

MÉMOIRE

En vue de l'obtention du
Certificat de Capacité d'Orthophoniste
présenté par

Juliette CREN

qui sera présenté au jury en juin 2020

ANALYSE DE LA COMPLEXITÉ GRAPHIQUE DES ITEMS DANS DES ÉPREUVES ÉVALUANT LE GRAPHISME ET L'ORTHOGRAPHE

MÉMOIRE dirigé par

Emilie AYROLE, orthophoniste, CRDTA, Lille

Ingrid GIBARU, orthophoniste, Centre Hospitalier, Lens

Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier Madame Ayrole et Madame Gibaru pour leur soutien sans faille, leurs conseils précieux et avisés, leur disponibilité et leur implication indéfectible tout au long de ces deux années.

Je remercie également Madame Macchi d'avoir accepté d'être la lectrice de ce mémoire et pour ses relectures minutieuses et rigoureuses.

Je souhaiterais également remercier Fabio Mongo pour le temps consacré à cette étude afin de nous aider à créer un outil novateur basé sur l'Intelligence Artificielle.

Je voudrais remercier Pierre-Yves pour son implication et son soutien lors de la réalisation de la partie statistique de ce mémoire et depuis ces cinq années.

Enfin, je souhaiterais remercier mes parents, mes frères, mes proches, mes amis, l'équipe pour leur présence si précieuse, leur patience, leur soutien tout au long de ce projet et de ces études.

Résumé :

La complexité graphique est à ce jour peu documentée. Certains facteurs induisent une complexité graphique à l'échelle de la lettre et du mot. Ces critères n'ont jamais été examinés au sein de notre matériel orthophonique. L'absence d'étude de cette difficulté dans nos outils d'évaluation nuit à leur utilisation avisée. L'analyse de cette complexité dans les mots des épreuves de copie et de dictée a été menée dans ce mémoire afin d'envisager l'influence de la complexité graphique sur les performances graphiques et orthographiques. L'objectif est également d'estimer la difficulté du modèle en copie et d'observer l'évolution du contenu des épreuves en fonction de l'âge d'automatisation de l'écriture. Les facteurs de complexité ont été comptabilisés à l'intérieur des épreuves de copie : BHK et EVALEO (copie) et des épreuves de dictée : BALE et EVALEO (dictée). Les résultats obtenus ont été discutés en lien avec les éléments de la théorie. Ils suggèrent que le modèle de copie d'EVALEO serait plus complexe que celui du BHK. Le niveau de complexité graphique des épreuves de copie serait inférieur à celui des épreuves de dictée. De façon globale, EVALEO aurait un niveau de complexité supérieur aux autres tests en copie et en dictée. Les épreuves de dictée d'EVALEO suivraient l'automatisation progressive du geste graphique. Il serait intéressant que les créateurs et utilisateurs de ces tests, prennent davantage en compte la complexité graphique dans leur pratique.

Mots-clés : complexité graphique, graphisme, orthographe, évaluation, langage écrit.

Abstract :

Graphic complexity is an entity that has been little documented to this day. Authors have determined that certain factors induce graphic complexity at the letter and word level. These factors have never been examined in our speech-language pathology materials. The lack of study of this difficulty in our assessment tools hinders their wisd use. Analysis of this complexity in words on copy and dictation tests was conducted to consider the influence of graphic complexity on graphic and spelling performance. The objective is also to study the evolution of the test's content according to the age of writing automation. The last objective is to examine the difficulty of the copy's model. Complexity factors were accounted for within the copy tests : BHK and EVALEO(copy) and dictation tests : BALE and EVALEO(dictation). The results obtained were discussed in relation with the theoretical elements. They suggest that the EVALEO copy model would be more complex than the BHK model. The level of graphic complexity of the copy tests would be lower than that of the dictation tests. Overall, EVALEO would have a higher level of complexity than the other copy and dictation tests. The EVALEO dictation test would follow the progressive automation of graphic gesture. It would be interesting if creators and users of these tests take more into account the graphical complexity in their practice.

Keywords : graphic complexity, graphic design, spelling, evaluation, written language.

Table des matières

Introduction.....	1
Contexte théorique, buts et hypothèses.....	2
1.Contexte théorique.....	2
1.1.Graphisme	2
1.1.1.Développement.....	2
1.1.2.Styles d'écriture.....	3
1.1.3.Dysgraphie.....	3
1.1.4.Évaluation	3
1.2.Orthographe.....	4
1.2.1. Développement.....	4
1.2.2.Trouble spécifique de l'orthographe.....	5
1.2.3.Évaluation.....	5
1.3.Modèles de référence de la production écrite.....	6
1.3.1.Modèle de production de texte : Modèle de Kellogg (1996)	6
1.3.2.Modèle du comportement d'écriture.....	6
1.4.Interactions entre l'écriture et l'orthographe.....	7
1.4.1.L'automatisation de l'orthographe et du graphisme.....	8
1.4.2.La dictée	8
1.4.3.La copie.....	8
1.5.La médiation numérique au service de l'évaluation du graphisme.....	9
1.5.1.L'utilisation de la tablette numérique.....	9
1.5.2.La réalité audio augmentée ou sonification.....	9
1.5.3.L'enregistrement des mouvements oculaires (ou eye tracking).....	9
1.6.Étude des caractéristiques graphiques.....	9
1.6.1.Étude de la complexité graphique dans la littérature.....	9
1.6.2. Caractéristiques graphiques de Meulenbroek et Van Galen (1990).....	10
1.6.3.Caractéristiques graphiques de Gosse et al. (2018).....	10
2.Objectifs	12
Méthodologie.....	12
1.Matériel.....	12
2.Méthode.....	13
2.1.Élaboration d'une règle de tracé de référence.....	13
2.2.Caractéristiques graphiques.....	14
2.2. Critères de complexité du modèle présenté en copie.....	15
2.3. Score de complexité cumulée.....	15
2.4. Score de mots répétés	15
3.Procédure	16
3.1.Recueil des données.....	16
3.2.Traitement des données.....	16
Résultats.....	17
1.Résultats pour les épreuves de copie.....	17
1.1. Scores des caractéristiques graphiques.....	17
1.1.1.Mesure de la longueur des mots.....	17
1.1.2.Scores de levers de crayon théoriques.....	17
1.1.3.Scores d'angles.....	17
1.1.4.Scores de retours en arrière.....	18
1.1.5.Scores des virages x.....	18

1.1.6.Scores des virages y.....	18
1.1.7.Scores de liens modifiés.....	18
1.1.8.Scores d'ambiguïté spatiale	19
1.1.9.Scores de variabilité allographique	19
1.1.10.Scores d'ambiguïté contextuelle	19
1.2.Scores de complexité cumulée.....	20
1.3.Scores de répétition de mots	20
2.Résultats pour les épreuves de dictée.....	21
2.1. Scores des caractéristiques graphiques.....	21
2.1.1.Mesure de la longueur des mots.....	21
2.1.2.Scores de levers de crayon théoriques.....	21
2.1.3.Scores d'angles.....	21
2.1.4. Scores de retours en arrière.....	22
2.1.5.Scores de virages x.....	22
2.1.6.Scores de virages y.....	23
2.1.7.Scores de liens modifiés.....	23
2.2.Scores de complexité cumulée.....	24
Discussion.....	24
1.Niveau de complexité graphique.....	24
1.1.Complexité graphique des épreuves de copie	24
1.2.Complexité graphique des épreuves de dictée	25
1.3.Comparaison de la complexité graphique en copie et en dictée.....	26
2.Répétition des mots dans les épreuves de copie	26
3.Complexité du modèle des épreuves de copie.....	26
4.Augmentation de la complexité graphique en fonction de l'âge.....	27
5.Limites et biais de notre étude	28
6.Perspectives de cette étude	29
6.1.Perspectives concernant l'évaluation orthophonique	29
6.2.Perspectives concernant la rééducation orthophonique.....	29
6.3.Perspectives en lien avec les nouvelles technologies.....	29
Conclusion.....	30
Liste des annexes.....	36

Introduction

Les troubles du graphisme ont une forte prévalence : cinq à vingt pour cent des enfants d'âge scolaire présenteraient un trouble du graphisme (Kaiser, 2009). Les difficultés graphiques sont fréquemment associées à des troubles spécifiques du langage écrit (Capellini, Coppede & Valle, 2010). Le pourcentage d'enfants dyslexiques-dysorthographiques présentant des difficultés graphiques varie de 14 (Habib, 2006) à 85 pour cent (Capellini et al., 2010). De plus, Cheng Lai, Li-Tsang, Chan et Lo (2013) ont montré que la lisibilité et la vitesse de transcription d'enfants dyslexiques-dysorthographiques sont inférieures à celles des enfants au développement typique. Les capacités graphomotrices et orthographiques s'influencent mutuellement (Gosse, Carbonnelle, De Vleeschouwer & Van Reybroeck, 2018). La relation étroite entre ces deux disciplines proviendrait d'un double codage orthographe-geste d'après Kandel et Perret (2015).

La dyslexie-dysorthographie et la dysgraphie font partie du champ de compétences des orthophonistes. Pour évaluer le graphisme, la tâche de référence est la copie. L'orthographe est le plus souvent évaluée à l'aide d'une tâche de dictée. Dans la plupart des épreuves de copie et de dictée existantes, les items ont été choisis en fonction de leurs caractéristiques psycholinguistiques. Cependant, les caractéristiques graphiques de ces items n'ont jamais été étudiées.

Des études ont été menées pour étudier la complexité graphique, pour cela les auteurs ont mesuré différentes variables. Pour observer l'influence de l'acte graphique sur les tâches de dictée, les durées de production des lettres de l'alphabet ont été estimées par plusieurs équipes (Kandel & Perret, 2015 ; Pontart, Bidet-Ildei, Lambert, Morisset, Flouret & Alamargot, 2013 ; Roux, McKeef, Grosjacques, Afonso & Kandel, 2013). Meulenbroek et Van Galen (1990) ont mis en évidence des facteurs de complexité au niveau de la lettre isolée. Gosse et al. (2018) se sont intéressés à traduire la complexité du matériel écrit grâce à une classification des caractéristiques graphiques des lettres et des mots. Cependant, il n'y a à ce jour pas de consensus sur la mesure de la complexité graphique.

L'objectif de ce mémoire est d'analyser sur le plan graphique les items de certaines tâches de copie et de dictée sur le plan graphique. Étant donné qu'il n'y a à ce jour pas de consensus sur la mesure de la complexité graphique, nous avons choisi d'utiliser les caractéristiques mises en évidence par Gosse et al. (2018) car leur étude est novatrice et propose une analyse graphique à l'échelle du mot. Nous avons également choisi l'étude de Meulenbroek et Van Galen (1990) car ces auteurs proposent des facteurs de complexité graphique. Nous rechercherons et comptabiliserons ces critères dans les mots d'épreuves de copie et de dictée employées par les orthophonistes dans la clinique et la recherche .

Dans une première partie, nous nous intéresserons au graphisme et à l'orthographe, à leurs liens étroits et à leurs troubles. Nous présenterons également les méthodes d'évaluation de ces troubles. Nous exposerons ensuite les objectifs et les hypothèses de ce mémoire. Pour continuer, nous détaillerons la méthodologie utilisée. Enfin, nous exposerons et discuterons nos résultats. Pour terminer, nous conclurons sur cette étude et sur ses perspectives.

Contexte théorique, buts et hypothèses

Une présentation du graphisme et de l'orthographe, ainsi que des modèles de référence de la production écrite et des interactions entre ces deux disciplines est nécessaire afin de comprendre l'objet de notre étude. Nous détaillerons également les caractéristiques graphiques induisant une complexité mises en évidence dans la littérature.

1. Contexte théorique

1.1. Graphisme

Le terme écriture renvoie à la « représentation de la pensée par des caractères graphiques de convention, propres à une communauté linguistique donnée » (Brin-Henry, Courier, Lederlé & Masy, 2011, p.94).

Le graphisme est « le caractère propre de l'écriture, plus précisément l'aspect des caractères particuliers des traces et signes individuels, donnant des indications sur leur réalisation psychomotrice » (Brin-Henry et al., 2011, p.121). L'écriture regroupe des aspects orthographiques et graphiques.

1.1.1. Développement

Apprendre à écrire suppose l'acquisition de programmes moteurs (Chartrel & Vinter, 2004). Le développement des habiletés graphiques repose sur plusieurs apprentissages : l'apprentissage postural, la mémorisation de la forme des lettres, la gestion du tracé, la reconnaissance des formes graphiques et le développement de la fluidité de l'écriture (Lavoie, Morin & Labrecque, 2012). Les deux enjeux majeurs de cet apprentissage sont la fluidité et la lisibilité (Alamargot, Morin, Pontart, Maffre, Flouret & Simard-Dupuis, 2014).

L'enfant expérimente et exerce ses capacités graphomotrices pendant plusieurs années avant l'apprentissage formel de l'écriture. Dès l'âge de deux ans, il produit des formes graphiques primitives (Longcamp, Velay & Kandel, 2014).

Vers six ou sept ans, l'enfant entre dans le stade pré-calligraphique. Il apprend à former les lettres de l'alphabet de manière systématique en mémorisant la forme cursive des lettres ainsi que leur nom (Ajuriaguerra, Auzias, Denner, Coumes, Lavondes Monod, Perron & Stambak, 1971). Ensuite, le geste est automatisé. Les productions de l'enfant sont fluides, rapides et régulières. La lisibilité et le respect des règles calligraphiques deviennent les critères d'exigence principaux. Cette période correspond au stade calligraphique (Ajuriaguerra et al., 1971). Enfin, vers onze ou douze ans, l'écriture de l'adolescent ressemble à celle de l'adulte. L'adolescent recherche une écriture plus personnalisée et plus efficiente. Il s'agit du stade post-calligraphique (Ajuriaguerra et al., 1971).

