale à 2 mm.

Ces enregistrements rendent compte d'une extrême constance de l'écriture concernant le nombre d'unités, la longueur du mot et la hauteur des lettres. L'homothétie spatiale est respectée. Ce qui signifierait qu'en CE2 les enfants ordinaires ont d'ores et déjà acquis une certaine stabilité dans leur écriture.

Variation de la pression du stylet au cours du temps :



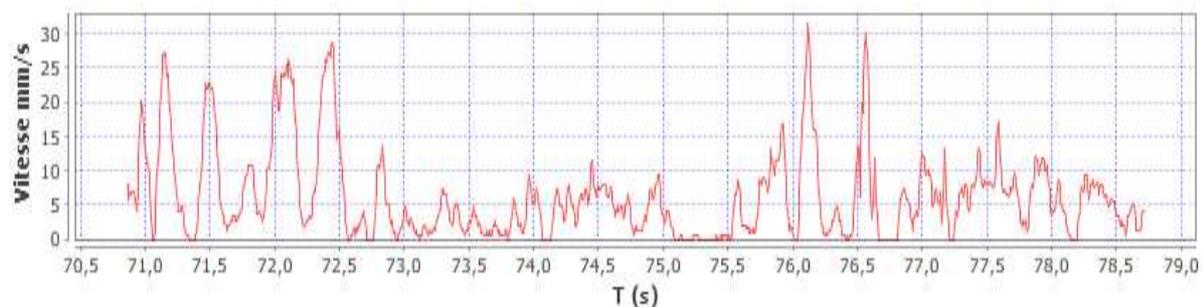
Graphique représentant les variations de la pression du 1^{er} mot « photos »



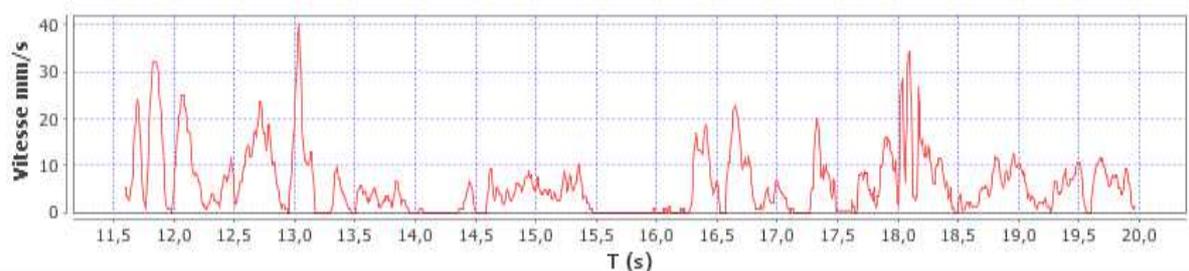
Graphique représentant les variations de la pression du 2nd mot « photos »

On remarque dans un premier temps que ces deux graphiques sont sensiblement superposables. Ce qui signifie que les variations de pression sont identiques à l'écriture d'un même mot. Ensuite, on observe que le temps passé à écrire « photos » est équivalent entre le 1^{er} et le 2nd mot et est environ égal à 8 secondes. Par ailleurs, on remarque pour les deux mots que la pression s'annule à deux reprises ce qui s'explique par les deux levers de crayon enregistrés.

Variation de la vitesse au cours du temps :



Graphique représentant les variations de la vitesse du 1^{er} mot « photos »



Graphique représentant les variations de la vitesse du 2nd mot « photos »

Cliniquement, on s'aperçoit que les graphiques sont sensiblement les mêmes. On distingue bien les différents segments du mot « photos » : le « ph », le « o », le « t » puis le « os ». J'appelle « pics de vitesse » toutes les variations de vitesse qui dépassent 20 mm/s. Ces variations concernent les lettres non troncs. Les enfants ordinaires scolarisés en CE2 respectent le principe de l'isochronie : Quand il y a augmentation de la taille des lettres, il y a augmentation de la vitesse d'écriture (Zesiger, 1995). C'est-à-dire que pour garder une vitesse de progression constante, l'individu trace les lettres non troncs plus rapidement. D'où l'existence de ces pics de vitesse. Je comptabilise 8 pics de vitesse pour le premier et le second graphique. De même, l'homothétie temporelle est respectée. La vitesse maximale est de 35 mm/s pour le 1^{er} mot « photos » et de 40 mm/s pour le second mot « photos ». Ce qui démontrerait une nouvelle fois la stabilité de l'écriture des enfants de CE2.

Synthèse concernant les profils des mots « photos » d'un individu non dysgraphique :

Il semblerait qu'un enfant non dysgraphique en classe de CE2 soit en mesure de respecter les invariants spatiaux et temporels présentés dans la partie théorique (*Cf. I.1.2 Invariants*).

III. POUR ALLER PLUS LOIN : Comparaison d'un sujet présentant un trouble de l'écriture à l'échantillon d'enfants ordinaires

Tous les résultats présentés dans cette partie ont été obtenus via le logiciel de traitement statistique SPSS. J'ai par ailleurs utilisé le programme Singlims pour comparer les valeurs d'un individu aux moyennes obtenues pour ces mêmes valeurs par mon échantillon. Ce test statistique développé par l'équipe du Professeur John Crawford permet la comparaison entre les valeurs isolées d'un individu et celles moyennes d'un groupe témoin, Crawford et Garthwaite (2002, 2007 *in* Jolly, Huron, Albaret & Gentaz 2010).

Je précise également que les conditions de passation de l'épreuve restent inchangées. Comme pour mon groupe témoin, j'ai d'abord rempli le questionnaire avec l'enfant. Ensuite, j'ai administré un BHK puis j'ai procédé à l'enregistrement des deux phrases via la tablette graphique.

III.1. Comparaison des caractéristiques motrices de l'écriture entre un individu dysgraphique et mon groupe témoin

Dans cette partie, je vais présenter les résultats obtenus par un enfant dysgraphique. Puis je les comparerai aux résultats que j'ai obtenu pour mon groupe d'enfants ordinaires.

J'ai rencontré David dans un cadre libéral le 5 février [REDACTED]. Notre entrevue s'est déroulée en 3 étapes :

Etape 1 : Le questionnaire

David est un jeune garçon scolarisé en [REDACTED] n'a jamais redoublé. Il écrit avec la main droite avec une prise tripodique mature. Il est suivi en psychomotricité et en orthophonie depuis le CP (Je ne connais pas les raisons de ces suivis car je n'ai pas eu accès au dossier médical). Il ne porte pas de lunettes et n'a pas d'Auxiliaire de Vie Scolaire. Ces parents travaillent tous les deux dans la recherche. Quand on lui demande s'il aime écrire il répond qu'il déteste écrire, que c'est dur et que ça l'énerve. Quand on lui demande s'il a des douleurs quand il écrit, il répond : « Des fois, quand j'écris des textes longs ou quand j'écris vite ».

