

UNIVERSITE DE POITIERS
Faculté de Médecine et de Pharmacie
École d'Orthophonie

Année 2012-2013

MÉMOIRE

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

Laurie MAFFRE

**Étude de la relation entre traitements graphomoteurs
et orthographiques**

**Étude menée sur les productions écrites de jeunes dyslexiques, du CM1
à la 6^{ème}**

Directeur du mémoire : Monsieur Denis Alamargot, Professeur des Universités

Membres du jury : Madame Véronique Bonnaud, Psychologue
Monsieur Jean-Loup Guigné, Orthophoniste

Remerciements

Je tiens à remercier Denis Alamargot qui a accepté d'encadrer ce travail de recherche et pour le temps et l'attention qu'il y a consacrés. Merci à Virginie Pontart pour m'avoir éclairé quant au protocole et à Elise Drijbooms pour m'avoir permis d'utiliser son support au récit dans ce mémoire.

Merci également à Odile Saulnier, Marie Guérineau, Cindie Bourillon, Agnès Maurice, Muriel Grassin, Corinne Souchaud, Claire Ernst, Violaine Baille, Lucie Bonnet, et Anicée Prévost, pour m'avoir confié leurs protégés ! Sans oublier le témoignage de ma gratitude envers les enfants et leurs parents, sans qui ce travail n'aurait pas été possible. Merci à Véronique Bonnaud et à Jean-Loup Guigné, qui ont accepté de participer au jury en prévision de la soutenance de ce travail.

Merci à vous, les orthophonistes, pour votre accueil chaleureux, vos encouragements, vos enseignements et pour votre soutien en cette dernière année bien remplie : Ingrid Servoin, Corinne Souchaud, Marie Guérineau, Cindie Bourillon, Jean-Loup (pour m'avoir prêté de la documentation), Brigitte de Corbier, Marie-Hélène Rossi, Louise Martin. Et aussi aux orthophonistes du service de neuropsychologie du CHU de Poitiers, à Lucie Bonnet, Béatrice Touzet et Catherine Dupas pour leur professionnalisme et leur pédagogie. A Typhaine Veau qui m'a ouvert les yeux par ses enseignements et sa pratique au CAMSP. Merci à Chantal Deguingand pour sa relecture et ses conseils de psychomotricienne. Merci à Emmanuelle Marty, pour la présentation de ses tests et de sa pratique de psychomotricienne au CRA.

Sans oublier les amies de Baudelaire et de Van Gogh : Elodie, Bérengère, Elise, Delphine, Charlotte, Laurence et Valérie... Un remerciement tout particulier à Inès et à Laëtitia pour leur relecture attentive et leurs conseils avisés. Un grand merci à Carine, ma guide, qui a veillé sur moi tout au long de ces études et qui, je le sais, continuera !

A mes parents, à mon frère, à Carl et à Zélie, merci d'avoir su m'encourager et me comprendre quand je n'étais pas aussi disponible pour vous que je l'aurais voulu.

Table des matières

INTRODUCTION.....	8
1.Qu'est-ce que lire ? Qu'est-ce qu'écrire ?.....	12
2.Acquisition de l'écriture	14
2.1. Graphomotricité.....	15
2.1.1.Développement graphomoteur et automatisation du geste.....	15
2.1.2.Conséquences de l'automatisation du traitement graphomoteur.....	18
2.1.3.Composantes spatiales et temporelles du geste d'écriture.....	19
2.2.Orthographe.....	20
2.2.1.Conscience phonologique.....	20
2.2.2.Orthographe lexicale.....	21
2.2.3.Orthographe grammaticale.....	25
3.Relations entre graphomotricité et orthographe.....	27
3.1.Influence indirecte : théorie de la capacité.....	27
3.2.Influence directe : théorie du déficit cérébelleux.....	29
3.2.1.Présentation du cervelet.....	29
3.2.2.Un trouble central.....	31
4.Pathologies étudiées.....	32
4.1.Dyslexie.....	33
4.1.1.Symptomatologie et prévalence.....	33
4.1.2.Modèles cognitifs.....	34
4.1.2.1.Modèle à double voie.....	34
4.1.2.2.Modèles connexionnistes.....	35
4.1.3.Hypothèses étiologiques.....	36
4.1.3.1.Hypothèse phonologique.....	36
4.1.3.2.Hypothèse visuelle et théorie magnocellulaire.....	37
4.1.3.3.Hypothèse du déficit de la fonction cérébelleuse	39
4.1.3.4.Hypothèse du traitement auditif temporel.....	42
4.1.3.5.Hypothèse intermodale : couplage audition-vision.....	43
4.1.3.6.Données génétiques.....	44
4.2.Dysorthographe.....	46
4.2.1.Définition.....	46
4.2.2.Types de dysorthographe.....	46
5.Analyse en temps réel de l'écriture.....	48
5.1.Paradigme des pauses et débits.....	48
5.2.Eye and Pen.....	49
6.CONCLUSION THEORIQUE.....	50
7.Méthodologie.....	53
7.1.Populations étudiées.....	53
7.1.1.Niveau de lecture et d'écriture.....	53
7.1.2.Age chronologique.....	53
7.1.3.Niveau intellectuel.....	54
7.1.4.Langue maternelle.....	54