La vitesse de transcription se développe également graduellement pendant le primaire (Hamstra-Bletz & Blöte, 1990). La vitesse de transcription ou fréquence d'inscription, correspondant à la durée effective pour transcrire des lettres, est un indicateur du niveau d'automatisation du geste graphique (Chartrel & Vinter, 2004). En effet, celui-ci s'automatise entre dix et quatorze ans puis cette automatisation se perfectionne pendant l'adolescence (Chartrel & Vinter, 2004 ; Lavoie et al., 2012 ; Pontart et al., 2013). L'automatisation du geste

graphique signifie que l'enfant a une représentation interne de la forme de la lettre indépendamment des informations contextuelles (Chartrel & Vinter, 2004).

1.1.2. Styles d'écriture

Dans l'écriture scripte, les caractères sont détachés les uns des autres et ressemblent aux caractères d'imprimerie. Ce style d'écriture se caractérise par de nombreux levers de crayon (Bara, Morin, Montésinos-Gelet & Lavoie, 2011). L'écriture cursive se caractérise quant à elle par un enchaînement de lettres ainsi qu'un mouvement continu et fluide (Bara et al., 2011). Enfin, l'écriture mixte est un style d'écriture mêlant des caractères graphiques des écritures scripte et cursive.

Ces différents styles d'écriture influencent plusieurs aspects du langage écrit : la fréquence d'inscription, la qualité du graphisme, la production de mot et de texte (Morin, Lavoie & Montésinos-Gelet, 2012). L'écriture scripte n'est plus enseignée depuis 2015. À ce jour, les programmes scolaires (Eduscol, 2015) recommandent l'apprentissage de l'écriture cursive et de l'écriture en lettres capitales romaines.

Les enfants de sept à neuf ans utilisent majoritairement l'écriture cursive. Entre neuf et onze ans, plus de soixante pour cent des élèves choisissent l'écriture mixte (Morin, Lavoie, & Montésinos-Gelet, 2011). Lorsque les enfants optent pour ce style, l'écriture est plus rapide et plus fluide. En effet, ce style leur permet de mobiliser l'allographe disponible le plus rapidement (Morin et al. 2011 ; Witko & Chenu, 2019). Le choix de l'allographe le plus disponible influence la lisibilité d'une production (Witko & Chenu, 2019). De plus, les programmes moteurs fréquemment utilisés peuvent être automatisés (Witko & Chenu, 2019). Une absence d'automatisation du geste scripteur peut être une manifestation de la dysgraphie. Ce trouble est décrit dans le paragraphe suivant.

1.1.3. Dysgraphie

À ce jour, les définitions de la dysgraphie sont nombreuses et ne font pas consensus. En effet, les enfants dysgraphiques constituent un groupe hétérogène car les manifestations et les causes de ce trouble sont variées (Zesiger, Deonna & Mayor, 2000).

Albaret, Kaiser et Soppelsa (2013) parlent de Trouble d'Acquisition de la Graphomotricité. Il s'agit d'une atteinte du graphisme qui survient au cours du développement sans origine neurologique ou intellectuelle.

La révision de la Classification Internationale des Maladies (CIM-11) n'étant pas publiée actuellement, nous nous concentrerons sur la définition du DSM-5. La cinquième édition du manuel diagnostique et statistique des troubles mentaux (DSM-5, American Psychiatric Association, 2013) mentionne un trouble moteur qui comprend le trouble développemental de la coordination (anciennement trouble d'acquisition de la coordination). Celui-ci se caractérise par une atteinte de la motricité fine concernant les gestes sociaux et culturels (dont le graphisme). L'évaluation de la dysgraphie doit donc être exhaustive afin d'étudier les symptômes variés de ce trouble.

1.1.4. Évaluation

Le tableau en annexe A1 regroupe les outils principaux en langue française et anglaise pour la recherche et la clinique.

L'évaluation du graphisme porte sur différents aspects tels que la posture, la tenue de l'outil scripteur, la qualité de la trace et la vitesse d'inscription. Cette évaluation peut être conduite à l'aide de tâches diverses : copie (de lettres, de mots, de phrases ou de textes), dictée, écriture spontanée et écriture de mots familiers (comme le prénom). L'écriture spontanée correspond à la transcription de mots du choix de l'enfant. L'évaluation analytique repose quant à elle sur des grilles d'observation analysant plusieurs critères. Ces grilles s'intéressent à la posture de l'enfant, à la prise de l'outil scripteur et à son écriture. Elles permettent également d'analyser la lisibilité et les erreurs dans la formation des lettres. Enfin, tout bilan du graphisme comprend une mesure de la fréquence d'inscription. Cette mesure s'intéresse au nombre de lettres produites dans une durée donnée. Cette vitesse varie selon la tâche demandée (copie, dictée), selon la consigne (écrire le plus vite possible ou le mieux possible), et selon le style d'écriture (majuscule, scripte, cursive).

À ce jour le test de référence utilisé par les cliniciens (orthophonistes, psychomotriciens, etc) pour le diagnostic des troubles du graphisme est l'Échelle d'Évaluation Rapide de l'Écriture chez l'Enfant (BHK). Il s'agit d'un test de Hamstra-Bletz, De Bie et Den Brinker adapté en français en 2004 par Charles, Soppelsa et Albaret. Ce test propose à l'enfant une tâche de copie de texte. Cette épreuve permet d'évaluer la fréquence d'inscription et d'analyser la trace graphique. L'inconvénient majeur de ce test est qu'il évalue le graphisme à partir d'une unique situation d'écriture : la copie. Dans la construction de leur tâche, les auteurs ne précisent pas d'autre critère de sélection des items que la fréquence et la structure syllabique des mots. En effet, les premières phrases contiennent des mots unisyllabiques de niveau CP. Ensuite les phrases se complexifient (Charles et al., 2014).

La batterie EVALEO 6-15 (Évaluation du Langage Oral et du Langage Ecrit, 6-15 ans) est une batterie de Maeder, Roustit, Launay et Touzin (2018). Cette batterie comprend des subtests permettant d'évaluer le graphisme de manière analytique. Nous appellerons l'épreuve de copie de cette batterie EVALEO(c). Les auteurs d'EVALEO(c) ne détaillent pas la sélection de leurs items.

Le processus de production écrite ne mobilise pas uniquement les compétences graphiques. Les capacités orthographiques de l'enfant interviennent également.

1.2. Orthographe

L'orthographe est « la manière, considérée comme seule correcte, et parfois arbitraire, d'écrire les mots propres à une communauté linguistique donnée » (Brin-Henry et al., 2011, p.198). La transcription est quant à elle le processus permettant de transformer un message oral en une représentation orthographique (Véronis, 2000). Ce processus se construit progressivement au cours de la scolarité de l'enfant.

1.2.1. Développement

Le développement de l'orthographe repose sur des prérequis perceptifs, attentionnels, intellectuels, visuospatiaux, langagiers et psychoaffectifs (Perros-Durand, 2014 ; Crozat, 2013). Frith (1985) a conçu un modèle d'apprentissage de l'orthographe. Celui-ci repose sur la succession de trois stades. Dans ce modèle, chaque stade est caractérisé par l'utilisation d'une stratégie particulière (Perez, 2013). Tout d'abord, l'enfant

produit des mots globalement, il s'agit du stade logographique (maternelle). Ensuite, les enfants apprennent explicitement les conversions graphèmes-phonèmes et développent la stratégie d'assemblage. Il s'agit du stade alphabétique (CP-CE1). Durant ce stade, les enfants commencent à se construire un lexique orthographique. Enfin, pendant le stade orthographique les enfants développent la stratégie d'adressage. Le passage à ce stade aurait tout d'abord lieu en lecture. L'intérêt de cette théorie est qu'elle illustre bien le développement de cette compétence. De plus, cette théorie est la plus consensuelle à ce jour. La limite de ce modèle réside dans la succession de stades. Suite à cette théorie, il a par exemple été démontré que les stades alphabétique et orthographique se développent en parallèle et s'influencent dès la fin du CP (Sprenger-Charolles, Siegel, Béchenec & Serniclaes, 2003).

L'acquisition des différentes procédures orthographiques est parfois rendue difficile par un trouble spécifique de l'orthographe.

1.2.2. Trouble spécifique de l'orthographe

La dysorthographie développementale est définie comme « un trouble spécifique de l'orthographe se manifestant par une difficulté à apprendre l'orthographe en dépit d'un enseignement classique, d'une intelligence suffisante, de facilités socioculturelles » (Campolini, Van Hövell & Vansteelandt, 2000, p.100).

Le DSM-5 (American Psychiatric Association, 2013) décrit des difficultés orthographiques comme manifestation d'un trouble spécifique des apprentissages.

Les troubles spécifiques de l'orthographe sont diagnostiqués par les orthophonistes à l'aide d'outils d'évaluation ciblés.

1.2.3. Évaluation

Le tableau en annexe A2 regroupe les outils principaux d'évaluation de l'orthographe en orthophonie.

L'évaluation de l'orthographe repose sur une analyse qualitative et quantitative de l'orthographe au cours d'un bilan orthophonique (Boutin & Quilien, 2012). L'épreuve de référence pour évaluer cette compétence est la dictée. Celle-ci peut porter sur des syllabes, des mots, des pseudo-mots ou des phrases. Une dictée de syllabes évalue les capacités élémentaires de conversion graphème-phonème. Une dictée de mots analyse les procédures analytiques et lexicales. Enfin, la dictée de phrases ajoute à cette analyse le niveau de contrôle sémantique, ainsi que les compétences morphosyntaxiques et les règles de grammaire (George & Pech-Georgel, 2006).

L'épreuve de dictée de mots réguliers, de mots réguliers complexes, de mots irréguliers et de pseudo-mots de la Batterie Analytique du Langage Écrit ou BALE (Jacquier-Roux, Lequette, Pouger, Valdois & Zorman, 2010) est une épreuve facilement accessible et fréquemment utilisée par les orthophonistes. Les auteurs ne détaillent pas l'analyse psycholinguistique ayant conduit à la sélection des items. L'épreuve de dictée de mots réguliers, de mots irréguliers et de pseudo-mots d'EVALEO 6-15 (Touzin et al., 2018) sont des épreuves récentes. L'appellation EVALEO(d) regroupe les épreuves de dictée de cette batterie. Les items d'EVALEO(d) ont fait l'objet d'une analyse psycholinguistique. En effet, les auteurs ont sélectionné les items à partir de la base de données Manulex (Lété, Sprenger-

Charolles & Colé, 2004) en contrôlant la fréquence U (> 60 pour les mots fréquents ou entre 2 et 4 pour les mots non fréquents). La fréquence U correspond à la fréquence estimée d'usage, dans les manuels scolaires, par millions de mots. Ils ont également contrôlé la consistance (> 85 ou entre 20 et 70). La consistance correspond à la fréquence avec laquelle une association phonème graphème apparaît. Enfin, ils ont contrôlé la longueur des mots (moins de quatre lettres, entre cinq et sept lettres ou plus de huit lettres). Les auteurs ont également contrôlé l'âge d'acquisition des mots sélectionnés à l'aide de l'Échelle d'acquisition de l'Orthographe LExicale, (Pothier & Pothier, 2004).

Afin de mieux comprendre les liens et les interactions entre le graphisme et l'orthographe nous allons décrire les modèles de référence de la production écrite.

1.3. Modèles de référence de la production écrite

1.3.1. Modèle de production de texte : Modèle de Kellogg (1996)

Ce modèle (cf Figure 1, Annexe A3) s'articule autour de trois composantes en interaction constante avec la mémoire de travail : le calepin visuo spatial, l'administrateur central et la boucle phonologique.

La première étape de ce modèle de production de texte est la formulation. Il s'agit de la composante permettant de planifier les idées à transcrire et de les traduire en message écrit. La deuxième étape est l'exécution. Cette entité regroupe les procédures qui transforment les idées conceptuelles en action concrète (programmation et exécution de cette action). Enfin, le contrôle permet l'évaluation de ce qui a été produit.

Ce modèle de production de texte ne rend pas compte du processus de transcription contrairement aux trois modèles de comportement d'écriture décrits ci-dessous.

1.3.2. Modèle du comportement d'écriture

1. 3. 2. 1. Modèle de Schmidt (1975)

Ce modèle (cf Figure 2, Annexe A3) part d'un principe de représentation de schémas en mémoire à long terme. Un schéma est un pattern d'action motrice correspondant à la réalisation d'un graphème. Ces schémas sont récupérés en mémoire à long terme puis réalisés par l'intermédiaire de la programmation motrice. Cette mise en action du schéma fait intervenir la mobilisation des membres (récupération d'informations proprioceptives) et l'environnement (récupération d'information extéroceptives). Cela permet l'obtention d'un résultat qui est ensuite évalué. Si l'évaluation estime que le graphème n'est pas adéquat, le sujet recrée un nouveau schéma en se corrigeant.

1. 3. 2. 2. Modèle de Van Galen (1991)

Ce modèle (cf Figure 3, Annexe A4) est centré sur les mécanismes qui permettent la réalisation graphique du message (Garcia-Debanc & Fayol, 2002). Son organisation est modulaire : les modules sont indépendants mais se déclenchent simultanément. Cette simultanéité des processus permettraient d'expliquer une éventuelle surcharge cognitive. Ce modèle est de type top-down, c'est à dire que les mécanismes se déclenchent du cortex vers la périphérie.

Ce modèle se compose de trois parties regroupant plusieurs entités. La première partie s'intéresse aux modules de traitement. Dans cette partie sont regroupés les processus linguistiques et psycholinguistiques qui interviennent dans la production écrite : sélection lexicale, mise en forme syntaxique, sélection allographique (forme de la lettre), déclenchement et ajustement des programmes graphomoteurs. Les étapes des modules de traitement de cette première partie sont mises en relief avec la taille des unités. Enfin, ces deux premières étapes sont reliées au buffer de stockage. Il s'agit de l'entité qui maintient l'unité en mémoire avant son traitement.