Etape 2 : Le BHK

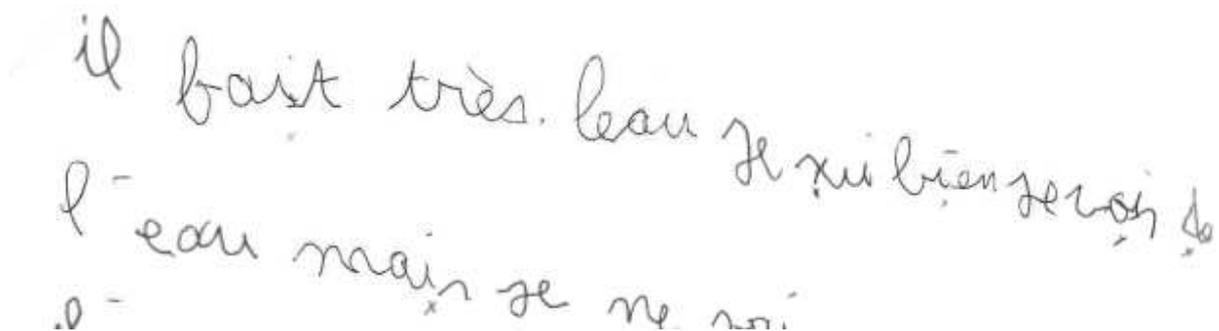


Image partielle du BHK de David

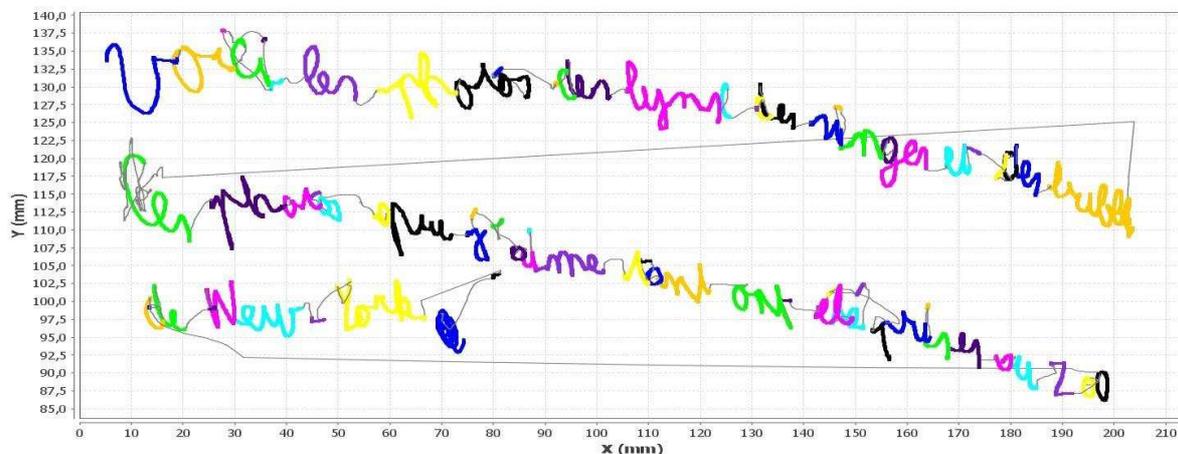
Score qualité	26 points soit +3.1 DS de dégradation
Score fréquence d'inscription	130 lettres/5 minutes soit -0.9 DS

Tableau 15

David ne respecte pas la consigne du passage à la ligne, il enchaîne les phrases les unes après les autres. Son score de qualité d'écriture est déficitaire. Ce qui corrobore les observations faites à l'école. D'où le diagnostic de dysgraphie. La fréquence d'inscription est conforme.

Etape 3 : La tablette graphique

Comme je l'ai précisé précédemment, David est un enfant qui n'aime pas écrire. Néanmoins, j'ai noté que l'aspect informatisé de la tablette graphique prenait un caractère ludique et David en a presque oublié son aversion pour l'écriture. Ce qui m'amène à penser que la tablette graphique pourrait se révéler être un bon moyen pour travailler l'écriture en rééducation.



Enregistrement des deux phrases sur le logiciel « Ecriture Suite » (David)

Après l'enregistrement, j'ai segmenté les phrases en supprimant les levers de crayon et les tracés avant et après l'enregistrement des deux phrases via le logiciel « Ecriture Suite » puis j'ai recueilli les valeurs des caractéristiques motrices :

L'échantillon de normaux comprend 23 enfants (N = 23)

Données	Moyenne groupe	Ecart-Type groupe	Scores bruts David	Déviatiion Standard David
Nombre de traits	77,9	14,3	102	+1,7
Nombre de levers	77	14,3	100	+1,6
Durée totale	179,8	40,7	150,8	-0,7
Durée des traits	99,3	25,1	121,2	+0,8
Durée des levers	80,4	22,8	29,6	-2,2
Vitesse moyenne	9,3	2,4	13,3	+1,7
Vitesse des traits	7,7	2,3	9,6	+0,8
Vitesse des levers	11,4	3	28,8	+5,8
Pression moyenne	603,8	183,2	586,3	-0,1
Bruit neuromoteur	8853,8	2236,5	12892	+1,8

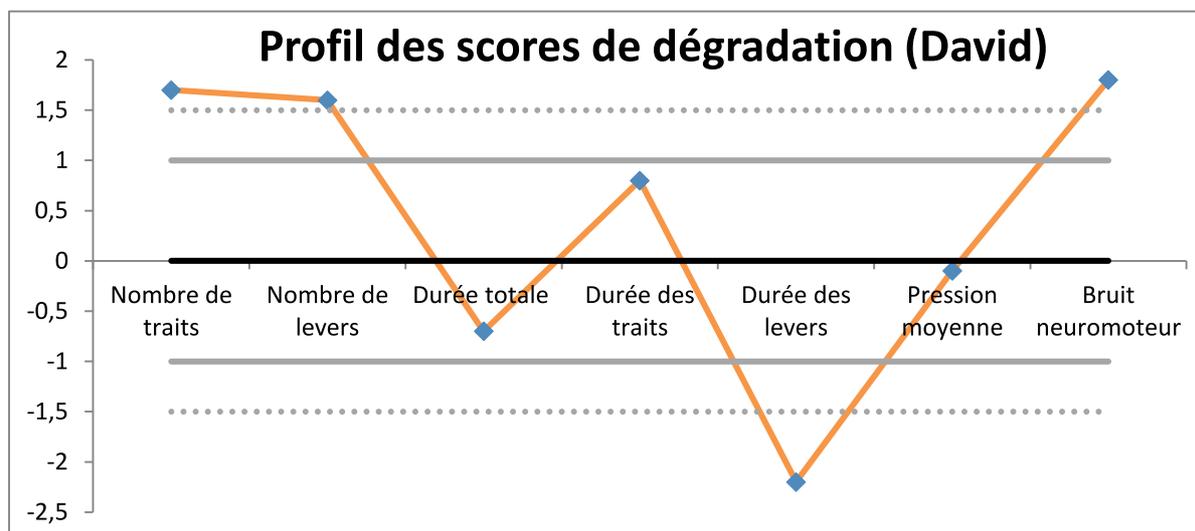
Tableau 16

Afin de pouvoir interpréter clairement les résultats, je décide de placer le seuil à $|1.5|$ déviation standard (DS). Par ailleurs, je précise les informations dans le tableau ci-après : (Ces informations sont données à titre indicatif à partir des données de l'échantillon. Une validité pathologique sera nécessaire pour les confirmer ou les infirmer).

	Nombre de traits	Nombre de levers	Durée totale	Durée des traits	Durée des levers	Vitesse moyenne	Vitesse des traits	Vitesse des levers	Pression moyenne	Bruit
Scores de dégradation ²	X	X	X	X	X				X	X
Scores performance ³						X	X	X		

Tableau 17

Les tableaux (16) et (17) me permettent de créer les profils de David : (D'après le seuil que j'ai fixé, tous les scores situés entre les deux lignes de pointillés sont normaux.)



Graphique 2

Remarque : Je tiens à souligner que toutes les interprétations et conclusions faites dans cette partie sont à nuancer pour deux raisons : d'abord parce que mon échantillon de sujets contrôles ne comprend qu'un nombre réduit d'enfants (N=23). Ensuite parce qu'il ne s'agit que d'une comparaison d'un individu à un groupe témoin. Ce sujet n'est probablement pas représentatif de l'ensemble des enfants présentant un trouble de l'écriture du fait de l'hétérogénéité de la dysgraphie. J'appellerai « norme » l'ensemble des 23 enfants constituant mon échantillon.

² Plus ce score est haut et moins la performance est bonne.

³ Plus ce score est haut et plus la performance est bonne.