7.2. Protocole expérimental.....	54
7.2.1. Matériel.....	54
7.2.2. Tâches et consignes.....	56
7.2.2.1. Tâches cérébelleuses.....	56
7.2.2.1.1. le questionnaire de « temps social » de Daffaure et al., 2001.....	56
7.2.2.1.2. le test du doigt sur le nez (NEZ).....	57
7.2.2.1.3. l'équilibre statique, pieds joints, les yeux fermés (ESYF).....	57
7.2.2.1.4. l'équilibre statique, pieds joints, les yeux fermés, en double tâche avec le comptage à rebours (ESYF-C).....	57
7.2.2.1.5. l'équilibre sur un pied les yeux ouverts (E1PYO).....	58
7.2.2.1.6. Le tapping de la NEPSY.....	58
7.2.2.1.7. L'imitation de positions de mains (IPM).....	59
7.2.2.1.8. Les séquences motrices manuelles (SMM).....	60
7.2.2.2. Tâches graphiques : copie de figures.....	60
7.2.2.3. Tâches de graphomotricité.....	61
7.2.2.3.1. production du nom-prénom (Chuy, Alamargot & Passerault, 2012 ; Pontart et al., in revision).....	61
7.2.2.3.2. production de l'alphabet (Abbott & Berninger, 1993).....	61
7.2.2.3.3. production des jours de la semaine.....	61
7.2.2.3.4. copie d'un pangramme.....	61
7.2.2.4. Tâches d'orthographe lexicale :.....	62
7.2.2.5. Tâche d'orthographe lexicale et grammaticale en contexte :.....	63
7.2.2.6. Epreuve de rédaction.....	63
7.2.2.7. Autres tests.....	64
7.2.2.7.1. La pipe et le rat.....	64
7.2.2.7.2. TNO.....	64
7.2.2.7.3. Matrices et Conrad.....	64
7.2.2.7.4. mémoire des chiffres (subtest issu de la WISC).....	65
7.3. procédure expérimentale.....	65
7.4. Variables mesurées.....	67
7.4.1. Durée totale de production.....	67
7.4.2. Temps de production par lettre.....	67
7.4.3. Vitesse de tracé.....	67
7.4.4. Nombre d'appels au modèle / empan de copie et de consultation.....	68
7.4.5. Erreurs PI/PA.....	68
7.4.6. Pause de pré-écriture.....	68
8. Rappel des hypothèses.....	71
9. Présentation des résultats.....	72
9.1. Quelques données.....	72
9.2. Analyses des corrélations.....	78
9.2.1. Relations entre épreuves de graphomotricité et d'orthographe.....	79
9.2.1.1. dictée de pseudo-mots.....	79
9.2.1.2. copie de mots.....	80
9.2.1.3. dictée de mots.....	80
9.2.1.4. picture writing.....	81
9.2.2. Graphomotricité et TNO.....	82
9.2.3. Graphomotricité et rédaction.....	82
9.2.4. Epreuves cérébelleuses et graphomotricité.....	83
9.2.5. Epreuves cérébelleuses et orthographe.....	83

9.2.6.Epreuves cérébelleuses et rédaction d'histoire.....	84
9.2.7.Empans de copie : mémoire de travail et capacité cognitive.....	85
9.3. Synthèse des résultats.....	87
10.Discussion des résultats.....	88
11.CONCLUSION GÉNÉRALE.....	90
12.Références bibliographiques.....	91