1.3.2.3. Modèle de Zesiger (2003)

Le modèle neuropsychologique de Zesiger (cf Figure 5, Annexe A4) s'appuie et complète le modèle de Van Galen (1991). Ce modèle recense les différentes compétences qui interviennent lors du processus de transcription. Le scripteur fait tout d'abord appel à ses connaissances linguistiques. Ce module comprend le nom et le son des lettres ainsi que les connaissances orthographiques. Ensuite, le sujet fait intervenir ses connaissances visuospatiales, c'est dans cette partie du modèle que le sujet sélectionne l'allographe. C'est également dans cette partie qu'il organise spatialement les lettres et les lignes. Enfin, la dernière partie de ce modèle correspond à la programmation motrice. Cette composante régit la posture, la tenue de l'outil scripteur et les points d'appui.

En résumé, ces modèles rendent compte de l'interaction des systèmes linguistiques, orthographiques et graphiques lors de la production écrite. Nous allons maintenant décrire plus précisément les interactions entre l'écriture et l'orthographe.

1.4. Interactions entre l'écriture et l'orthographe

En premier lieu, nous remarquons que les compétences graphiques influencent l'orthographe. Les résultats de l'étude de Pontart et al. (2013) illustrent cela : des difficultés graphiques peuvent causer des erreurs en dictée. Fayol et Miret (2005) ont mis en évidence un lien entre l'étendue de la maîtrise graphomotrice et les performances orthographiques. Les compétences graphiques ont également un impact sur le déroulement temporel de l'orthographe (Pontart et al., 2013 ; Lavoie et al., 2012). En deuxième lieu, nous observons que la production des gestes graphomoteurs peut elle aussi être contrainte par les caractéristiques orthographiques (Kandel & Perret, 2015 ; Witko & Chenu, 2019). Ces auteurs ont révélé que le mouvement est régulé par la complexité orthographique. En effet, lorsque les individus doivent copier ou transcrire des mots complexes sur le plan orthographique, le geste est plus long à exécuter et ainsi moins fluide. La régularité orthographique a donc un effet sur l'exécution du mouvement graphomoteur. La lexicalité et la régularité orthographique influent sur la cinématique et la durée de production des lettres (Roux et al., 2013).

Cinq à dix pour cent des enfants d'âge scolaire seraient atteints de dysorthographe (INSERM, 2007). La lisibilité des enfants dyslexiques-dysorthographiques est inférieure à celle des enfants au développement typique (Cheng Lai et al., 2013). Ces auteurs ont également montré que les enfants dyslexiques-dysorthographiques sont plus lents dans des tâches de transcription.

Ces difficultés de transcription peuvent découler d'un trouble d'automatisation des procédures sollicitées. Nous décrivons ce phénomène dans le paragraphe suivant.

1.4.1. L'automatisation de l'orthographe et du graphisme

Lors de la production écrite, les processus de bas niveau (orthographe et graphisme) sous-tendent des processus de haut niveau : génération et structuration de l'écrit (Morin et al., 2012). La pratique permet aux niveaux de traitement de bas niveau de s'automatiser de manière partielle ou complète. Lorsque les processus de bas niveau sont automatisés, le coût cognitif est diminué ce qui permet de libérer d'autres ressources pour des processus plus complexes. Il s'agit de la théorie de l'automatisation graduelle (Pontart et al., 2013). À l'inverse, lorsque les processus de bas niveau sont peu automatisés ou lorsque les exigences imposées sont trop importantes (Hayes & Flower, 1980), le scripteur se focalisera sur ces processus de bas niveau et ne pourra pas allouer de ressources aux processus de haut niveau (Alamargot, Chesnet, Dansac & Ros, 2006). C'est le cas des enfants de primaire qui consacrent la majorité de leurs ressources attentionnelles à la récupération des lettres en mémoire et à l'exécution graphique. Cela favorise l'apparition d'erreurs orthographiques et grammaticales ainsi qu'une augmentation de la durée de la production écrite (Gosse et al., 2018 ; Morin et al., 2012 ; Pontart et al., 2013 ; Van Reybroeck & Hupet, 2009). Ainsi, selon le point de vue psycholinguistique, un acte graphique perturbé entraîne des erreurs d'orthographe et une surcharge cognitive lors de la transcription (Pourcelot, 2018).

Les difficultés d'automatisation peuvent être évaluées à l'aide de tâches de dictée ou de copie décrites ci-dessous. Nous décrivons ensuite ces méthodes d'évaluation.

1.4.2. La dictée

La tâche de référence utilisée par les cliniciens pour l'évaluation de l'orthographe est la dictée. Cette tâche consiste à traduire un message auditif en une production graphomotrice. La forme phonologique du mot dicté peut appartenir aux représentations en mémoire à long terme. Dans ce cas, la reconnaissance du mot repose sur l'activation du lexique phonologique d'entrée, du système sémantique, et du lexique orthographique de sortie (Rapp, Epstein & Tainturier, 2002). Si le mot est inconnu, c'est la procédure d'assemblage qui sera mobilisée. Cette procédure sera dépendante des caractéristiques intrinsèques du stimulus : régularité, longueur, et fréquence (Zesiger, 2003). Les durées de transcription en dictée sont plus élevées lorsque les mots sont peu fréquents ou irréguliers (Delattre, Bonin, & Barry, 2006). Ainsi, la dictée peut être contrainte par des paramètres psycholinguistiques. En plus des procédures d'assemblage et d'adressage, la dictée mobilise la mémoire tampon orthographique, le niveau allographique et les patterns moteurs graphiques (Perez, 2013).

1.4.3. La copie

La tâche de référence pour l'évaluation du graphisme est la copie. Une épreuve de copie peut également révéler des faiblesses orthographiques. La tâche de copie consiste à reproduire la forme graphique et orthographique d'un mot à partir du même mot écrit par un tiers (Perez, 2013). Pour cela, la prise d'informations peut s'opérer à partir de trois stimuli : la lettre, la syllabe ou le mot entier (Kandel, Valdois & Orliaguet, 2003). Du CP au CE1, l'enfant utilise majoritairement la stratégie d'analyse et de copie lettre à lettre ou

syllabe à syllabe. L'analyse et la copie mot à mot n'est maîtrisée qu'à partir de la classe du CE2 (Kandel et al., 2003). La copie fait intervenir conjointement deux systèmes : le système de lecture qui permet l'analyse de la chaîne de lettres et le système graphomoteur qui permet la transcription du mot traité manuellement. La lexicalité, la fréquence, la familiarité et la longueur des mots influence leur traitement lors d'une tâche de copie (Kandel et al., 2003 ; Humblot et al., 1994).

Les tâches d'évaluation classiques, comme la copie et la dictée, peuvent être complétées dans la recherche par l'utilisation de nouvelles technologies.

1.5. La médiation numérique au service de l'évaluation du graphisme

1.5.1. L'utilisation de la tablette numérique

Les tablettes offrent un accès à certains paramètres non visibles lors de l'évaluation traditionnelle du graphisme. Elles permettent d'étudier de manière objective le mouvement, la trajectoire, la pression, les accélérations, les arrêts inappropriés, ainsi que les durées de lever de crayon à l'intérieur d'une lettre, d'un mot, entre les mots et entre les phrases (Brun, Hénin, Vélay, Beecham & Carriou, 2013 ; Danna, Pinto, Eusebio & Velay, 2014 ; Soppelsa, Matta Abizeid, Chéron, Laurent, Danna & Albaret, 2016). Jusqu'à présent, l'analyse du graphisme se focalise sur la trace écrite et sur une description de la posture sans analyse fine du mouvement. La tablette numérique permet d'enregistrer le décours temporel de la formation des lettres (Danna, Paz-Villagran, Vélay, Gondre, Aramaki, Kronland-Martinet, Ystad & Torrèsani, 2013). Cet outil ouvre donc de nouvelles perspectives pour l'évaluation du graphisme.

1.5.2. La réalité audio augmentée ou sonification

La réalité audio augmentée ou sonification est un processus traduisant un mouvement en information sonore. L'utilisation de ces informations sonores pourrait donc constituer une nouvelle perspective pour le diagnostic de dysgraphie (Danna et al., 2013).

1.5.3. L'enregistrement des mouvements oculaires (ou eye tracking)

La technique de l'enregistrement des mouvements oculaires permet d'étudier le traitement visuel lors de la transcription (Alamargot, Plane, Lambert & Chesnet, 2010). Son utilisation lors de l'évaluation du graphisme n'a pas encore été étudiée : la mise en évidence d'un trouble du traitement visuel pourrait expliquer certaines caractéristiques d'un trouble du graphisme.

Afin d'aboutir à une évaluation détaillée de la trace graphique il peut être intéressant d'étudier les caractéristiques graphiques l'influençant.

1.6. Étude des caractéristiques graphiques

1.6.1. Étude de la complexité graphique dans la littérature

Certains auteurs (Pontart et al., 2013 ; Roux et al., 2013) se sont intéressés à la mesure de la complexité graphique dans le but de comprendre l'influence du graphisme sur les performances orthographiques. Le niveau d'automatisation graphomotrice a été mesuré

grâce à la vitesse de déplacement du stylo et grâce à la durée de l'écriture manuscrite lors de la transcription du prénom, du nom et de l'alphabet. Les auteurs ont ensuite comparé cette norme de transcription automatisée à la durée de transcription lors d'une dictée de mots de fréquence et de régularité variables. Roux et al. (2013) ont quant à eux analysé la durée et le mouvement lors de la production de chaque lettre de l'alphabet au cours d'une épreuve de copie comprenant des mots réguliers, des mots irréguliers et des pseudo-mots. Ainsi, l'objectif de ces études était de comprendre l'influence du graphisme sur les performances orthographiques, pour cela les auteurs ont étudié la durée de production des lettres et la vitesse de déplacement du stylo.

1.6.2. Caractéristiques graphiques de Meulenbroek et Van Galen (1990)

Meulenbroek et Van Galen (1990) sont les premiers auteurs à avoir étudié les facteurs de complexité graphique à l'échelle de la lettre. Pour cela, les auteurs ont évalué la copie de lettres chez des enfants d'âge scolaire. Afin de mesurer la complexité graphique, les auteurs ont étudié la durée du mouvement, la distance parcourue par le stylo, les changements de vitesse, et la courbure des lettres. Ainsi, ils ont identifié trois facteurs induisant une complexité graphique à l'échelle de la lettre : l'ambiguïté spatiale, la variabilité allographique et l'ambiguïté contextuelle

- Le premier critère de complexité mis en évidence est l'ambiguïté spatiale. Il s'agit d'une lettre qui correspond à une autre lettre si on la retourne (horizontalement ou verticalement). Les lettres a, b, d, e, f, p, q, t, u et n sont donc des lettres ambiguës. La lettre a peut être confondue avec un e si on la retourne verticalement, les lettres b et d ainsi que les lettres p et q peuvent aussi être confondues. De plus, les lettres f et t sont proches et les lettres u et n peuvent être confondues. Les lettres avec lesquelles elles peuvent être confondues sont répertoriées en annexe (cf Annexes A5 et 16). Les auteurs ont montré que la copie de lettres ambiguës sur la hampe (par exemple le b et le d) demande plus de temps que la copie de lettres ayant une ambiguïté portant sur le tronc (par exemple le a et le e).

- Le deuxième critère retenu est la variabilité allographique, il s'agit des lettres ayant un allographe différent en style script et en style cursif. Les allographes sont les différentes manières de transcrire une même lettre. Les auteurs ont montré que les enfants mettent plus de temps pour copier les lettres ayant de nombreux allographes. Les lettres a, b, f, g, h, j, k, l, m, n, p, r, s, u, x, y et z sont porteuses de ce critère. Les différents allographes de ces lettres sont détaillés en Annexe (cf Figure 8, Annexe A7 et Annexes A5 et A6).

- Le troisième critère est l'ambiguïté contextuelle, il s'agit de lettres pouvant être perçues comme des signes arithmétiques. Ainsi, les lettres b, g, i, l, o, q, et x véhiculent une ambiguïté contextuelle. En effet, la lettre l peut être confondue avec le chiffre 1 ; la lettre o peut être confondue avec le chiffre 0, la lettre b ressemble au nombre 6, le g ressemble au chiffre 9 et la lettre x ressemble au symbole de la multiplication.

1.6.3. Caractéristiques graphiques de Gosse et al. (2018)

Gosse et al. (2018) ont mené une étude dans le but d'aboutir à une meilleure compréhension de la complexité graphique à l'échelle du mot. Afin de traduire cette complexité, Gosse et al. ont commencé par établir une classification des caractéristiques graphiques à l'échelle de la lettre. Pour aboutir à cette classification, ils ont créé un premier

algorithme en déterminant des caractéristiques graphiques applicables à chaque lettre. Ces caractéristiques sont les suivantes : levers de crayon, angles, retours en arrière, virages x et virages y. La longueur du mot est une caractéristique s'ajoutant aux caractéristiques précédemment citées. Enfin, les liens modifiés interviennent au niveau du mot.

- La longueur d'un mot peut correspondre à différentes mesures. Premièrement, la longueur peut correspondre à l'empatement du mot, soit la distance entre la première et la dernière lettre. La longueur d'un mot peut aussi se mesurer par sa durée de production en secondes (cf Figure 1, Annexe A7). Enfin, la longueur du mot peut correspondre à la distance parcourue par le crayon tout au long de la réalisation de chaque lettre composant le mot et des liens qui les unissent.

- La deuxième caractéristique étudiée est le nombre de levers de crayon (cf Figure 2, Annexe A7). Certaines lettres induisent un lever de crayon avant, pendant ou après leur production. Selon Gosse et al. (2018) les lettres a, o, c, d, g, q induisent un lever de crayon avant leur production. Pour les lettres : d, p, x, q il y a un lever de crayon au milieu de leur production. Enfin, il y a un lever de crayon après les lettres s, t (il s'agit de la barre du t) et q, après les lettres i et j (pour la réalisation du point) et après le â, é, è, ê (pour la réalisation des accents).