Comme indiqué dans le tableau (17), les résultats représentés sur le graphique (2) sont des scores de dégradation. Tous ces renseignements me permettent de faire les remarques suivantes :

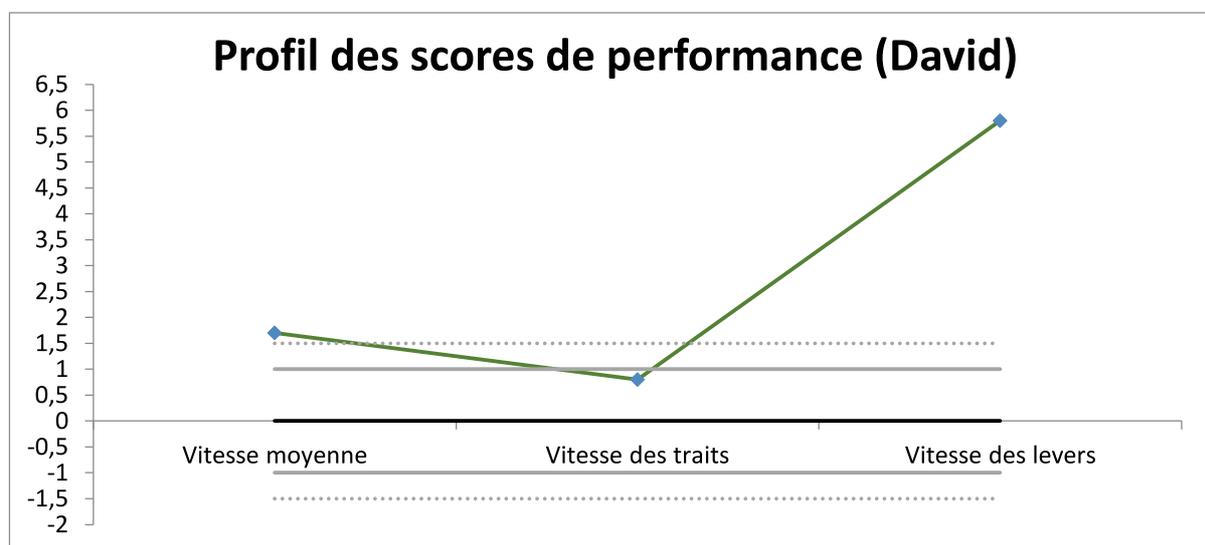
Je constate d'abord, que le nombre de traits et le nombre de levers de crayon sont significativement supérieurs à la norme. S'agissant de scores de dégradation, ils objectivent un décalage avec les enfants ordinaires scolarisés en CE2. Le temps de production quant à lui est normal : la durée totale et la durée des traits sont dans la norme. Je note néanmoins une particularité concernant les levers de crayons : Alors que leur nombre est significativement supérieur, j'observe que leur durée est significativement inférieure à la durée des levers moyenne de mon échantillon (-2,2 DS). David lève davantage son stylet mais passe en moyenne moins de temps « en l'air » et ses micromouvements sont plus rapides. D'après ces informations, on peut faire l'hypothèse que les levers de crayon chez les enfants présentant ce type de dysgraphie n'auraient pas de fonction d'anticipation, de préparation et de contrôle de l'écriture qui suit.

Hulstijn et Van Galen (1983), ont travaillé sur le temps de réaction (TR) et le temps moteur (TM) d'écriture chez l'enfant ordinaire. Ils ont trouvé que plus le mot est long et plus le temps de réaction augmente. Cette affirmation est valable pour les mots comprenant 5 lettres maximum. Au-delà de 5 lettres, la mémoire de travail sature, le TR diminue. Dès que le mot est long ou compliqué, l'enfant programme les 3-4 premières lettres puis travaille en parallèle. Chez David, il semblerait que cette règle s'applique à tout le texte, il ne serait pas capable de travailler en parallèle. Ce qui expliquerait les scores obtenus pour le nombre et le temps moyen de levers de crayon : il lève davantage son stylet et passe en moyenne moins de temps en « l'air ». Il présenterait donc un retard de stratégie de production. On peut supposer que ce séquençage empêche la lecture des mots et perturbe leur compréhension. C'est pourquoi, pour ce type d'enfant, il faudra être vigilant au type de rééducation en veillant particulièrement à la complexité des mots proposés. Je suppose que les deux phrases proposées étaient trop compliquées.

Ensuite, je remarque que le bruit neuromoteur de David est significativement supérieur au bruit neuromoteur de mon échantillon (+1,8 DS), ce qui signifie qu'il présente davantage de pics de vitesse anormaux. Cette donnée est particulièrement intéressante car elle objectiverait un défaut de fluidité du geste graphomoteur chez les enfants présentant ce type de dysgraphie. Dans leur étude, Danna *et al.*, 2013 ont montré que le bruit neuromoteur est le plus discriminatoire en termes d'évaluation de la fluidité du geste graphomoteur. Ces auteurs ont émis l'hypothèse que

la qualité de l'écriture dépendrait en partie de la fluidité du mouvement. Dans mon exemple cette hypothèse se confirmerait puisque le BHK renseigne d'un déficit de qualité d'écriture à +3,1 DS de dégradation. Tandis que la tablette indique un bruit neuromoteur a +1,8 DS de dégradation.

Enfin, je remarque que la pression qu'exerce David sur le stylet correspond à la norme de mon échantillon. Il semblerait que sa dysgraphie n'ait pas d'impact sur cette variable. Cet exemple ne montre pas de lien entre pression du stylo et ce type de trouble de l'écriture. Comme je l'ai précisé dans la partie théorique les études concernant la pression de l'outil scripteur trouvent des résultats contradictoires : Certains disent que la variabilité de pression du crayon n'est pas un critère de faible écriture (Wann & Nimmo-Smith, 1991 ; Kao, Shek & Lee, 1983). Dans mon exemple, on ne peut pas conclure quant à cette affirmation car la pression enregistrée est une valeur moyenne. Concernant la quantité de pression, seule une étude chez des enfants TAC démontre que la quantité de pression du crayon est 2,6 fois supérieure chez les enfants dysgraphiques par rapport à un groupe contrôle. La comorbidité TAC pourrait peut-être expliquer ce résultat. L'interprétation de la pression du crayon est à prendre avec des pincettes car de nombreux facteurs entrent en jeu dont le crayon utilisé, le support d'écriture, les comorbidités...



Graphique 3

Les résultats présentés sur le graphique (3) étant des scores de performance, je constate que David ne présente pas de déficit de vitesse d'écriture. Il présente une vitesse des traits conforme

(+0,8 DS) et une vitesse de levers nettement supérieure à la norme (+5,8 DS). Ces informations expliqueraient le score de vitesse moyenne qui est légèrement supérieur à la norme. (+1,7 DS).

Pour rappel, le BHK rend compte d'une fréquence d'inscription conforme à savoir 130 lettres/5minutes soit -0,9 DS. Elle est calculée en fonction du nombre de lettres inscrites par l'enfant pendant 5 minutes. Ce score pourrait être à mettre en relation avec le score de vitesse des traits obtenu par l'enregistrement de la tablette qui est lui aussi normal (+0,8 DS). En effet, cette variable s'intéresse à la vitesse du crayon sur le papier en prenant en compte la distance parcourue et le temps passé à écrire. Par analogie le score de fréquence d'inscription indique un nombre de lettres écrites en un temps donné (Le nombre de lettres écrites pourrait être assimilé à la distance parcourue). D'après les données informatisées, on s'aperçoit que le score de fréquence d'inscription du BHK donne des informations intéressantes mais à priori incomplètes. En effet, la tablette graphique renseigne sur la vitesse des levers ainsi que sur la vitesse moyenne et ces deux variables sembleraient être significatives dans la distinction entre bons et mauvais scripteurs dans le cadre de cet exemple. Il est donc primordial de différencier vitesse et fréquence d'inscription.