Index des figures

Figure 1: Cadre général de l'acquisition de la langue écrite - Jean Ecalte, Glossa n°62 (28-35), 1998.....	15
Figure 2 : Théorie phonologique - Dyslexie, dysorthographie, dyscalculie : Bilan des données scientifiques, Inserm © 2007.....	37
Figure 3 : Théorie visuelle magnocellulaire - Dyslexie, dysorthographie, dyscalculie : Bilan des données scientifiques, Inserm © 2007.....	38
Figure 4 : Les différents symptômes de la théorie motrice de la dyslexie (Nicolson, Fawcett & Dean, 2001, tiré de Habib, 2002).....	39
Figure 5 : Théorie du trouble cérébelleux - Dyslexie, dysorthographie, dyscalculie : Bilan des données scientifiques, Inserm © 2007.....	41
Figure 6 : Théorie du traitement auditif temporel - Dyslexie, dysorthographie, dyscalculie : Bilan des données scientifiques, Inserm © 2007.....	43
Figure 7 : Facteurs génétiques - Dyslexie, dysorthographie, dyscalculie : Bilan des données scientifiques, Inserm © 2007.....	45
Figure 8 : Cadre général pour décrire les théories de la dyslexie - Dyslexie, dysorthographie, dyscalculie : Bilan des données scientifiques, Inserm © 2007.....	51
Figure 9 : séquence d'images, support à la rédaction d'histoire.....	63

Index des tableaux

Tableau 1: Modèle en trois phases de Frith (1985).....	23
Tableau 2: Récapitulatif du recueil des données.....	69
Tableau 3: Durées de production sur les quatre épreuves graphomotrices.....	74
Tableau 4: Vitesses de tracé sur les quatre épreuves graphomotrices.....	74
Tableau 5: Temps de production par lettre sur les quatre épreuves graphomotrices.....	75
Tableau 6: Pourcentage d'erreurs sur le nombre d'items effectivement produits en fonction du respect de la phonologie.....	75
Tableau 7 : Temps de latence moyen (temps de pause de pré-écriture) et temps moyen de production par lettre (pauses incluses), sur le nombre d'items produits.....	76
Tableau 8: Taille des empans de copie, en copie de pangramme et de texte.....	76
Tableau 9: Récapitulatif des données recueillies lors de la rédaction d'histoire.....	78

Index des annexes

Annexe I : Explication des dysfonctionnements dans la dyslexie selon l'hypothèse phonologique : niveaux neurobiologique, cognitif et comportemental avec prise en compte du rôle de certains facteurs environnementaux et des stratégies compensatoires - Dyslexie, dysorthographe, dyscalculie : Bilan des données scientifiques, Inserm © 2007.	96
---	----

Liste des abréviations et termes anglais

PAI	Projet d'Accueil Individualisé
TSLE	Trouble Spécifique du Langage Ecrit
DL-DO	Dyslexie-dysorthographe
SMM	Séquences motrices manuelles
TNO	Test de Niveau d'Orthographe
QTS	Questionnaire de temps social
IPM	Imitation des positions de mains
MC	Mémoire des chiffres
ODEDYS	Outil de Dépistage des Dyslexies
NEPSY	Bilan neuropsychologique de l'enfant
OMS	Organisation Mondiale de la Santé
ESYF	Equilibre statique, pieds joints, yeux fermés
ESYF-C	Equilibre statique, pieds joints, yeux fermés + comptage à rebours
E1PYO	Equilibre sur un pied les yeux ouverts
WISC	Wechsler Intelligence Scale for Children
MDPH	Maison Départementale des Personnes Handicapées
CRTL	Centre Référent des Troubles du Langage
AVS	Auxiliaire de Vie Scolaire
PM 38	Matrices de Raven
CP	Cours préparatoire
GSM	Grande Section de Maternelle
CIM 10	Classification Internationale des Maladies et problèmes de santé connexes, 10 ^{ème} édition
DSM IV	Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders, 4 ^{ème} édition
QI	Quotient Intellectuel
picture writing	dénomination écrite sous image
spelling	orthographe lexicale
stroke	trait
chunking	fusion

INTRODUCTION

« L'apprentissage de l'écriture [...] pose des problèmes à tous les enfants à un certain moment et à quelques-uns pendant très longtemps. »

(Fayol & Miret, 2005 - Psychologie française, n° 50, p 394).

L'écriture est souvent vue comme une activité associée à la lecture. Elle a pris son autonomie en tant qu'objet d'étude plus tardivement que la lecture (dans les années 1980) : de ce fait, l'écriture a gagné à être considérée autrement que dans la dualité avec la lecture, et qu'en tant que simple transcription du langage oral.

L'écriture peut être appréhendée sous ces trois points de vue :

- tracer (geste graphomoteur),
- orthographier,
- rédiger.