- Les angles sont le troisième critère étudié (cf Figure 3, Annexe A7). Les lettres b, v, s, j, p, f sont porteurs d'un angle. La lettre r comporte deux angles. Les auteurs ont fait le choix de considérer que les lettres b et f comportent un angle, dans certains styles d'écriture cet angle est remplacé par une boucle. De la même manière, certaines transcriptions remplacent le premier angle du r par une boucle (cf Figure 3, Annexe A7).

- Les retours en arrière sont le quatrième critère étudié (cf Figure 4, Annexe A7). Un retour en arrière apparaît lorsque le stylo repasse sur une partie de la lettre déjà tracée. Les lettres i, u, m, n, t, y comportent un ou plusieurs retours en arrière.

- Les virages x sont des variations de courbure principalement selon l'axe x : axe horizontal (cf Figure 5, Annexe A7). Les lettres a, b, c, d, e, f, g, h, j, k, l, o, q, s, x, y, z comportent un ou plusieurs virages x.

- Les virages y sont variations de courbure principalement selon l'axe y : axe vertical (cf Figure 4, Annexe A7). De nombreuses lettres comportent un ou plusieurs virages y : a, b, c, d, e, f, g, h, j, k, l, o, q, x, y, z. Les liaisons entre les lettres induisent souvent un virage y.

Les auteurs ont ensuite recherché les caractéristiques graphiques à l'échelle du mot, en effet, la structure graphique d'un mot ne se réduit pas à la somme des caractéristiques des lettres qui le composent. C'est pour cela que les auteurs ont identifié un critère supplémentaire : les liens modifiés. Il s'agit d'une liaison entre deux lettres qui modifie la forme de la deuxième lettre (cf Figure 6, Annexe A7). Les liens modifiés portent également le nom de ligature ou liaison haute. Par exemple, dans le mot « ou », la liaison entre le o et le u modifie la forme du u qui ne comportera plus qu'un retour en arrière à la place de deux retours en arrière. Cette modification induira l'apparition d'un angle.

À l'aide de ces variables ils ont créé un deuxième algorithme. Celui-ci calcule la complexité graphique à l'échelle du mot. Ils ont appliqué cette formule à une base de données et ont sélectionné 48 mots réguliers et fréquents pour une tâche de dictée. Cette tâche a été administrée à des enfants de CE1. Les échantillons graphiques obtenus en dictée ont ensuite été évalués à l'aide de cinq critères du BHK (Charles et al., 2004).

Les résultats de l'étude de Gosse et al. (2018) montrent que les caractéristiques graphiques mises en évidence ont un impact sur la qualité et la vitesse de transcription. Certaines de ces caractéristiques graphiques constituent des critères de complexité graphique car elles sont à l'origine de la plupart des dégradations graphiques. Ainsi, les angles entraînent un ralentissement de la vitesse de transcription et sont à l'origine d'erreurs esthétiques. De plus, les liens modifiés provoquent des distorsions et des modifications de la taille des lettres. En résumé, ces deux caractéristiques induisent la majorité des erreurs. Les virages x ont quant à eux un effet facilitateur sur le geste graphique. Les virages y sont source de difficultés pour la taille des lettres et pour leur alignement. Les levers de crayon entraînent une variation de la taille des lettres et un non respect de l'alignement mais de manière réduite. Les résultats concernant l'impact des retours en arrière sur la réalisation graphique ne sont pas significatifs. Enfin, la longueur du mot provoque des erreurs variées (taille, distorsion, alignement) mais avec des coefficients très faibles.

2. Objectifs

L'objectif de ce mémoire est donc d'analyser la complexité graphique des items de certaines épreuves de copie et de dictée utilisées lors de l'évaluation orthophonique du graphisme et de l'orthographe. Pour cela, nous analyserons, pour les épreuves de copie et de dictée, la complexité des mots à transcrire. Nous analyserons également dans les épreuves de copie la complexité du modèle, c'est à dire la forme des mots présentés que l'enfant doit lire puis transcrire. Nous étudierons également l'évolution de la complexité graphique en fonction de l'âge d'application des épreuves afin d'analyser l'adaptation du contenu des épreuves aux âges d'automatisation de l'acte graphique. Enfin, nous analyserons le contenu des épreuves afin de mettre en évidence un éventuel effet d'apprentissage du geste pour transcrire certains mots.

Méthodologie

Une méthodologie spécifique à la mesure de la complexité graphique a donc été imaginée et appliquée aux épreuves retenues. Nous présenterons dans un premier temps les épreuves graphiques et orthographiques sélectionnés ainsi que les critères de complexité recherchés. Ensuite, les procédures de recueil et de traitement des données seront détaillées.

1. Matériel

Nous avons choisi d'étudier la complexité graphique de l'épreuve de copie de texte du BHK (Charles et al., 2014) car il s'agit d'un test couramment utilisé par les orthophonistes et par d'autres professionnels (psychomotricien, ergothérapeute, etc). Nous avons également retenu l'épreuve de copie de texte d'EVALEO(c) (Touzin et al., 2018) car il s'agit de l'épreuve la plus récemment publiée.

Nous analyserons les 143 premiers mots du texte du BHK (Charles et al., 2014) afin que sa longueur soit comparable à celle du texte de copie d'EVALEO(c) (Touzin et al., 2018) qui

contient 142 mots. Les auteurs de ces deux outils d'évaluation indiquent que l'enfant n'est pas pénalisé s'il transcrit les majuscules en minuscules. Ainsi, nous avons remplacé les lettres initiales majuscules par des minuscules pour notre analyse.

Nous analyserons également les trente mots de la dictée de mots réguliers, de mots réguliers complexes, de mots irréguliers et de pseudo-mots de la BALE (Jacquier-Roux et al., 2010). Nous étudierons également les 166 mots des dictées de mots réguliers, de mots irréguliers et de pseudo-mots d'EVALEO(d) (Touzin et al., 2018) du CE1 à la 3ème.

Ainsi, au total, neuf épreuves ont été étudiées. Le tableau 1 représente le contenu de ces épreuves en termes de nombre de mots, de nombres de lettres et de nombre de caractères (accents et apostrophe). Nous distinguons l'accent circonflexe des autres accents et de l'apostrophe car ils ne sont pas porteurs de la même complexité. En effet, l'accent circonflexe est porteur d'un angle. Nous avons ensuite comptabilisé les caractéristiques graphiques de Gosse et al. (2018) à l'intérieur de ces neuf épreuves et nous avons comptabilisé les critères de complexité de Meulenbroek et Van Galen (1990) dans les deux épreuves de copie.

Tableau 1. Contenu des épreuves retenues et critères étudiés.

	Nombre de mots	Nombre de lettres	Lettres absentes	Nombre de caractères			Critères étudiés Gosse et al. (2018)	Critères étudiés Meulenbroek & Van Galen (1990)
				Accents aigu, grave et apostrophe	Accent circonflexe	Nombre total d'accents		
EVALEO(c)	141	616	k w y z	20	4	24	X	X
BHK-copie	142	573	k w z	19	2	21	X	X
BALE-dictée CE1-CM2	30	174	k w y z	0	1	1	X	
EVALEO(d) CE1	14	85	d k q v w y z	0	0	0	X	
EVALEO(d) CE2	24	169	k w y z	1	0	1	X	
EVALEO(d) CM1	28	195	k w z	10	1	11	X	
EVALEO(d) CM2	27	196	f k q v w x z	7	0	7	X	
EVALEO(d) 6ème-5ème	31	255	j k w z	7	0	7	X	
EVALEO(d) 4ème-3ème	42	374	j k w z	9	0	9	X	

2. Méthode

Nous allons ici détailler les caractéristiques graphiques comptabilisées ainsi que les critères de complexité recherchés. Nous expliquerons également le calcul du score de complexité cumulée et du score de mots répétés.

2.1. Élaboration d'une règle de tracé de référence

Un ductus est le mouvement retenu pour aboutir à la formation des lettres. Nous avons établi une règle de référence pour le tracé de chacune des lettres de l'alphabet en suivant le cadre d'enseignement préconisé par l'Education Nationale Française (Eduscol, 2015). Le lien permettant de visualiser ce ductus est disponible dans la bibliographie. En effet, le ductus proposé par Gosse et al. (2018) suit le modèle de Education Nationale Belge et ne correspond pas au modèle français pour toutes les lettres. Le tableau 2 répertorie les

différences entre les ductus de l'étude et ceux que nous avons retenus pour être au plus proche des recommandations françaises en matière d'enseignement de l'écriture.

Tableau 2. Ductus retenu en comparaison au ductus de Gosse et al. (2018).

Lettre	Ductus selon Gosse et al. (2018)	Ductus retenu (Eduscol, 2015)
d	Lever de crayon après le virage x	Retour en arrière sur le trait vertical
↑	Lever de crayon après le trait vertical	Retour en arrière sur le trait vertical
q	Lever de crayon après le trait vertical	Retour en arrière sur le trait vertical
l, i, j, é, è, ê, â	Lever de crayon après la réalisation de la lettre pour le tiret, l'accent, ou le point	Réalisation du tiret, de l'accent ou du point à la fin du mot ou au moment d'un lever de crayon ultérieur
y	Virage y au début de la lettre	Retour en arrière comme pour la réalisation d'un u

2.2. Caractéristiques graphiques

Étudier la complexité graphique des mots des épreuves précédemment citées suppose la recherche des caractéristiques graphiques à l'intérieur de ces mots. Pour cela, nous avons adapté ces sept caractéristiques.

Nous avons tout d'abord adapté le mode de mesure de la longueur des mots. Dans leur étude, Gosse et al., (2018) mesuraient la longueur du mot à l'aide d'un logiciel sur tablette graphique. N'ayant pas accès à ce type de logiciel, nous avons fait le choix de mesurer la longueur du mot en comptant le nombre de pixels dans chaque mot. Cette mesure a l'avantage de rendre compte de la longueur exacte du tracé en mesurant le chemin total effectué par le crayon. Pour compter le nombre de pixels par mot nous avons utilisé le logiciel de dessin « Gimp (2. 10. 14) » (Gnome Foundation, 2019) appliqué à la police de caractère Dumont®. Lorsque le stylo passe deux fois sur une partie de la lettre, les pixels étaient comptés en double afin de rendre compte le plus précisément possible du chemin parcouru par l'outil scripteur. Ce processus de mesure de la longueur des mots étant long, il a été appliqué uniquement aux mots des épreuves de copie.

La deuxième caractéristique étudiée est le nombre de levers de crayon (cf Figure 2, Annexe A7). Les lettres a, o, c, d, g, q imposent un lever de crayon avant leur production. Pour la lettre x il y a un lever de crayon au milieu de sa production. Enfin, il y a un lever de crayon après la lettre s.

Les angles sont le troisième critère étudié (cf Figure 3, Annexe A5). Les lettres b, v, s, j, p, f sont porteuses d'un angle. La lettre r comporte deux angles.

Les retours en arrière sont le quatrième critère étudié (cf Figure 4, Annexe A7). Les lettres a, d, g, h, i, n, t, p et w comportent un retour en arrière. Les lettres m, u et y contiennent deux retours en arrière. La lettre q comprend un retour en arrière lorsqu'elle est en position médiane.

Les virages y sont des variations de courbure principalement sur l'axe vertical (cf Figure 4, Annexe A7). Toutes les lettres comportent un ou plusieurs virages y. Les liaisons entre les lettres font souvent intervenir un virage y.

Les virages x sont des variations de courbure principalement sur l'axe horizontal (cf Figure 5, Annexe A7). Les lettres a, b, c, d, e, f, g, h, j, k, l, o, q, s, x, y, z contiennent un ou plusieurs virages x.

Enfin, les liens modifiés ont été comptabilisés.

Les exemples (cf figure 9, Annexe A7) illustrent les caractéristiques graphiques à l'intérieur d'un mot.

2.2. Critères de complexité du modèle présenté en copie

Nous avons ensuite étudié les trois critères révélés dans l'article de Meulenbroeck et Van Galen (1990) en les comptabilisant dans les mots des deux épreuves de copie retenues.

Nous avons donc comptabilisé les lettres porteuses d'ambiguïté spatiale à l'intérieur des mots. Les lettres a, b, d, e, f, n, p, q, t et u induisent une ambiguïté spatiale. Nous avons également compté les lettres porteuses d'une variabilité allographique. Les lettres a, b, f, g, h, j, k, l, m, n, p, r, s, x, y et z sont porteuses d'une variabilité allographiques. Enfin, nous avons comptabilisé les lettres porteuses d'une ambiguïté contextuelle. Les lettres b, g, i, l, o, x, et q sont porteuses d'une ambiguïté contextuelle.

2.3. Score de complexité cumulée

Un score de complexité cumulée a ensuite été calculé. L'objectif de ce score est de rendre compte du niveau de complexité global d'un mot. Pour ce faire nous avons additionné le nombre d'angles et le nombre de liens modifiés à l'intérieur de chaque mot. En effet, ces deux critères provoquent la majorité des erreurs graphiques selon Gosse et al. (2018). Ce score de complexité cumulée a été calculé pour l'ensemble des mots des épreuves de copie et de dictée.

2.4. Score de mots répétés

Nous avons également comptabilisé les mots apparaissant à plusieurs reprises dans les épreuves de copie. Ce score permettra de mettre en évidence un possible effet d'apprentissage du geste graphique à l'intérieur des épreuves. En effet, si un mot est transcrit à plusieurs reprises il pourra faire l'objet d'un effet d'apprentissage. Afin de comptabiliser les mots ayant plusieurs occurrences dans ces épreuves nous avons établi deux catégories de mots. La première regroupe les mots grammaticaux ou mots outils. Ces mots sont fréquemment rencontrés par l'enfant et ainsi fréquemment transcrits. Leur fréquence d'usage sur Manulex (Lété et al., 2004) est supérieure à 1000 (sauf pour le mot « vers » qui a une fréquence de 653). La deuxième catégorie comprend les noms et les verbes. Ces mots sont moins fréquemment rencontrés par l'enfant. Leur fréquence d'usage sur Manulex (Lété et al., 2004) est inférieure à 1000. Nous avons différencié ces deux catégories de mots afin d'étudier plus précisément les noms et les verbes qui seront la cible d'un effet d'apprentissage. Les mots grammaticaux seront moins sensibles à cet effet car ils sont déjà fréquemment transcrits. Par exemple, le mot « un » est un mot outil fréquemment transcrit par l'enfant. Ainsi, la transcription est relativement automatisée. Ce mot ne sera donc pas ciblé par un effet apprentissage. À l'inverse, le mot « pâtissier » est un nom variable et rarement rencontré par l'enfant. Si ce mot apparaît à plusieurs reprises dans

l'épreuve, l'enfant entraînera sa transcription et ainsi ce mot pourra être la cible d'un effet d'apprentissage.