De nombreux auteurs ne distinguent pas fréquence d'inscription et vitesse d'écriture et ne trouvent pas de corrélation significative avec la qualité d'écriture. Ce qui signifierait qu'il n'y aurait pas d'écart significatif de vitesse d'écriture entre faibles et bons scripteurs. (Mojet, 1991 ; Graham, Weintraub & Berninger, 1998 ; Karlsdottir & Stefansson, 2002). Dans mon exemple, le BHK de David confirme cette hypothèse. Il présente une fréquence d'inscription dans la norme de sa classe (CE2). Néanmoins, la tablette graphique donne davantage d'informations et nuance ce propos.

Mise en relation des scores Performance/Dégradation :

Concernant les levers de crayon : Alors que leur nombre est significativement supérieur, j'observe que leur durée est significativement inférieure à la durée des levers moyenne de mon échantillon (-2,2 DS). Ce qui expliquerait le score de vitesse des levers qui est nettement supérieur à la norme (+5,8 DS). David présenterait le profil (C) de la classification de Mojet (1991, *in* Charles *et al.*, 2003). Ce type comprend les scripteurs rapides avec de mauvaises capacités d'exécution dans la formation des lettres. L'écriture est grande, irrégulière. Le rythme de production est régulier. Il y a un manque de contrôle.

Synthèse concernant les caractéristiques motrices de David :

L'objectif central de mon étude était de sélectionner des critères dynamiques et cinématiques actualisant la dysgraphie. Via l'étude de l'écriture de David, j'ai cherché à vérifier si les critères que j'avais sélectionnés et analysés chez les enfants normaux étaient significativement différents. Je les ai donc repris un à un :

- L'instabilité, la variabilité : l'analyse de la phrase entière ne permet pas de tirer de conclusion quant à ce critère. L'étude de l'effet de répétition du mot « photos » pourra peut-être apporter davantage d'informations à ce propos.
- Les discontinuités entre les lettres au sein des mots et le plus grand nombre de levers de crayon : ce critère est vérifié dans le cadre de mon exemple.
- Des durées de levers de crayon plus importantes : Mon exemple présente le contraire. David a des durées de levers de crayon significativement inférieures à ma norme de CE2. Ce qui pourrait s'expliquer par le fait qu'il se situe dans la catégorie (C) de la classification de Mojet (1991) : Ecriture rapide mais imprécise.
- Des pics de vitesse et d'accélération plus nombreux : Ce critère est vérifié dans mon exemple puisque David présente un bruit neuromoteur significativement supérieur au groupe témoin.
- Une quantité de pression plus importante : Cette affirmation n'est pas vérifiée dans mon exemple.
- Une vitesse d'écriture plus lente en raison de temps en l'air plus long : Ce critère n'est pas objectivé par mon exemple et aurait même tendance à être contredit toujours en raison de son profil d'écriture rapide mais imprécise.

Cette conclusion amène à se poser de nombreuses questions. Elle rend intéressante l'utilisation des digitaliseurs dans l'analyse de l'écriture chez les enfants présentant un trouble de l'écriture car ils apportent des informations avec une précision supérieure. Par ailleurs, le fait que certains critères ne soient pas vérifiés ou contredits démontrerait l'hétérogénéité de la dysgraphie. Ce qui m'amène à supposer que selon l'étiologie de la dysgraphie et ses comorbidités, les caractéristiques motrices ne seraient pas affectées de la même manière. De ce fait, la rééducation ne serait pas non plus la même.

III.2. Analyse de l'effet de répétition du mot « photos » chez un individu présentant un trouble de l'écriture

Les scores bruts des mots « photos » écrits par David sont les suivants :

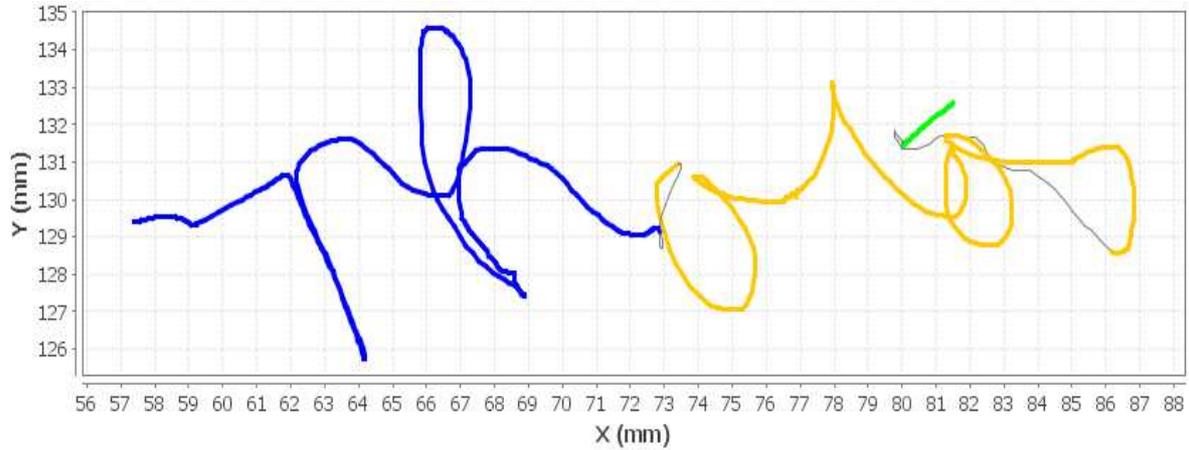
Données répétées	Scores bruts « photos 1 »	Scores bruts « photos 2 »
Nombre de traits	3	4
Nombre de levers	2	3
Durée totale	7,3	7,6
Durée des traits	6,6	6,9
Durée des levers	0,7	0,6
Vitesse moyenne	13,8	11,2
Vitesse des traits	13,5	11,1
Vitesse des levers	16,7	13,2
Pression moyenne	640,6	690,5
Bruit neuromoteur	7868	7917

Tableau 18

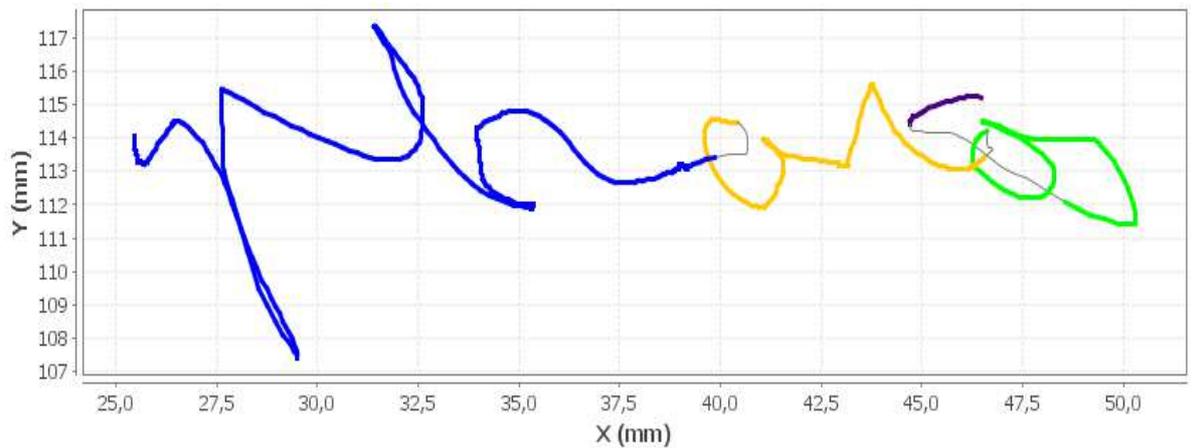
Mon étude ne comprenant qu'un sujet dysgraphique, je ne peux pas réaliser l'analyse statistique de l'effet de répétition. Je décide donc de décrire les scores bruts. Dans l'ensemble, on ne remarque pas d'écart notable entre les scores bruts du 1^{er} et du 2nd mot « photos ». David semble présenter des caractéristiques motrices stables concernant la répétition du mot « photos ». Si on s'intéresse aux données ayant un effet significatif chez les enfants ordinaires de mon échantillon (à savoir la vitesse des traits et le bruit neuromoteur), on s'aperçoit que la vitesse des traits a tendance à diminuer tandis que le bruit neuromoteur augmente : David écrit moins vite et a de plus en plus de pics de vitesse surnuméraires. L'effet de répétition ne tend pas à l'amélioration des caractéristiques motrices contrairement aux enfants contrôles. Ce constat pourrait en partie s'expliquer par la fatigabilité et justifierait la dégradation progressive de l'écriture du fait de la diminution régulière de la fluidité du geste graphomoteur chez les enfants présentant ce type de dysgraphie.