3. Procédure

3.1. Recueil des données

Nous avons tout d'abord retranscrit manuellement les 445 mots et pseudo-mots des épreuves retenues en respectant le ductus sélectionné. Nous avons ensuite comptabilisé chacune des caractéristiques graphiques à l'intérieur des mots et des pseudo-mots. Nous avons calculé le score de complexité cumulée pour chacun des mots et pseudo-mots. Nous avons ensuite comptabilisé les mots apparaissant à plusieurs reprises dans les épreuves de copie. Puis, nous avons intégré ces données à un classeur Excel. Les mots ont ensuite été transcrits sur ordinateur en utilisant la police de caractères cursifs Dumont®. Puis, les critères ont été comptabilisés sur cette police de caractères afin de comparer nos premiers résultats aux résultats obtenus avec une police uniformisée.

Nous avons analysé les mots des tâches de copie en aveugle (analyse de la transcription manuelle comparée avec l'analyse de la transcription de la police de caractères). Au cours de cette analyse, deux observateurs ont comptabilisés les caractéristiques graphiques des mots sans voir ce que l'autre observateur avait comptabilisé.

Cette analyse en aveugle a révélé que les divergences d'analyse concernaient 2,39% des mots. Celles-ci portaient principalement sur les virages y. Nous avons donc dû nous accorder et mieux clarifier leur définition. Pour cela, nous avons été aidé par un ingénieur spécialiste des courbes et des surfaces. Une fois ce travail d'homogénéisation terminé, il s'est avéré que les erreurs restantes ne pouvaient être attribuées qu'à un défaut d'attention. Cette analyse ne faisant pas intervenir de notion de subjectivité, les autres tests ont ensuite été analysés par une seule personne.

Nous avons également rencontré un ingénieur spécialisé dans le domaine de l'Intelligence Artificielle afin d'élaborer un protocole d'OCR (Reconnaissance Optique de Caractère) basé sur l'Intelligence Artificielle pour analyser les mots de façon automatique et rapide ainsi que de minimiser les erreurs de comptage et d'analyse. Il a été nécessaire de lui fournir l'ensemble des mots des épreuves retranscrits de manière homogène manuellement et à l'ordinateur. Pour faciliter la mise en place du protocole, nous avons mis en place un tableau répertoriant les caractéristiques graphiques appliquées à chaque lettre. Ce tableau prend en compte la place occupée par la lettre dans le mot (initiale, médiane, finale). En effet, les liaisons entre les lettres peuvent être porteuses de complexité. Ce tableau est disponible en Annexes A5 et A6.

3.2. Traitement des données

Les données recueillies ont été répertoriées dans un tableur Excel. L'analyse statistique des données a été réalisée par des internes en médecine spécialisés en biostatistiques à l'aide du logiciel RStudio (RStudio, 2019). L'utilisation de ce logiciel a permis d'obtenir les différentes analyses et les graphiques utiles à notre étude. Chaque test a été analysé de manière individuelle. Ainsi, pour chacun des tests : la moyenne, la médiane, l'écart-type, le

maximum et le minimum des scores ont été calculés par ce logiciel. Des diagrammes en barre ont également été produits rendant compte de la distribution des items dans chaque test. Les comparaisons entre paires de tests ont été réalisées à l'aide du test U de Wilcoxon-Mann Whitney. Nous avons préféré ce test au Test de Student car la distribution de nos scores ne suit pas une loi normale. De plus, nous avons observé un bornage à zéro (beaucoup de valeurs proches de zéro). Ce test a pour objectif de déterminer si la différence observée entre deux moyennes est statistiquement significative. Ce test statistique a été appliqué aux moyennes des scores de complexité, des scores d'angle et des scores de liens modifiés pour les épreuves de copie. Ce test statistique n'a pas pu être appliqué aux résultats des épreuves de dictée car celles-ci sont peu comparables. Elles présentent en effet une grande hétérogénéité de taille (nombre d'items) et de contenu. En raison de la crise sanitaire du Coronavirus nous avons interrompu l'analyse statistique des données. Nous avons donc étudié ces données de manière descriptive.

Résultats

Les résultats obtenus pour chacune des caractéristiques graphiques citées précédemment seront détaillés dans cette partie. Nous décrivons tout d'abord les résultats pour les critères de complexité dans les épreuves de copie puis dans les épreuves de dictée, enfin nous évoquerons les mots apparaissant à plusieurs reprises dans les épreuves de copie. Pour chaque test, les diagrammes en barres en annexe 5 (cf Annexes A8 à A12) illustrent la distribution des scores pour chaque critère.

1. Résultats pour les épreuves de copie

1.1. Scores des caractéristiques graphiques

1.1.1. Mesure de la longueur des mots

La longueur des mots a pu être mesurée pour les 285 mots des épreuves de copie.

1.1.2. Scores de levers de crayon théoriques

Le tableau 3 présente les scores de levers de crayon théoriques.

Tableau 3. Scores de levers de crayon théoriques.

	Moyenne	Écart-type	Médiane	Minimum	Maximum
EVALEO(c)	0,87	0,99	1	0	4
BHK	0,64	0,77	0	0	4

Nous remarquons que le score moyen de levers de crayon théoriques est plus élevé dans EVALEO(c) que dans le BHK. La distribution des scores, observée à l'aide des diagrammes, est assez similaire entre les deux épreuves.

1.1.3. Scores d'angles

Le tableau 4 reprend les scores d'angles obtenus dans les deux épreuves.

Tableau 4. Scores d'angles.

	Moyenne	Écart-type	Médiane	Minimum	Maximum	Test de Wilcoxon p-value
EVALEO(c)	1,66	1,89	1	0	8	0,16
BHK	1,18	1,28	1	0	5	

Nous observons que le score moyen d'angles est plus élevé dans EVALEO(c) que dans le BHK. Le nombre maximal d'angles dans un mot est également plus élevé dans ce test. Les médianes sont semblables dans ces deux épreuves. Le nombre maximal d'angles par mot est supérieur dans EVALEO(c). Dans cette épreuve, douze mots ont plus de cinq angles alors que dans le BHK deux mots ont cinq angles. La distribution du nombre de mots contenant de zéro à trois angles est similaire dans les deux épreuves alors que la distribution de mots ayant plus de trois angles diffère entre le BHK et EVALEO(c). Le coefficient de Wilcoxon obtenu est de 0,16 et est non significatif ($p > 0,05$).

1.1.4. Scores de retours en arrière

Le tableau 5 rend compte des scores de retours en arrière pour ces épreuves.

Tableau 5. Scores de retour en arrière.

	Moyenne	Écart-type	Médiane	Minimum	Maximum
EVALEO(c)	2,09	1,67	2	0	8
BHK	2,13	1,76	2	0	7

Nous observons que les moyennes sont proches et que les médianes sont identiques. Le nombre maximal de retours en arrière dans un mot est plus élevé pour EVALEO(c). Les distributions des scores de retours en arrière sont proches pour les deux épreuves de copie.

1.1.5. Scores des virages x

Le tableau 6 présente les scores des virages x.

Tableau 6. Scores de virages x.

	Moyenne	Écart-type	Médiane	Minimum	Maximum
EVALEO(c)	3,56	2,33	3	0	10
BHK	3,31	1,97	3	0	10

Nous remarquons que le score moyen de virages x est très proche pour EVALEO(c) et pour le BHK. Les médianes et le maximum de ces deux épreuves sont similaires. La distribution des scores de virages x est assez similaire entre ces deux épreuves.

1.1.6. Scores des virages y

Les résultats des scores de virages y sont présentés dans le tableau 7.

Tableau 7. Scores de virage y.

	Moyenne	Écart-type	Médiane	Minimum	Maximum
EVALEO(c)	10,03	5,42	9	3	29
BHK	8,93	4,46	8	2	22

Nous constatons que le score moyen de virages y est supérieur dans l'épreuve d'EVALEO(c) que dans l'épreuve de BHK. De plus, le nombre maximal de virages y dans un mot est supérieur dans EVALEO(c) mais la distribution des scores est différente.

1.1.7. Scores de liens modifiés

Le tableau 8 rend compte des scores de liens modifiés.

Tableau 8. Scores de liens modifiés.

	Moyenne	Écart-type	Médiane	Minimum	Maximum	Test de Wilcoxon p-value
EVALEO(c)	0,32	0,65	0	0	5	0,09
BHK	0,19	0,41	0	0	2	

Nous constatons que la moyenne du nombre de liens modifiés d'EVALEO(c) est supérieure à la moyenne du BHK. Le nombre maximal de liens modifiés à l'intérieur d'un mot est supérieur dans EVALEO(c). Nous remarquons que les deux épreuves ont une distribution des scores de liens modifiés semblable. Le coefficient de Wilcoxon obtenu est de 0,09 et est non significatif ($p > 0,05$). C'est dans l'épreuve d'EVALEO(c) qu'on trouve le mot contenant le plus de liens modifiés : il s'agit du mot « ouvrier » qui contient 5 liens modifiés.

1.1.8. Scores d'ambiguïté spatiale

Le tableau 9 présente les scores d'ambiguïté spatiale dans ces épreuves.

Tableau 9. Scores d'ambiguïté spatiale.

	Moyenne	Écart-type	Médiane	Minimum	Maximum
EVALEO(c)	2,16	1,39	2	0	6
BHK	2,13	1,47	2	0	6

Nous remarquons que le nombre moyen de mots ayant des lettres porteuses d'ambiguïté spatiale est très proche dans ces deux épreuves. Le nombre maximal d'ambiguïtés spatiales dans un mot est supérieur dans EVALEO(c).

La distribution des scores d'ambiguïté spatiale est proche dans les deux épreuves de copie.

1.1.9. Scores de variabilité allographique

Les valeurs des scores de variabilité allographique sont inscrites dans le tableau 11.

Tableau 10. Scores d'ambiguïté spatiale.

	Moyenne	Écart-type	Médiane	Minimum	Maximum
EVALEO(c)	2,42	1,53	2	0	8
BHK	2,02	1,26	2	0	6

Nous remarquons que le nombre moyen de mots ayant des lettres porteuses de variabilité allographique est proche dans les deux épreuves. La moyenne de la variabilité allographique est un peu plus élevée dans EVALEO(c). Le nombre maximal de lettres ayant une variabilité allographique est plus élevé dans EVALEO(c).

La distribution des scores de variabilité allographique diffère entre les épreuves. En effet, EVALEO(c) contient plus de mots n'ayant pas de lettres porteuses de variabilité allographique. Le BHK contient plus de mots ayant deux ou trois lettres contenant une variabilité allographique.

1.1.10. Scores d'ambiguïté contextuelle

Le tableau 11 présente les scores d'ambiguïté contextuelle pour ces épreuves.

Tableau 11. Scores d'ambiguïté contextuelle.

	Moyenne	Écart-type	Médiane	Minimum	Maximum
EVALEO(c)	1,02	1,11	1	0	5
BHK	0,7	0,78	1	0	3

Le nombre moyen de mots contenant des lettres porteuses d'ambiguïté contextuelle

est supérieur dans EVALEO(c). Le nombre maximal d'ambiguïté contextuelle à l'intérieur d'un mot est supérieur dans EVALEO(c).

Dans les deux tests, les mots contiennent une distribution semblable des scores d'ambiguïté contextuelle. Le BHK contient majoritairement des mots sans ambiguïté contextuelle et quelques mots contenant une unique ambiguïté contextuelle. EVALEO(c) contient plus de mots ayant deux ambiguïtés contextuelles.

1.2. Scores de complexité cumulée

Le tableau 12 rend compte des scores de complexité cumulée pour chaque test.

Tableau 12. Scores de complexité cumulée.

	Moyenne	Écart-type	Médiane	Minimum	Maximum	Test de Wilcoxon p-value
EVALEO(c)	1,98	2,3	1	0	11	0,18
BHK	1,37	1,47	1	0	6	

Nous remarquons que le score moyen de complexité est plus élevé dans EVALEO(c) que dans le BHK. Le score maximal de complexité est également plus élevé dans cette épreuve. Dans les diagramme en barres, nous observons que dans le BHK et dans EVALEO(c) la majorité des items sont peu complexes (score de complexité entre 0 et 1). Le BHK contient peu d'items complexes (items de complexité 5 et 6), EVALEO(c) en contient 6 (complexité de 5 à 11). Le coefficient de Wilcoxon obtenu est de 0,18 et est non significatif ($p > 0,05$).

1.3. Scores de répétition de mots

Les mots apparaissant à plusieurs reprises dans les épreuves de copie ont été répertoriés dans le tableau 13.

Concernant la répétition des mots invariables dans les épreuves de copie nous observons que cinq mots apparaissent à plusieurs reprises dans EVALEO(c) contre trois mots dans le BHK. Seule l'épreuve de copie d'EVALEO(c) présente un mot invariable présent à plus de deux reprises, il s'agit du mot « fossé ». Les mots invariables ont un nombre d'occurrences supérieur aux mots variables dans les deux tests étudiés.

Tableau 13. Mots apparaissant à plusieurs reprises dans les épreuves de copie.

	Mots variables	Nombre d'occurrences dans l'épreuve	Fréquence estimée d'usage d'après Manulex	Mots invariables	Nombre d'occurrences	Fréquence estimée d'usage d'après Manulex
EVALEO(c)	pâtissier	2	15,26	un	6	17483,2
	cheval	2	342,71	dans	3	8741,06
	fossé	3	13,38	la	4	25855,45
	ronces	2	4,44	il	8	16617,69
	cueillir	2	47,3	à	4	15846,63
				son	3	3985,79
				de	6	31333,79
				ses	2	2329,55
				d'	2	8013,32
				le	4	27585,93
				se	3	6404,69
				les	3	17911,12
				pour	2	5802,74
			et	2	17672,14	

	Mots variables	Nombre d'occurrences dans l'épreuve	Fréquence estimée d'usage d'après Manulex	Mots invariables	Nombre d'occurrences	Fréquence estimée d'usage d'après Manulex
BHK	eau	2	975,85	il	3	16617,69
	enfants	2	391,89	je	7	6580,25
	femme	2	230,16	de	5	31333,79
	donnait	2	34,75	l'	2	12383,74
	étais	2	211,72	mais	2	3205,27
				ne	2	5261,15
				elle	2	5338,94
				les	2	17911,12
				une	4	11266,38
				des	6	10669,61
				le	2	27585,93
				plus	2	3723,1
				à	2	15846,63
				et	3	17672,14
				la	2	25855,45
				vers	2	653,9
			un	3	17483,2	
			j'	3	2621,64	
			me	2	1466,76	

2. Résultats pour les épreuves de dictée

2.1. Scores des caractéristiques graphiques

2.1.1. Mesure de la longueur des mots

La longueur des mots n'a pas pu être mesurée pour les épreuves de dictée.

2.1.2. Scores de levers de crayon théoriques

Le tableau 14 présente les scores de levers de crayon théoriques pour ces épreuves.

Tableau 14. Scores de levers de crayon.

	Moyenne	Écart-type	Médiane	Minimum	Maximum
BALE	1,51	1,09	1	0	4
EVALEO(d) CE1	1,5	0,85	2	0	3
EVALEO(d) CE2	2	1,25	2	0	4
EVALEO(d) CM1	1,79	1,23	2	0	5
EVALEO(d) CM2	1,33	0,83	1	0	3
EVALEO(d) 6ème-5ème	1,77	1,06	2	0	4
EVALEO(d) 4ème-3ème	2,31	1,07	2	0	5

Nous observons que les moyennes de levers de crayon théoriques dans les épreuves d'EVALEO(d) sont assez proches mais parfois hétérogènes. Les épreuves de CE2 et de 4ème-3ème se démarquent avec des moyennes plus élevées. Le score moyen de levers de crayon de la BALE est proche de celui d'EVALEO(d) CE1.

2.1.3. Scores d'angles

Le tableau 15 reprend les résultats des scores d'angles pour les épreuves.

Tableau 15. Scores d'angles.

	Moyenne	Écart-type	Médiane	Minimum	Maximum
BALE	2,25	1,21	2	0	4
EVALEO(d) CE1	2,43	1,45	2	0	5
EVALEO(d) CE2	2,46	1,69	3	0	5
EVALEO(d) CM1	2,43	1,32	2	0	5
EVALEO(d) CM2	2,56	1,48	2	0	5
EVALEO(d) 6ème-5ème	2,65	1,64	2	0	6
EVALEO(d) 4ème-3ème	3	1,5	3	0	6

Nous remarquons que le score moyen d'angles est proche dans les épreuves de dictée d'EVALEO(d) du CE1 à la 5ème. Nous observons que le score moyen d'angles pour l'épreuve de dictée 4ème-3ème est plus élevé. Le nombre maximal d'angles est plus élevé dans les épreuves de 6ème-5ème et de 4ème-3ème. Le nombre moyen d'angles dans l'épreuve de la BALE est inférieur à ceux des épreuves d'EVALEO(d).

Le nombre moyen d'angles est plus élevé dans les épreuves de dictée que dans les épreuve de copie (EVALEO(c) et BHK).

2.1.4. Scores de retours en arrière

Les scores de retours en arrière sont inscrits dans le tableau 16.

Tableau 16. Scores de retour en arrière.

	Moyenne	Écart-type	Médiane	Minimum	Maximum
BALE	3,17	1,53	3	0	6
EVALEO(d) CE1	3,14	1,75	3	1	7
EVALEO(d) CE2	3,58	1,67	3	1	6
EVALEO(d) CM1	3,5	1,82	3	1	8
EVALEO(d) CM2	3,89	2,14	4	0	8
EVALEO(d) 6ème-5ème	4,52	2,31	5	0	11
EVALEO(d) 4ème-3ème	5,31	2,16	5,5	1	10

Nous remarquons une augmentation du nombre moyen de retours en arrière en fonction de la classe d'application de l'épreuve. Les médianes augmentent elles-aussi de façon croissante en fonction de l'âge. L'épreuve de dictée de la BALE a un nombre moyen de retour en arrière proche de l'épreuve de dictée d'EVALEO(d) CE1.

Nous constatons également que le nombre moyen de retours en arrière est plus élevé dans les épreuves de dictée que dans les épreuves de copie.

2.1.5. Scores de virages x

Le tableau 17 présente les scores des virages x.

Tableau 17. Scores de virages x.

	Moyenne	Écart-type	Médiane	Minimum	Maximum
BALE	4,67	1,47	4,5	2	9
EVALEO(d) CE1	4,71	1,49	5	3	8
EVALEO(d) CE2	6,25	2,77	5,5	2	12
EVALEO(d) CM1	6,32	1,44	6	3	9
EVALEO(d) CM2	5,78	1,83	5	3	10
EVALEO(d) 6ème-5ème	6,81	2,29	7	0	11
EVALEO(d) 4ème-3ème	6,98	2,36	7	2	14

Nous observons que les moyennes du nombre de virages x dans les épreuves de dictée d'EVALEO(d) sont inhomogènes. La moyenne pour la dictée de CE1 est inférieure aux autres dictées. La moyenne de CM2 est inférieure aux moyennes de CE2 et CE1. Enfin, les moyennes de 6ème-5ème et de 4ème-3ème sont proches. Le nombre moyen de virages x pour la dictée de la BALE est inférieur à celui de la dictée d'EVALEO(d) CE1.

Les moyennes des épreuves de dictée sont supérieures aux épreuves de copie.

2.1.6. Scores de virages y

Les résultats des scores de virages y sont présentés dans le tableau 18.

Tableau 18. Scores de courbe y.

	Moyenne	Écart-type	Médiane	Minimum	Maximum
BALE	13,57	2,79	14	8	19
EVALEO(d) CE1	13,36	3,46	15	8	19
EVALEO(d) CE2	15,67	5,67	15	8	29
EVALEO(d) CM1	16,04	4,01	16	9	26
EVALEO(d) CM2	16,3	4,57	15	10	28
EVALEO(d) 6ème-5ème	19,06	4,36	20	11	28
EVALEO(d) 4ème-3ème	20,19	5,58	19,5	11	34

Nous observons que dans EVALEO(d) les moyennes du nombre de virages y sont croissantes en fonction du niveau scolaire. Nous observons également que le nombre maximal de virages y par mot augmente en fonction du niveau scolaire sauf pour le CE2. Le nombre moyen de virages y dans la BALE est proche du nombre moyen de virages y dans la dictée d'EVALEO(d) CE1.

Le nombre moyen de virages y dans les épreuves de dictée est supérieur à celui des épreuves de copie.

2.1.7. Scores de liens modifiés

Le tableau 19 rend compte des résultats de liens modifiés.

Tableau 19. Scores de liens modifiés.

	Moyenne	Écart-type	Médiane	Minimum	Maximum
BALE	0,57	0,59	1	0	2
EVALEO(d) CE1	0,43	0,51	0	0	1
EVALEO(d) CE2	0,46	0,51	0	0	1
EVALEO(d) CM1	0,57	0,69	0	0	2
EVALEO(d) CM2	0,59	0,57	1	0	2
EVALEO(d) 6ème-5ème	0,52	0,57	0	0	2
EVALEO(d) 4ème-3ème	0,55	0,71	0	0	2

Nous observons que les moyennes du nombre de liens modifiés à l'intérieur des mots des épreuves de dictée d'EVALEO(d) sont très proches et sont plus élevées en CM1 et en CM2. La moyenne de liens modifiés de la BALE est semblable à celle de la dictée d'EVALEO(d) en CM1. Dans les épreuves de dictée d'EVALEO(d) du CE1 à la 5ème la distribution des items est proche avec un nombre proche d'items ayant un seul lien modifié et d'items n'ayant pas de lien modifié. Dans l'épreuve de 5ème-4ème, la distribution des scores diffère légèrement avec plus d'items sans lien modifié et plus d'items ayant deux liens modifiés que dans les autres tranches d'âge.

Les moyennes des épreuves de dictée sont supérieures aux moyennes des épreuves de copie.

2.2. Scores de complexité cumulée

Le score de complexité cumulée a été étudié pour les 196 mots des épreuves de dictée. Le tableau 20 rend compte des scores de complexité cumulée pour chaque test.

Tableau 20. Scores de complexité cumulée.

	Moyenne	Écart-type	Médiane	Minimum	Maximum
BALE	2,83	1,38	3	0	6
EVALEO(d) CE1	2,86	1,66	2,5	0	5
EVALEO(d) CE2	2,92	1,95	3	0	6
EVALEO(d) CM1	3	1,81	2	0	6
EVALEO(d) CM2	3,15	1,51	3	0	6
EVALEO(d) 6ème-5ème	3,16	1,75	3	0	6
EVALEO(d) 4ème-3ème	3,55	1,58	4	0	8

Nous remarquons que le score de complexité moyen est croissant en fonction de l'âge d'application de l'épreuve dans EVALEO(d). Le score de complexité moyen de la BALE est inférieur à ceux d'EVALEO(d). La distribution des scores de complexité pour les épreuves de dictée d'EVALEO(d) est donc assez similaire selon les âges. L'épreuve des 4ème-3ème se démarque avec un maximum plus élevé et une médiane plus élevée.

Discussion

Notre étude avait différents objectifs : analyser les caractéristiques et la complexité graphique de tâches de copie et de dictée fréquemment utilisées en pratique clinique orthophonique. Chacun des objectifs sera traité individuellement. Nous verrons dans cette partie comment nos résultats nous permettent de répondre aux objectifs cités précédemment, les limites de notre étude ainsi que les perspectives de ce travail.

1. Niveau de complexité graphique

1.1. Complexité graphique des épreuves de copie

Les angles et les liens modifiés ont été identifiés comme étant les caractéristiques graphiques à l'origine de la majorité des dégradations graphiques (Gosse et al., 2018). Un score de complexité cumulée a donc été calculé pour rendre compte de la complexité à l'échelle des épreuves. Ainsi, ces différents résultats nous renseignent sur la complexité globale des épreuves de copie.

Les résultats des scores de complexité cumulée indiquent que EVALEO(c) contient des mots de complexité élevée et de complexité supérieure au BHK.

Concernant les résultats des scores d'angles dans les épreuves de copie, nous retenons que le nombre moyen d'angles est supérieur dans la copie d'EVALEO(c). Cette épreuve contient plus de mots ayant beaucoup d'angles.

En ce qui concerne les résultats des scores de liens modifiés, nous constatons que EVALEO(c) contient plus de mots ayant un nombre important de liens modifiés. De plus, EVALEO(c) contient un mot contenant cinq liens modifiés ce qui est notable.

Le test U de Wilcoxon-Mann Whitney ne permet pas de conclure à une différence statistiquement significative entre les deux moyennes.

Ainsi, les résultats évoqués précédemment suggèrent que l'épreuve de copie d'EVALEO(c) est plus complexe que l'épreuve de copie du BHK sur le plan clinique. En effet, la copie d'EVALEO(c) contient plus de mots porteurs d'un nombre important de critères de complexité. Il nous est difficile de conclure sur le niveau de complexité global de ces épreuves car nous ne disposons pas de normes. Le niveau de complexité des épreuves de copie ne serait donc pas trop élevé. Les compétences graphiques seront évaluées à leur juste valeur (Alamargot et al., 2006).

Les mots les plus complexes de ces deux épreuves de copie sont répertoriés en annexe (cf Annexe A13 et A14). Il serait important d'accorder une attention particulière à ces mots lors de l'analyse des corpus. En effet, la complexité graphique de ces mots risque d'augmenter le coût cognitif. Cette surcharge cognitive pourra influencer les traitements graphique et orthographique en induisant des erreurs sur ces deux plans.

1.2. Complexité graphique des épreuves de dictée

La complexité graphique des épreuves de dictée est mesurée à partir des mêmes critères que pour les épreuves de copie.

Concernant le score d'angles, nous considérons pour cette étude qu'un mot est complexe lorsqu'il comporte plus de deux angles. Les épreuves de dictée contiennent donc un nombre important de mots complexes à transcrire.

En ce qui concerne le score de liens modifiés, les dictées de la BALE et d'EVALEO du CE1 à la 5ème comportent un nombre très proche de mots n'ayant pas de lien modifié ou de mots ayant un seul lien modifié. L'épreuve de dictée d'EVALEO pour les 4ème-3ème est moins complexe car elle comporte plus de mots sans lien modifié que de mots ayant un ou deux liens modifiés.

Enfin, d'après les scores de complexité cumulée nous constatons que les épreuves de dictée ont un niveau de complexité élevé. De plus, la distribution des mots en fonction du score de complexité n'est pas homogène.

Les résultats suggèrent donc que les épreuves de dictée sont complexes. Nous aurions attendu un résultat inverse. En effet, nous aurions attendu des épreuves de dictée simples sur le plan graphique. Ces épreuves présentent donc un important coût cognitif car elles allient traitement orthographique et traitement graphique complexe. Cette charge cognitive liée à la complexité graphique peut interférer sur le traitement orthographique (Pontart et al., 2013). Il est important d'être vigilant lors de l'analyse graphique et orthographique de ces mots. En effet, ces mots sont complexes, ce qui signifie qu'ils présentent un important coût cognitif. Chez des enfants présentant un trouble du graphisme ou un trouble de l'orthographe, il est probable que ce coût cognitif se traduise par des difficultés graphiques ou orthographiques (Cheng Lai et al., 2013 ; Witko & Chenu, 2019).