III.2.1. Profils des mots « photos » pour l'individu dysgraphique (David)

Enregistrements des mots « photos » :



Enregistrement du 1^{er} mot « Photos »



Enregistrement du 2nd mot « Photos »

Si on compare ces deux enregistrements on s'aperçoit que :

- Le nombre d'unités est différent entre les deux mots : il est de 3 pour le premier mot « photos » contre 4 pour le second. Il y a donc eu 2 levés de crayon dans le 1^{er} mot et 3 dans le 2nd.
- La longueur (x) diffère également. Elle est d'environ 30 mm pour le 1^{er} mot contre 25 mm pour le 2nd.
- La hauteur (y) des lettres non troncs « p » « t » et « h » des deux mots est inégale au sein des mots et entre les mots.

Hauteur des lettres du 1^{er} mot « photos »

Lettres	Hauteur (En mm)
« p »	6
« t »	4
« h »	8

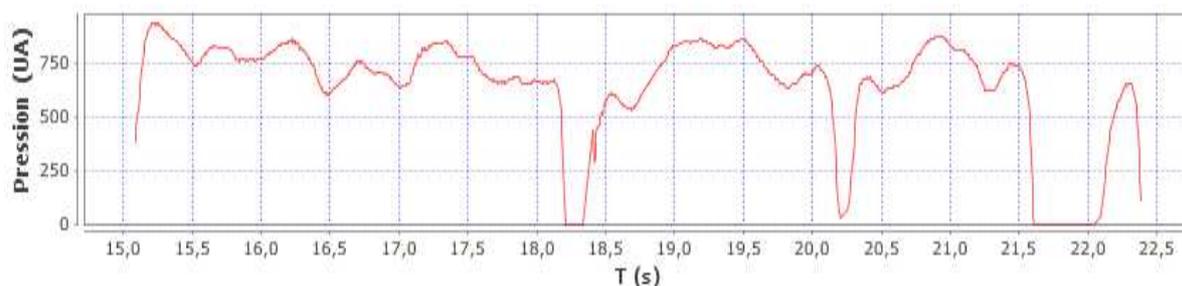
Hauteur des lettres du 2nd mot « photos »

Lettres	Hauteur (En mm)
« p »	9
« t »	3
« h »	6

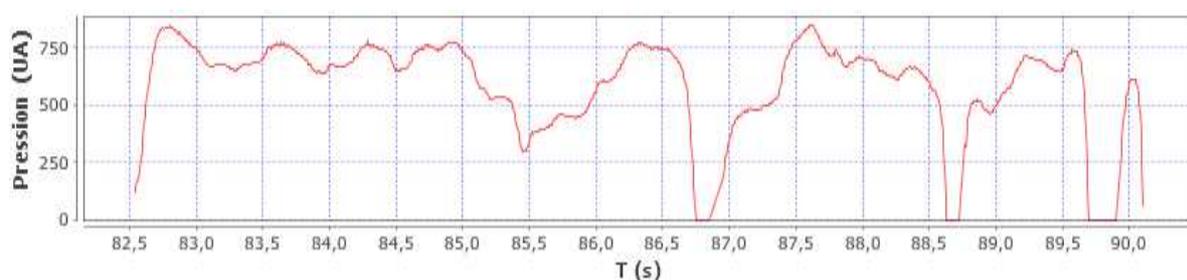
- La hauteur des lettres troncs est également instable et varie entre 2 et 4 mm. Par exemple, pour le 1^{er} mot « photos », on remarque que la hauteur relative entre le « t » et le 1^{er} « o » n'est pas respectée. En effet, ces deux lettres font toutes les deux 4 mm de hauteur. De même, dans le 2nd mot « photos », le « t » et le « s » ont une hauteur de 3 mm. Comme je l'ai précisé dans la partie théorique, ce non-respect de la hauteur relative entre lettres troncs et lettres non troncs est un critère caractéristique d'une faible écriture. (Karlsdottir & Stefansson, 2002 ; Simner & Eidlitz, 2000 ; Rosenblum, Dvorkin & Weiss, 2006). Cette caractéristique est recherchée dans le BHK avec le critère (9) Hauteur relative incorrecte.

Contrairement aux conclusions faites au sujet des enregistrements de l'individu représentatif du groupe témoin. Ces enregistrements traduisent une extrême variabilité de l'écriture. Cette inconstance touche le nombre d'unités, la longueur des mots et la hauteur des lettres. Ce qui signifie que l'écriture d'un individu dysgraphique se distinguerait d'une écriture normale par son instabilité. Chez David, le principe d'homothétie spatiale n'est pas respecté.

Variation de la pression du stylet au cours du temps :



Graphique des variations de la pression du 1^{er} mot « photos »



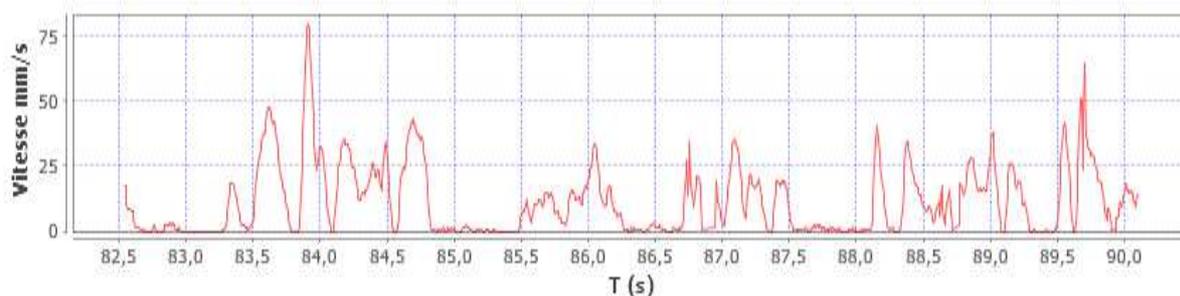
Graphique des variations de la pression du 2nd mot « photos »

Contrairement aux graphiques des pressions de l'individu extrait du groupe témoin, on remarque que ces deux graphiques ne sont pas superposables. Ce qui signifie que les variations de pression sont fluctuantes chez un individu dysgraphique à l'écriture d'un même mot. Néanmoins, on observe que le temps passé à écrire « photos » est équivalent entre le 1^{er} et le 2nd mot et est environ égal à 7.5 secondes. On note par ailleurs que la pression s'annule deux fois pour le 1^{er} mot contre trois fois pour le 2nd mot. Ce qui s'explique par les nombres de levers de crayon enregistrés : deux pour le 1^{er} mot contre 3 pour le 2nd.