Les mots les plus complexes dans les épreuves de dictée sont répertoriés en annexe (cf Annexe A13 et A14).

1.3. Comparaison de la complexité graphique en copie et en dictée

Concernant le score d'angles, nous observons que les moyennes et les médianes des épreuves de dictée sont élevées et supérieures à celles des épreuves de copie. En ce qui concerne le score de liens modifiés, nous remarquons également que les moyennes et les médianes des épreuves de dictée sont élevées et supérieures à celles des épreuves de copie. Enfin, d'après les scores de complexité cumulée nous constatons que les épreuves de dictée sont plus complexes que les épreuves de copie.

Le niveau de complexité des épreuves de copie serait donc inférieur à celui des épreuves de dictée.

2. Répétition des mots dans les épreuves de copie

Nous avons comptabilisé les mots apparaissant à plusieurs reprises dans les épreuves de copie afin d'étudier un possible effet d'apprentissage de la transcription de ces mots. Il n'y a à ce jour pas de données dans la littérature nous renseignant sur l'effet d'apprentissage en transcription. Un mot transcrit à plusieurs reprises peut être automatisé (Witko & Chenu, 2019). Nous ne savons pas combien de fois un mot doit être transcrit afin que le geste de transcription soit mémorisé et donc facilité.

Nous avons observé que la majorité des mots ayant plusieurs occurrences dans les copies d'EVALEO et du BHK apparaissent à deux reprises. Un mot d'EVALEO(c), le mot « fossé », apparaît à trois reprises. Ainsi, ce mot pourrait faire l'objet d'un apprentissage étant donné qu'il est transcrit à trois reprises pendant cette épreuve. L'étude de ce mot lors de l'évaluation peut être intéressante pour statuer sur une possible amélioration du geste graphique avec de l'entraînement. Cependant, dans la dysgraphie, nous observons que le geste graphique se dégrade avec la fatigue. Ainsi, l'effet d'entraînement serait contrecarré par l'effet de la fatigue chez les sujets dysgraphiques. L'étude de ces mots peut donc étayer les observations cliniques.

Les résultats suggèrent donc qu'il n'y aurait pas d'effet d'apprentissage dans les épreuves de copie, à l'exception d'un mot d'EVALEO(c). Il semblerait que ce potentiel effet d'apprentissage n'ait pas été pris en compte car le descriptif des épreuves ne fait pas mention du nombre d'occurrence des items.

3. Complexité du modèle des épreuves de copie

La complexité du modèle présenté dans les épreuves de copie est étudiée à partir des trois critères de Meulenbroek et Van Galen (1990) : l'ambiguïté spatiale, la variabilité allographique et l'ambiguïté contextuelle. Nous pouvons donc considérer qu'un modèle de copie complexe est un modèle contenant un nombre important de ces critères.

Concernant les scores d'ambiguïté spatiale, nous remarquons que les deux épreuves de copie sont assez similaires. En effet, les moyennes et les scores maximaux sont très proches. Nous observons une distribution des scores de ce critère également très similaire entre ces deux épreuves. Nous pouvons considérer qu'un mot est complexe lorsqu'il contient deux ou plus de deux lettres ambiguës spatialement. Donc, si l'on considère qu'un

mot est complexe lorsqu'il contient deux ou plus de deux lettres ambiguës spatialement, ces deux épreuves semblent être assez difficiles sur ce plan.

En ce qui concerne, les scores de variabilité allographique, nous remarquons que les deux épreuves sont assez proches. La moyenne et le score maximal d'EVALEO(c) sont supérieurs à ceux du BHK. La distribution des scores est quant à elle proche. EVALEO(c) comporte quelques mots porteurs d'un nombre important de lettres présentant une variabilité allographique. La majorité des mots de ces épreuves comportent entre un et trois critères de variabilité allographique. Ces épreuves sembleraient donc être modérément difficiles sur ce plan.

Enfin, les scores d'ambiguïté contextuelle sont supérieurs dans l'épreuve de copie d'EVALEO. Ainsi, l'épreuve d'EVALEO(c) comporte plus de lettres porteuses d'une ambiguïté contextuelle que le BHK. De plus, EVALEO(c) contient sept mots ayant plus de trois ambiguïtés contextuelles. L'épreuve d'EVALEO(c) semble donc être complexe au vu des scores d'ambiguïté contextuelle. Le BHK semble être plus simple sur ce critère là.

Ainsi, les résultats laissent supposer que le modèle de copie d'EVALEO est un modèle plus complexe que celui du BHK car il contient un nombre plus important de lettres porteuses d'une variabilité allographique et d'une ambiguïté contextuelle. La complexité principale des deux modèles réside dans le nombre de lettres présentant une ambiguïté spatiale. De plus, le style d'écriture choisi lors de cette tâche de copie influencera les performances graphiques (Lavoie et al., 2012 ; Witko & Chenu, 2019). Il est donc important de laisser l'enfant libre de choisir le style d'écriture le plus facilement disponible et le mieux maîtrisé afin de limiter la charge cognitive lors de la traduction du modèle de copie en geste moteur. De plus, le style d'écriture choisi par l'enfant pourra influencer la lisibilité (Witko & Chenu, 2019).

4. Augmentation de la complexité graphique en fonction de l'âge

L'automatisation de la transcription étant progressive, les épreuves évaluant l'orthographe et le graphisme devraient présenter une complexité croissante en fonction de l'âge. Pour étudier l'augmentation de la complexité graphique en fonction de l'âge nous nous intéressons aux scores de complexité cumulée de ces différentes épreuves.

En ce qui concerne les épreuves de copie elles s'adressent à une large tranche d'âge. Il n'y a donc pas de gradation de la difficulté en fonction de l'âge. Ces épreuves ne prennent donc pas en considération l'automatisation progressive du geste graphique en n'adaptant pas leur niveau de complexité aux différents âges concernés.

Concernant les épreuves de dictée, nous observons une augmentation croissante du score de complexité cumulée en fonction des classes de référence pour les épreuves de d'EVALEO(d). Nous notons cependant que le niveau le moins élevé (niveau du CE1) correspond au niveau de complexité de la BALE. Ainsi, EVALEO(d) présente bien une augmentation croissante de la complexité en fonction de l'âge mais la complexité initiale est élevée. Cela peut s'expliquer par le contrôle de la longueur par les auteurs lors de la construction de ces épreuves. En effet, ce paramètre psycholinguistique influe sur les

performances orthographiques (Delattre et al., 2006 & Zesiger, 2003). La BALE s'adresse à une large tranche d'âge, il n'y a donc pas d'augmentation croissante de la difficulté en fonction du niveau scolaire d'application. Le niveau de complexité cumulée de la BALE est très proche du niveau de complexité d'EVALEO(d) CE1. Ainsi, la BALE présenterait un intérêt pour évaluer l'orthographe des enfants plus âgés avec un trouble du graphisme. En effet, le niveau de complexité de la BALE est plus faible pour les niveaux scolaires élevés.

Ces résultats suggèrent donc que les deux épreuves de copie et l'épreuve de dictée de la BALE ne prennent pas en considération l'automatisation progressive du geste graphique au cours du primaire (Hamstra-Bletz & Blöte, 1990). Si les épreuves ne respectent l'automatisation progressive du geste c'est peut être car elles ont été construites sans prendre en considération cette automatisation progressive. L'épreuve d'EVALEO(d) présente une adaptation de sa complexité en fonction de l'âge, cependant cette complexité est élevée. Pour rappel, le geste graphique est automatisé entre dix et quatorze ans et continue son automatisation pendant l'adolescence (Chartrel & Vinter, 2004 ; Lavoie et al., 2012 ; Pontart et al., 2013).

5. Limites et biais de notre étude

Les analyses de ce mémoire sont influencées par différents facteurs.

Tout d'abord, notre méthode est expérimentale et n'a jamais été utilisée auparavant. Ainsi, nous n'avons pas de point de repère ou de norme concernant la complexité graphique. De plus, les critères de Gosse et al. (2018) ont été révélés récemment.

Ensuite, la comptabilisation des critères de complexité à l'intérieur des mots est dépendante de l'écriture utilisée. Il pourrait donc y avoir une variabilité inter-juges dans la comptabilisation des critères de complexité. Nous avons tenté de limiter ce biais en utilisant une police de caractère uniformisée ainsi qu'en comptabilisant les critères en aveugle.

Nous remarquons également que les critères de Meulenbroek et Van Galen (1990) concernent la majorité des lettres de l'alphabet (le c et le v sont les seules lettres non concernées). Ce critère manque donc de spécificité.

De plus, nous avons décidé de ne pas interpréter les données relatives à la longueur des mots. En effet, nous n'avons pas pu obtenir suffisamment de données pour les analyser. La longueur des mots reste cependant un élément important à prendre en compte, à la fois pour l'évaluation et pour la rééducation du graphisme.

Enfin, notre score de complexité cumulée est influencé et dépendant de la longueur du mot. En effet, plus un mot contient de lettres, plus il peut contenir d'angles ou de liens modifiés porteurs de complexité. Nous avons tout d'abord prévu de diviser ce score par le nombre de lettres afin que ce score soit pondéré en fonction de la longueur. Or, le fait de diviser par le nombre de lettres nous faisait obtenir des mêmes scores de complexité pour des mots n'ayant pas le même niveau de complexité. Par exemple, le mot « préparer » avait un score total d'angles et de liens modifiés de huit, son score de complexité cumulée était de un (8 complexités / 8 lettres). Le mot « pour » avait le même score de complexité, or ce mot n'a que quatre complexités (4 complexités / 4 lettres).

6. Perspectives de cette étude

Le travail que nous avons mené offre plusieurs perspectives sur l'évaluation et la rééducation orthophonique. Les nouvelles technologies constituent également une perspective intéressante de ce travail.

6.1. Perspectives concernant l'évaluation orthophonique

Dans un premier temps, notre étude fournit des informations aux cliniciens sur les outils d'évaluation utilisés dans la pratique. Ainsi, en fonction du profil du patient et de ses difficultés, les orthophonistes pourront choisir l'outil le plus adapté.

De plus, suite à la mise en évidence des items les plus complexes à l'intérieur des épreuves de copie et de dictée, les orthophonistes pourront axer leur analyse sur les items les moins complexes. Leur analyse pourra être enrichie par l'observation de la transcription des items complexes.

Enfin, ce travail pourra servir de support pour l'élaboration de nouveaux outils d'évaluation, à la fois du graphisme et de l'orthographe. En effet, les outils étudiés n'ont pas été conçus en prenant en compte la complexité graphique. Un travail ultérieur pourrait créer des outils contenant des mots de complexité contrôlée. De plus, une étude ultérieure pourrait s'intéresser à l'évaluation des critères de complexité dans des corpus de tests d'enfants avec et sans troubles du graphisme et de l'orthographe. Cette étude viserait à étudier une corrélation entre les mots apparaissant comme étant complexes et les mots les plus chutés, à la fois sur le plan du graphisme et de l'orthographe, dans ces épreuves.

6.2. Perspectives concernant la rééducation orthophonique

Notre travail a mis en application les critères de complexité de Gosse et al. (2018). Une meilleure connaissance de ces critères peut accompagner les orthophonistes dans la remédiation des troubles du graphisme. En effet, une nouvelle progression de rééducation des troubles du graphisme pourrait être composée en proposant aux enfants des lettres ou mots contenant des mouvements facilitateurs jusqu'à des lettres contenant des caractéristiques graphiques plus complexes.

6.3. Perspectives en lien avec les nouvelles technologies

Un ingénieur a accompagné notre étude en concevant un algorithme basé sur l'intelligence artificielle. Son travail permettra à terme d'obtenir automatiquement et de manière objective le score de chaque critère de complexité à l'intérieur d'un mot. À ce jour, cet ingénieur a mis au point un système permettant de comparer chaque mot à une base de données de mots transcrits par des anglais. Un autre algorithme basé sur l'Intelligence Artificielle est appliqué afin de reconnaître chaque lettre séparément. Ensuite, un score est calculé en prenant en compte la première et la dernière lettre du mot. L'algorithme ne réussit pas encore à analyser les lettres au milieu du mot. Une poursuite de cette étude est nécessaire afin de pouvoir développer une Intelligence Artificielle permettant la reconnaissance et l'évaluation des caractéristiques graphiques d'écritures de scripteurs francophones. Une illustration de l'analyse d'un mot par l'Intelligence Artificielle est disponible en annexe (cf Annexe A15).

De plus, les tablettes sont un outil permettant d'enregistrer le mouvement et la pression exercée lors de la transcription. Ces outils sont déjà utilisés en recherche clinique (Brun et al., 2013 ; Danna et al., 2013 et Soppelsa et al., 2016), leur utilisation en clinique permettrait d'approfondir l'analyse fine du graphisme lors de l'évaluation et de la rééducation.

Conclusion

Les objectifs de ce mémoire étaient d'observer la complexité graphique des épreuves de copie, d'étudier l'homogénéité graphique de ces épreuves, d'analyser la complexité du modèle présenté lors d'une épreuve de copie, d'examiner la complexité graphique des épreuves de dictée et enfin d'étudier la gradation de la complexité graphique en fonction des âges d'application des tests.

Pour cela nous nous sommes appuyés sur les sept caractéristiques graphiques de Gosse et al. (2018) et les trois critères de complexité de Meulenbroek et Van Galen (1990) à l'intérieur de deux épreuves de copie (EVALEO et BHK) et de sept épreuves de dictée (BALE CE1-CM2, et EVALEO du CE1 à la 4ème). Ces données ont ensuite été analysées grâce au calcul d'un score de complexité cumulée, de moyennes, de médianes, de minimums et de maximums. Ces analyses ont été complétées par le calcul d'un test U de Wilcoxon-Mann Whitney.