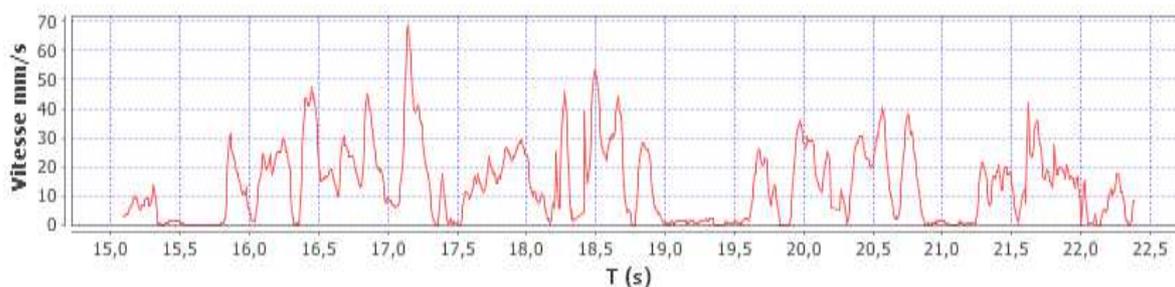
Remarque concernant les variations de la pression du 1^{er} mot « photos » :

A 20 secondes, on observe que la pression du stylet diminue nettement mais ne s'annule pas. J'é mets l'hypothèse que cette diminution de pression a lieu à la fin du « t ». A ce moment précis, David se trouve dans l'alternative entre faire la barre du « t » ou finir le mot. Cette diminution de pression signerait son hésitation. Il choisit finalement de poursuivre le mot ce qui explique que la pression ne s'annule pas puisqu'il ne lève pas son stylet. Dans le 2nd mot « photos », il choisit de faire la barre du « t » puis de poursuivre. Ce qui explique en partie l'instabilité de ces profils de pression.

Variation de la vitesse au cours du temps :



Graphique représentant les variations de la vitesse du 1^{er} mot « photos »



Graphique représentant les variations de la vitesse du 2nd mot « photos »

On s'aperçoit d'abord que les graphiques ne sont pas superposables. On distingue par ailleurs moins bien les différents segments du mot « photos » à savoir le « ph », le « o », le « t » puis le « os ». J'appelle « pics de vitesse » toutes les variations de vitesse qui dépassent 20 mm/s. Ces variations concernent les lettres non troncs chez l'individu extrait du groupe témoin. David ne semble pas respecter le principe de l'isochronie (à savoir l'augmentation de la vitesse lors du tracé des lettres non troncs), d'où la difficulté à distinguer les différents segments du mot. Cette difficulté pourrait également s'expliquer par les hauteurs relatives entre lettres troncs et non troncs incorrectes. Je comptabilise 15 pics de vitesse pour le premier graphique contre 25 pour le second. Ces pics sont plus nombreux que chez l'enfant non dysgraphique extrait de l'échantillon (8 pics de vitesse comptabilisés) et augmentent à la répétition du mot « photos ». Ces graphiques démontreraient une nouvelle fois l'instabilité des processus moteurs qui sous-tendent l'écriture de David.

Synthèse des profils des « mots » photos concernant l'écriture de David :

On constate que les principes d'invariance spatiale et temporelle ne sont pas respectés.

Conclusion-Discussion

CONCLUSION

L'analyse des caractéristiques motrices de l'enfant ordinaire scolarisé en CE2 me permet de tirer les conclusions suivantes : *(En raison du nombre restreint d'individus inclus dans l'étude, la généralisation de ces conclusions devra se faire avec prudence)*

Pour faire cette analyse, j'ai utilisé des tests paramétriques après m'être assurée de la normalité de la distribution des mesures de l'échantillon. Je n'ai pas retrouvé de différence sexuelle concernant les caractéristiques motrices de l'écriture. Ce résultat est différent de ce à quoi on pouvait s'attendre puisque tous les outils d'évaluation actuels font la distinction entre l'écriture des filles et des garçons. Suite à ce constat, les scores de l'échantillon ont été regroupés permettant de créer un groupe de 23 enfants. Ce groupe forme « ma norme ».

Ensuite, j'ai calculé le coefficient de corrélation entre les données enregistrées par la tablette et le BHK. Aucune corrélation entre les caractéristiques motrices et le score qualité de l'écriture du BHK n'a été retrouvée. Une corrélation attendue entre la fréquence d'inscription du BHK et les données cinématiques et temporelles est objectivée.

Globalement, l'analyse de l'effet de répétition du mot « photos » actualise une stabilité des caractéristiques motrices de l'écriture. Seules l'augmentation de la vitesse des traits et la diminution du bruit neuromoteur montrent que la répétition permet l'amélioration.

La comparaison approfondie des enregistrements des mots « photos » (d'un individu extrait du groupe témoin) montre une extrême constance de l'écriture. Cette constance concerne le nombre d'unités, la longueur des mots et la hauteur des lettres. De même, les variations de la pression et le temps passé à écrire les deux mots sont identiques. Par ailleurs, la description des variations de la vitesse atteste une fois de plus de la stabilité de l'écriture des enfants en classe de CE2. Les principes d'invariance spatiale et temporelle sont respectés.

L'analyse de l'écriture de David (Sujet porteur d'une dysgraphie objectivée par le BHK) m'a permis de vérifier si les critères sélectionnés étaient significatifs de la distinction entre bons et mauvais scripteurs : *(Les interprétations et conclusions faites au sujet de l'écriture de David sont à nuancer puisque son trouble de l'écriture n'est probablement pas représentatif de l'ensemble des dysgraphies en raison de l'hétérogénéité de ce trouble. Par ailleurs, la norme à laquelle je compare l'écriture de David ne comprend qu'un nombre réduit d'enfants)*

L'écriture de David confirmerait que le nombre de levers de crayon est supérieur chez les enfants présentant un trouble de l'écriture. David semble présenter un profil d'écriture de type : Rapide/imprécis. Il ne présente pas de déficit de vitesse et ses durées de levers de crayon ne sont pas plus importantes. David a un bruit neuromoteur significativement supérieur au groupe témoin, il présenterait donc un geste graphomoteur moins fluide. Ses gestes seraient plus amples et plus saccadés. L'analyse de la pression ne le distingue pas de ma norme.

Cette conclusion rend l'utilisation des tablettes graphiques intéressante dans l'analyse de l'écriture chez les enfants présentant un trouble de l'écriture car elles apportent des informations avec une précision supérieure.

Par ailleurs, je remarque que certains critères sélectionnés à partir des études précédemment réalisées ne sont pas vérifiés voire contredits. Ce constat démontrerait l'hétérogénéité de la dysgraphie. Ce qui voudrait dire que selon l'étiologie de la dysgraphie et ses comorbidités, les caractéristiques motrices ne seraient pas affectées de la même manière. De ce fait, la rééducation ne serait pas non plus la même. La tablette graphique serait donc un moyen de préciser le type de rééducation à proposer.

La description de l'effet de répétition du mot « photos » montre une certaine stabilité du déficit des caractéristiques motrices de l'écriture de David. On ne remarque pas d'amélioration de la vitesse des traits et du bruit neuromoteur, contrairement à l'individu extrait du groupe témoin. Ce constat signerait une certaine fatigabilité des enfants présentant ce type de dysgraphie et expliquerait la dégradation de l'écriture au cours de la production. Les enregistrements actualisent l'instabilité et la variabilité de l'écriture de David. La pression est également fluctuante entre le 1^{er} et le 2nd mot « photos ». David ne respecte pas les principes d'invariance de l'écriture.

« En résumé, tout se passe comme si l'écriture d'un enfant dysgraphique était moins « lisse », moins « mélodieuse » que celle d'un enfant normoscripteur. » Danna *et al.*, 2012.

DISCUSSION

L'évaluation de l'écriture ne doit pas se réduire à l'analyse de la trace à posteriori de sa production. En effet, elle dépend d'une multitude de composantes qu'il faut envisager afin de pouvoir cerner le trouble dans sa globalité. Ces composantes comprennent les facteurs endogènes et exogènes, l'analyse de la trace en termes de fréquence d'inscription et de qualité (Ce que fait par exemple le BHK). Actuellement, il existe des outils pour évaluer ces différentes

composantes. Néanmoins, l'analyse de l'écriture dans sa dimension motrice fait défaut. Ce mémoire se situe au carrefour entre l'activité cérébrale (dont fait partie la programmation) et la trace laissée sur le papier. Il s'agit donc de l'analyse des processus moteurs qui sous-tendent la production d'écriture. Ces processus sont des caractéristiques motrices et comprennent des données quantitatives, temporelles, cinématiques et dynamiques. L'utilisation des tablettes graphiques permet d'enregistrer ces caractéristiques. Les conclusions faites dans ce mémoire m'amènent à dire qu'il serait intéressant d'utiliser les tablettes graphiques en complément de l'échelle d'évaluation rapide de l'écriture chez l'enfant (BHK) car elles apportent des informations supplémentaires et/ou plus précises. Dans l'état actuel de mon travail, la tablette ne peut pas remplacer les autres outils d'évaluation car elle ne prend pas suffisamment en compte la forme du tracé (Par exemple, les lettres ambiguës ou distordues, les retouches...). Dans cette étude, j'ai sélectionné les données informatisées à analyser en fonction des lectures que j'ai faites à ce sujet. Il se peut que parmi les critères exclus certains soient intéressants à prendre en compte pour distinguer les bons des mauvais scripteurs dans leur dimension motrice. Néanmoins, à l'avenir, il sera toujours possible d'élargir les critères d'analyse de la tablette. Au départ, je voulais administrer le BHK sur la tablette afin de ne faire qu'une seule et même épreuve prenant en compte à la fois l'aspect qualitatif du BHK et l'aspect quantitatif de la tablette. Cela n'a pas été possible en raison de contraintes informatiques. Par ailleurs, les phrases du BHK ne correspondaient exactement pas à ce que je voulais analyser.

Les conclusions concernant l'analyse de l'effet de répétition ne seraient probablement pas les mêmes si j'avais choisi d'analyser un autre mot que « photos ». En effet, de nombreux paramètres entrent en ligne de compte comme la complexité et la longueur du mot, l'orthographe du mot, la hauteur des lettres, les accents... Comme précisé dans le paragraphe « Présentation et description de ma démarche » de la partie pratique, les phrases proposées offrent de multiples possibilités d'analyse : l'analyse de l'effet de répétition du mot « des » répétés 3 fois dans les phrases enregistrées ainsi qu'une analyse lettre à lettre auraient pu être envisagées.

Avant même de pouvoir distinguer les bons des mauvais scripteurs en fonction de leurs caractéristiques motrices. Il fallait établir une norme. Ce mémoire avait pour objet de débiter l'élaboration de cette norme. J'ai analysé l'écriture de 23 enfants ordinaires en classe de CE2. Ce nombre n'est pas suffisant pour parler d'une norme. Le quota étant fixé à 50 individus par sexe et par classe.

L'analyse de l'écriture de David (Porteur d'une dysgraphie) a permis de vérifier qu'un certain nombre de critères cités par les auteurs comme étant significatifs d'un trouble de l'écriture sont effectivement retrouvés déficitaires dans l'enregistrement de son écriture. Néanmoins pas tous. Cela démontrerait l'hétérogénéité de la dysgraphie et signifierait que selon le type de dysgraphie, les caractéristiques motrices ne seraient pas atteintes de la même manière. On se retrouverait avec des profils différents. Cette analyse n'est qu'un clin d'œil aux possibilités d'évolution de ce travail. Ces conclusions sont donc à prendre avec prudence.

Ce travail est loin d'être achevé : L'élaboration de la norme des CE2 est incomplète. De même, la réalisation d'une norme des autres classes est à envisager (CP, CE1, CM1 et CM2). En effet, toutes les données recueillies dans le cadre de ce mémoire ne concernent que les enfants ordinaires en classe de CE2 et ne sont donc pas généralisables à toutes les classes. Il est donc nécessaire de poursuivre ce travail afin d'avoir un regard global sur le développement des caractéristiques motrices de l'écriture. Afin de répondre à la question : Les caractéristiques motrices évoluent-elles de manière développementale ? Cela permettrait également de savoir si la personnalisation de l'écriture qui a lieu entre le CM1 et le collège a un impact sur la distinction des caractéristiques motrices entre les filles et les garçons.

Après l'élaboration d'une norme par classe, la validité pathologique pourra être envisagée. Cela permettrait de savoir si l'atteinte des caractéristiques motrices des enfants présentant un trouble de l'écriture est dépendante de la classe de l'enfant mais également de dégager des profils d'atteinte selon la dysgraphie.

Ce travail offre de nombreuses perspectives d'évolution... Ici s'achève le travail d'une année : « *une fin pour un début...* » !

Bibliographie

- Adi-Japha, E., & Freeman, N. H. (2001). Development of differentiation between writing and drawing systems. *Developmental Psychology*, 37(1), 101.
- Ajuriaguerra (de), J., Auzias, M., Coumes, F., Denner, A., Lavondes-Monod, V., Perron, R. & Stambak, M. (1964). *L'écriture de l'enfant : l'évolution de l'écriture et ses difficultés*. Tome 1. Neuchâtel : Delachaux et Niestlé
- Albaret, J. M., & Santamaria, M. (1996). Utilisation des digitaliseurs dans l'étude des caractéristiques motrices de l'écriture: *Ecriture. Evolutions psychomotrices*, (33), 115-119.
- Albaret, J.-M., Kaiser, M.-L., & Soppelsa, R. (Eds.) (2013). *Troubles de l'écriture chez l'enfant : Des modèles à l'intervention*. Bruxelles: De Boeck/Solal
- American Psychiatric Association. (2015). *DSM-5®: manuel diagnostique et statistique des troubles mentaux*. Elsevier Masson.
- Auzias, M. (1970). *Les troubles de l'écriture chez l'enfant: Problèmes généraux. Bases de rééducation* (Vol. 150). Delachaux & Niestlé.
- Barnett, A., Henderson, S., Scheib, B., & Schulz, J. (2007). *The Detailed Assessment of Speed of Handwriting (DASH). Manual*.
- Ben-Pazi, H., Kukke, S., & Sanger, T. D. (2007). Poor penmanship in children correlates with abnormal rhythmic tapping: A broad functional temporal impairment. *Journal of child neurology*, 22(5), 543-549.
- Charles M., Soppelsa R. & Albaret J.-M. (2003). *BHK – Echelle d'évaluation rapide de l'écriture chez l'enfant*. Paris : Editions et Applications Psychologiques.
- Chartrel, E., & Vinter, A. (2004). L'écriture: une activité longue et complexe à acquérir. *Approche Neuropsychologique de l'Apprentissage chez l'Enfant*, 78, 174-180.
- Danna, J. (2011). *Dynamique de coordination dans la formation de la trace écriture chez l'adulte et l'enfant*. (Thèse de Doctorat, Université de Toulouse)
- Danna, J., Paz-Villagrán, V., & Velay, J. L. (2013). Signal-to-Noise velocity peaks difference: A new method for evaluating the handwriting movement fluency in children with dysgraphia. *Research in developmental disabilities*, 34(12), 4375-4384.

Danna, J., Paz-Villagran, V., Velay, J. L., Gondre, C., Kronland-Martinet, R., Ystad, S., ... & Omer, H. (2012). Sonifier l'écriture : un outil pour le diagnostic et la remédiation de la dysgraphie. *Développements*, (3), 32-40.

DSM-4-TR. Elsevier Masson, 2004.

Ellis, A. W., & Young, A. W. (1988). *Human cognitive neuropsychology*. Hove : Lawrence Erlbaum Associates Ltd

Fitzgerald, J., & Shanahan, T. (2000). Reading and writing relations and their development. *Educational Psychologist*, 35(1), 39-50.

Graham, S., & Weintraub, N. (1996). A review of handwriting research: Progress and prospects from 1980 to 1994. *Educational psychology review*, 8(1), 7-87.

Graham, S., Struck, M., Santoro, J., & Berninger, V. W. (2006). Dimensions of good and poor handwriting legibility in first and second grader : Motor programs, visual-spatial arrangement, and letter formation parameter setting. *Developmental neuropsychology*, 29(1), 43-60.

Graham, S., Weintraub, N., & Berninger, V. W. (1998). The relationship between handwriting style and speed and legibility. *The Journal of Educational Research*, 91(5), 290-297.