Concernant les épreuves de copie, les résultats suggèrent que l'épreuve d'EVALEO(c) est plus complexe que l'épreuve du BHK car la première épreuve contient plus de mots contenant un nombre élevé de critères de complexité. Les résultats semblent également montrer qu'il n'y a pas d'effet d'apprentissage du geste graphique à l'intérieur des épreuves de copie. Les résultats suggèrent aussi que le modèle de copie d'EVALEO serait plus complexe que le modèle de copie du BHK car il contient un nombre plus important de lettres porteuses d'une variabilité allographique et d'une ambiguïté contextuelle que le BHK. Les épreuves de dictée seraient quant à elles plus complexes sur le plan graphique que les épreuves de copie analysées. Les épreuves d'EVALEO(d) présentent une gradation progressive de leur complexité graphique, contrairement à l'épreuve de dictée de la BALE. Ces épreuves semblent néanmoins être particulièrement complexes.

La singularité de cette étude réside dans l'analyse expérimentale de la complexité graphique. En effet, cela n'avait jamais été étudié ou pris en considération lors de la construction de ces épreuves.

Cette étude présente de nombreuses implications pratiques. En effet, elle permet aux orthophonistes de mieux connaître les outils utilisés en clinique et d'avoir à disposition des informations sur leur contenu. La mise en application de ces critères de complexité permet également de mieux comprendre certains processus de transcription utiles lors de la rééducation des troubles du graphisme.

Bibliographie

- Ajuriaguerra, J., Auzias, M., Denner, A., Coumes, F., Lavondes Monod, V., Perrond, R., & Stambak, M. (1971). *L'écriture de l'enfant : l'évolution de l'écriture et ses difficultés*. Neuchâtel : Delachaux et Niest.
- Alamargot, D., Chesnet, D., Dansac, C., & Ros, C. (2006). *Temporalité de l'écriture et rôle du texte produit dans l'activité rédactionnelle*. *Langage*, 177, 7-28.
- Alamargot, D., Plane, S., Lambert, E., & Chesnet, D. (2010). Using Eye and Pen movements to trace the development of writing expertise : Case studies of a seventh, ninth and twelfth grader, graduate student, and professional writer. *Reading and Writing*, 23, 7-8.
- Alamargot, D., Morin, M.-F., Pontart, V., Maffre, L., Flouret, L., & Simard-Dupuis, E. (2014). Les enfants dyslexiques ont-ils des difficultés graphomotrices ? *Approche Neuropsychologique des Acquisitions chez l'Enfant*, 128, 59-67.
- Albaret, J.-M., Kaiser, M.-L., & Soppelsa, R. (2013). *Troubles de l'écriture chez l'enfant : des modèles à l'intervention*. Bruxelles : De Boeck/Solal.
- American Psychiatric Association. (2013). *DSM-5. Diagnostic and statistical manual of mental disorders (5th ed.)*. Washington, DC.
- Bara, F., Morin, M.-F., Montésinos-Gelet, I., & Lavoie, N. (2011). Conceptions et pratiques en graphomotricité chez des enseignants de primaire en France et au Québec. *Revue française de pédagogie*, 176(3), 41-56.
- Boutin, D. & Quilien, A.-L. (2012). *Poursuite de l'élaboration d'un test d'orthographe et d'une fiche de liaison concernant la lecture* (Mémoire d'orthophonie). Université de Lille, Lille.
- Brin-Henry, F., Courrier, C., Lederlé, E. & Masy, V. (2011). *Dictionnaire d'Orthophonie*. Isbèrgues, France : OrthoEdition. France.
- Brun-Henin, F., Velay, J., Beecham, Y. & Cariou, S. (2012). Troubles d'écriture et dyslexie : revue théorique, aspects cliniques et approche expérimentale. *Développements*, 13(4), 4-28.
- Campolini, C., Van Hövell, V. & Vansteelandt, A. (2000) *Dictionnaire logopédique : développement normal du langage écrit et sa pathologie*. Louvain : Edition Peeters.
- Capellini, S.-A., Coppede, A.-C., & Valle, T.-R. (2010). Fine motor function of school-aged children with dyslexia, learning disability and learning difficulties. *Pró-Fono Revista de Atualização Científica*, 22(3), 201-208.
- Charles, M., Soppelsa, R. & Albaret, J.-M. (2004). *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.

- Cheng Lai, A., Li-Tsang, C.W.P., Chan, A.H.L. & Lo, A.G.W. (2013). Writing to dictation and handwriting performance among Chinese children with dyslexia : relationships with orthographic knowledge and perceptual-motor skills. *Research in developmental disabilities, 34*, 3372-3382.
- Crozat, C. (2013). *Evaluation des progrès de collégiens participant à un atelier de remédiation phonétique et orthographique* (Mémoire en orthophonie). Université de Nantes, Nantes.
- Danna, J., Paz-Villagran, V., Velay, J., Gondre, C., Kronland-Martinet, R., & Torrèsani, B. (2013). Sonifier l'écriture : un outil pour le diagnostic et la remédiation de la dysgraphie. *Développements, 12*(3), 32-40.
- Danna, J., Pinto, S., Eusebio, A. & Velay, J.-L. (2014). Sonifier l'écriture pour le diagnostic précoce et la rééducation de la dysgraphie parkinsonienne. IHM 14', 26^{ème} conférence francophone sur l'Interaction Homme-Machine, Lille, France.
- Delattre, M., Bonin, P. & Barry, C. (2006). Written spelling to dictation : sound-to-spelling regularity affects both writing latencies and durations. *Journal of Experimental Psychology : Learning, Memory and Cognition, 32*, 1330-1340.
- Eduscol (2015). *L'écriture à l'école maternelle. La forme des lettres*. Consulté sur https://cache.media.eduscol.education.fr/file/Ecriture/43/5/Ress_c1_Ecriture_forme-lettres_456435.pdf
- Fayol, M. & Miret, A. (2005). Écrire, orthographier et rédiger des textes. *Psychologie Française, 50*, 391-402.
- Frith, U. (1985). Beneath the surface of developmental dyslexia. *Developmental dyslexia, 13*.
- Garcia-Debanc, C., & Fayol, M. (2002). Apports et limites des modèles du processus rédactionnel pour la didactique de la production écrite. *Pratiques : linguistique, littérature, didactique, 115-116*, 37-50.
- George, F. & Pech-Georgel, C. (2006). *Batterie d'Évaluation de la Lecture et de l'Orthographe*. Paris, France : De Boeck Solal.
- Gosse, C. , Carbonnelle, S., De Vleeschouwer, C. , & Van Reybroeck, M. (2018). Specifying the graphic characteristics of words that influence children's handwriting. *Reading and writing, 31*, 1181-1207.
- Habib, M. (2006). *Troubles associés et comorbidités dans la dyslexie : de l'observation clinique à la compréhension des mécanismes*. Lille, France : Editions INSERM.
- Hayes, J.-R., & Flower, L.-S. (1980). Identifying the organization of writing processes. In L. W. Gregg & E. R. Steinberg (Eds.), *Cognitive processes in writing*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Hamstra-Bletz, L. & Blöte, A.-W. (1990). Development of Handwriting in Primary School : A Longitudinal Study. *Perceptual and Motor Skills, 70*(3), 759–770.

- Humblot, L., Fayol, M., & Longcamp, K. (1994). La copie de mots en CP-CE1. *Repères, recherches en didactique du français langue maternelle*, 9, 47-59.
- Jacquier-Roux, M., Lequette, C., Pouget, G., Valdois S. & Zorman, M. (2010). *Batterie Analytique du Langage Ecrit*. Paris, France : Laboratoire de Sciences de l'Education.
- Kaiser, M.-L., (2009). *Facteurs endogènes et exogènes influençant l'écriture manuelle chez l'enfant*. Thèse pour l'obtention du doctorat d'état de Sciences et techniques des activités physiques et sportives. Université de Toulouse.
- Kandel, S., Valdois, S. & Orliaguet, J.-P. (2003). Etude de la production écrite en copie : une approche visuo-orthographique et graphomotrice. *Le Langage et l'Homme*, 38(2), 5-24.
- Kandel, S. & Perret, C. (2015). How Do Movements to Produce Letters Become Automatic during Writing Acquisition ? Investigating the Development of Motor Anticipation . *International Journal of Behavioral Development*, 39(2), 113-120.
- Kellogg, R.-T. (1996). *A model of working memory in writing*. In C. M. Levy & S. Ransdell (Eds.), *The science of writing: Theories, methods, individual differences, and applications* Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- Lavoie, N., Morin, M.-F. & Labrecque, A.-M. (2012). Le geste graphique chez le scripteur au début de l'école primaire : profil des pratiques pédagogiques et des performances des élèves. *Repère* (52), 177-197.
- Lété, B., Sprenger-Charolles, L. & Colé, P. (2004). MANULEX : A grade-level lexical database from French elementary-school readers . *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers*, 36, 156-166.
- Longcamp, M. , Velay, J.-L. & Kandel, S. (2014). L'écriture : gestes, lettres, mots et cerveau. *La lettre de Neurosciences*, 148(46), 13-15.
- Maeder, C., Roustit, J., Launay, L. & Touzin, M. (2018). *Evaluation du Langage Oral et du Langage écrit*. Isbèrgues, France : OrthoEdition.
- Mattis, P. & Kimball, S. (2019). Gimp (2. 10. 14). Gnome Foundation.
- Meulenbroek, G. & Van Galen, G. (1990). Perceptual-motor Complexity of Printed and Cursive Letters. *The Journal of Experimental Education*, 58(2), 95-110.
- Morin, M.-F., Lavoie, N. & Labrecque, A.-M. (2012). La complexité de l'apprentissage de l'écriture au début du primaire. *La lettre de l'AIRDF*, 52, 41-45.
- Morin, M.-F., Lavoie, N. & Montésinos-Gelet, I. (2011). Conceptions et pratiques en graphomotricité chez des enseignants de primaire en France et au Canada. *Revue française de pédagogie*, 176, 41-56.
- Morin, M.-F., Lavoie, N. & Montésinos-Gelet, I. (2012). The effects of manuscript, cursive or manuscript/cursive styles on writing development in grade 2. *Language and literacy*, 14, 110-124.

- Perez, M. (2013). *L'apprentissage de l'orthographe lors de la dictée et la copie de mots manuscrits : effets des tâches processus sous-jacents* (thèse). Université de Toulouse, Toulouse.
- Perros-Durand, H. (2014). Rééducation des troubles de l'écriture. *Les Approches Thérapeutiques en Orthophonie*, 2, 97-114.
- Pontart, V., Bidet-Ildei, C., Lambert, E., Morisset, P., Flouret, L. & Alamargot, D. (2013). Influence of Handwriting Skills during Spelling in Primary and Lower Secondary Grades. *Frontiers in Psychology*, 4.
- Pourcelot, C. (2018). *Troubles spécifiques du langage écrit et graphisme : étude observationnelle. Analyse de la trace écrite d'une cohorte de 20 sujets dyslexiques consultant en centre référent, à l'aide du BHK*. (Mémoire en orthophonie). Université de Lille, Lille.
- Pothier, B. & Pothier, P. (2004). *Echelle d'acquisition en orthographe lexicale, EOLE*. Paris : Retz.
- RStudio (Version 1.2.5001), 2009-2019, RStudio, Inc.
- Rapp, B., Epstein, C. & Tainturier., M.-J. (2002). The Integration of Information across Lexical and Sublexical Processes in Spelling. *Cognitive Neuropsychology* 19(1), 1-29.
- Roux, S., McKeeff, T., Grosjacques, G., Afonso, O. & Kandel, S. (2013). The Interaction between Central and Peripheral Processes in Handwriting Production. *Cognition*, 127(2) : 235-41.
- Schmidt, R.-A. (1975). A schema theory of discrete motor skill learning. *Psychological Review*, 82, 225-260
- Soppelsa, R., Matta Abizeid, C., Chéron, A., Laurent, A., Danna, J. & Albaret, J.-M. (2016). Dysgraphie et rééducation psychomotrice : données actuelles. In J.-M., Albaret, C., Matta Abizeid, & R., Soppelsa, *Les entretiens de Psychomotricité 2016*. Toulouse : Europa Digital & Publishing.
- Sprenger-Charolles, L., Siegel, L., Béchennec, D. & Serniclaes, W. (2003). Development of Phonological and Orthographic Processing in Reading Aloud, in Silent Reading, and in Spelling : A Four-Year Longitudinal Study. *Journal of Experimental Child Psychology* 84(3), 194-217.
- Van Galen, G.-P. (1991). Handwriting : issues for a psychomotor theory. *Human Movement Science*, 10, 165–191.
- Van Reybroeck, M. & Hupet, M. (2009). Acquisition of number agreement : Effects of processing demands. *Journal of Writing Research*, 1(2), 153–172.
- Vinter, A. & Chartrel, E. (2010). Effects of different types of learning on handwriting movements in young children. *Learning and Instruction*, 20(6), 476- 486.
- Véronis, J. (2000). *Alignement de corpus multilingues*. Paris, France : Hermès Sciences.

- Witko, A. & Chenu, F. (2019). Corpus et activité rédactionnelle d'adolescents dyslexiques dysorthographiques en contexte de soin courant orthophonique. *Corpus*, 18, 1-21.
- Zesiger, P. (2003) . Acquisition et troubles de l'écriture. *Enfance* 55(1), 56.
- Zesiger, P., Deonna, T., Mayor, C. (2000). L'acquisition de l'écriture. *Enfance*, 3, 295-303.

Liste des annexes

Annexe n°1 : Outils principaux d'évaluation du graphisme et de l'orthographe

Annexe n°2 : Modèles de référence de la production écrite

Annexe n°3 : Critères de complexité à l'intérieur des lettres

Annexe n°4 : Illustration des caractéristiques graphiques

Annexe n°5 : Illustration graphique des résultats

Annexe n°6 : Liste des mots les plus complexes à l'intérieur des épreuves

Annexe n°7 : Exemple d'analyse de mots par l'OCR (Reconnaissance Optique de Caractères)