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

Hulstijn, W., & Van Galen, G. P. (1983). Programming in handwriting: Reaction time and movement time as a function of sequence length. *Acta Psychologica*, 54(1), 23-49.

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

Kaiser, M.-L. (2009). *Facteurs endogènes et exogènes influençant l'écriture manuelle chez l'enfant*. Unpublished PhD, Genève/Toulouse.

Kao, H. S., Shek, D. T., & Lee, E. S. (1983). Control modes and task complexity in tracing and handwriting performance. *Acta psychologica*, 54(1), 69-77.

Karlsdottir, R., & Stefansson, T. (2002). Problems in developing functional handwriting (monograph supplement 1-V94). *Perceptual and motor skills*, 94(2), 623-662.

- Lurçat, L. (1974). *Etudes de l'acte graphique*. Paris : Mouton.
- Moczadlo, S. (2010). *Vers une nouvelle approche de la prise en charge de la dysgraphie : L'apport des théories dynamiques et de l'étude du mouvement*. Université Paul Sabatier, Toulouse III.
- Overvelde, A., & Hulstijn, W. (2011). Handwriting development in grade 2 and grade 3 primary school children with normal, at risk, or dysgraphic characteristics. *Research in developmental disabilities, 32*(2), 540-548.
- Phelps, J., Stempel, L., & Speck, G. (1985). The children's handwriting scale: A new diagnostic tool. *The Journal of Educational Research, 79*(1), 46-50.
- Plamondon, R., Djoua, M., & O'REILLY, C. (2009). La théorie cinématique des mouvements humains rapides: développements récents.
- Rosenblum, S., & Livneh-Zirinski, M. (2008). Handwriting process and product characteristics of children diagnosed with developmental coordination disorder. *Human Movement Science, 27*(2), 200-214.
- Rosenblum, S., Dvorkin, A. Y., & Weiss, P. L. (2006). Automatic segmentation as a tool for examining the handwriting process of children with dysgraphic and proficient handwriting. *Human movement science, 25*(4), 608-621.
- Rosenblum, S., Parush, S., & Weiss, P. L. (2003). Computerized temporal handwriting characteristics of proficient and non-proficient handwriters. *American Journal of Occupational Therapy, 57*(2), 129-138.
- Sage, I. H. (2010). *Écriture et processus psychomoteurs, cognitifs et conatifs chez les enfants âgés de 8 à 12 ans* (Doctoral dissertation, University of Geneva)
- Simner, M. L., & Eidlitz, M. R. (2000). Towards an empirical definition of developmental dysgraphia: preliminary findings [Work in progress]. *Canadian Journal of School Psychology, 16*(1), 103.
- Smits-Engelsman, B. C., & Van Galen, G. P. (1997). Dysgraphia in children: Lasting psychomotor deficiency or transient developmental delay?. *Journal of experimental child psychology, 67*(2), 164-184.

- Smits-Engelsman, B. C., Niemeijer, A. S., & van Galen, G. P. (2001). Fine motor deficiencies in children diagnosed as DCD based on poor grapho-motor ability. *Human movement science*, 20(1), 161-182.
- Teulings, H.L., & Schomaker, L. R. B. (1993). Invariant properties between stroke features in handwriting. *Acta Psychologica*, 82, 69-88.
- Van Galen, G. P., & Teulings, H. L. (1983). The independent monitoring of form and scale factors in handwriting. *Acta Psychologica*, 54(1), 9-22.
- Van Galen, G. P., Portier, S. J., Smits-Engelsman, B. C., & Schomaker, L. R. (1993). Neuromotor noise and poor handwriting in children. *Acta Psychologica*, 82(1), 161-178
- Vinter, A., & Zesiger, P. (2007). L'écriture chez l'enfant : Apprentissage, troubles et évaluation. *Psychologie du Développement et de l'Éducation*, 327-351.
- Viviani, P., & Terzuolo, C. (1980). 32 Space-Time Invariance in Learned Motor Skills. *Advances in psychology*, 1, 525-533.
- Viviani, P., & Terzuolo, C. (1982). Trajectory determines movement dynamics. *Neuroscience*, 7(2), 431-437.
- Volman, M. J. M., van Schendel, B. M., & Jongmans, M. J. (2006). Handwriting difficulties in primary school children: A search for underlying mechanisms. *American Journal of Occupational Therapy*, 60(4), 451-460.
- Wann, J. P., & Jones, J. G. (1986). Space-time invariance in handwriting: Contrasts between primary school children displaying advanced or retarded handwriting acquisition. *Human Movement Science*, 5(3), 275-296.
- Wann, J., & Nimmo-Smith, I. (1991). The control of pen pressure in handwriting: A subtle point. *Human Movement Science*, 10(2), 223-246.
- Weil, M. J., & Amundson, S. J. C. (1994). Relationship between visuomotor and handwriting skills of children in kindergarten. *American Journal of Occupational Therapy*, 48(11), 982-988.
- Zesiger, P. (1995). *Ecrire : approches cognitive, neuropsychologique et développementale*. Presses Universitaires de France-PUF.

Zesiger, P. (2003). *Acquisition et troubles de l'écriture* (Vol. 55, No. 1, pp. 56-64). Presses universitaires de France.

Ziviani, J. M., & Wallen, M. (2006). The development of graphomotor skills. In A. Henderson & C. Pehoski (Eds.), *Hand Function in the Child : Foundations for Remediation* (pp. 217-236). Philadelphia : Mosby Elsevier

Ziviani, J., Hayes, A., & Chant, D. (1990). Handwriting : a perceptual-motor disturbance in children with myelomeningocele. *OTJR : Occupation, Participation and Health*, 10(1), 12-26.

Résumé

L'écriture comprend deux aspects indissociables : Un aspect symbolique et un aspect moteur. Elle nécessite un enseignement et est un outil incontournable de l'apprentissage. Chez certains enfants, les capacités d'expression écrites sont perturbées. C'est ce qu'on appelle la dysgraphie. Ce trouble requiert une évaluation afin de définir clairement le déficit et ses éventuelles comorbidités. L'évaluation de la composante motrice est réalisée par le psychomotricien et c'est ce dernier aspect qui fait l'objet de ce mémoire. Jusqu'à présent, les outils d'évaluation s'intéressaient à la trace écrite à posteriori de sa production, ce que les auteurs appellent : le produit. L'essor de nouveaux outils d'analyse tels que les tablettes graphiques permet d'envisager l'étude de la production d'écriture en tant qu'activité motrice qui évolue dans le temps, c'est ce que les auteurs nomment le processus. Ce mémoire est une étude préliminaire des caractéristiques motrices de l'écriture chez l'enfant ordinaire scolarisé en CE2 à l'aide d'une tablette graphique. Il comprend également l'analyse des caractéristiques motrices de l'écriture d'un enfant dysgraphique.

Mots-clefs : écriture, évaluation, produit, processus, étude préliminaire, caractéristiques motrices, dysgraphie.

Abstract

Handwriting includes two inseparable aspects: a symbolic aspect and a motor skills aspect. It requires a teaching and is an unavoidable tool of learning. For some children, the handwriting capabilities are disturbed. This is called dysgraphia. This trouble requires an assessment to clearly define the gap and the possible comorbidities. The evaluation of the motor skills is realised by the psychomotrician and this is this aspect which is the subject of this dissertation. So far, the assessment tools were about the handwriting record posteriori of its production, this is called by the authors: the product. The rise of new analysis tools like graphic tablets allows to consider the study of writing production as motor skills activity, that changes over time, this is called by the authors: the process. This dissertation is an introductory study of the motor skills characteristics of the handwriting for ordinary children in CE2 class, with a graphic tablet. It includes also the analysis of the handwriting motor skills characteristics of a child affected by dysgraphia.

Keys words : handwriting, assessment, product, process, introductory study, motor skills characteristics, dysgraphia