L'écriture est composite, les domaines qui la constituent s'imbriquent. Grâce à un nombre de recherches croissant sur les processus impliqués dans la lecture, les aspects productifs du langage écrit intéressent de plus en plus les chercheurs (Zesiger, 1995). Les branches constituant l'objet d'étude qu'est l'écriture (tracé, orthographe, rédaction) ont déjà été étudiées de façon autonome, mais désormais la recherche tient compte des interrelations entre ces trois composantes. À travers l'étude d'une population dyslexique-dysorthographique encore novice dans l'apprentissage de l'écriture, nous allons préciser l'analyse des liens qui existent entre les deux facteurs qui permettent de transcrire un texte (cf. modèle de Hayes & Flower, 1980) : l'orthographe et la graphomotricité.

L'écriture est une compétence liée à la performance scolaire et à l'estime de soi de l'enfant (Feder & Majnemer, 2007). Par conséquent, les troubles du graphisme sont invalidants pour l'enfant, qui, tout au long de sa scolarité, devra satisfaire aux exigences du milieu scolaire, et faire face à un coût cognitif important pour écrire rapidement et lisiblement. De même, les traitements orthographiques nécessitent une attention élevée. La fatigabilité accrue de ces enfants et leur non-disponibilité pour des traitements de plus

haut niveau (composition de texte, sens, cohérence...) constitueront des facteurs pénalisants. Le contexte d'apprentissage dans l'acquisition de la langue écrite compte donc pour beaucoup.

D'un point de vue pratique, les orthophonistes accompagnent les familles dans l'élaboration du PAI (Projet d'Accueil Individualisé), un document faisant suite au diagnostic - ici de dyslexie-dysorthographe - et servant à mettre en place des moyens d'aider l'enfant dans sa vie scolaire. Par un inventaire précis des difficultés en jeu et en prenant en charge les troubles de l'enfant, l'orthophoniste se doit de rechercher des solutions pour pallier les lenteurs, les maladroites d'écriture et autres troubles de l'orthographe qui s'expriment quotidiennement pour l'élève dans le milieu scolaire.

Vu le nombre d'enfants et adolescents qui consultent pour des troubles de l'écriture, il est fondamental de mieux comprendre l'origine de ces troubles chez les enfants dys-, de nous interroger et de prendre en compte les caractéristiques temporelles de l'écriture, en informatisant les bilans par exemple, pour intégrer des mesures en temps réel de la production écrite dans le diagnostic et l'identification précise de leurs difficultés.

D'un point de vue diagnostique, la présence de troubles moteurs dans les troubles spécifiques des apprentissages est un indice de la gravité des tableaux cliniques. Nous avons donc voulu évaluer la prévalence et la gravité de ces troubles dans la dyslexie-dysorthographe, pour qu'ensuite les orthophonistes et les autres professionnels intervenant autour de l'enfant puissent prendre en compte les éventuelles difficultés motrices dans leurs soins. À terme, cela pourrait amener une modification des dispositifs thérapeutiques ainsi qu'un complément dans les connaissances requises chez les professionnels de santé qui œuvrent auprès des sujets porteurs de ces troubles.

Ce mémoire a pour objectif d'analyser en temps réel la production écrite d'élèves dyslexiques-dysorthographiques, à partir du niveau de CM1 jusqu'au niveau de 6^{ème}. En préalable, une partie théorique étudie les caractéristiques générales de l'écriture et son acquisition chez le scripteur débutant sur les plans graphomoteur et orthographique avec l'éclairage du modèle à double voie. Les caractéristiques spatiales et temporelles de l'écriture sont explicitées, afin de permettre une bonne analyse des corpus relevés. Puis la corrélation entre la graphomotricité et l'orthographe est étudiée. La dyslexie et la

dysorthographe sont ensuite présentées, suivies d'une description des principales difficultés pour l'enfant dyslexique-dysorthographique sur le versant productif. L'étude est approfondie à travers des hypothèses pouvant expliquer la dysorthographe. Enfin nous présenterons ensuite les paradigmes d'étude de la production écrite, leurs fondements et, pour finir, le logiciel Eye and Pen, qui va permettre de relever les mesures temporelles.

En préalable à la partie pratique qui concernera notre étude, nous établirons nos hypothèses ainsi que le protocole employé pour les vérifier en expliquant les démarches méthodologique et expérimentale. Nos résultats seront analysés puis discutés pour permettre de conclure ce travail de recherche.

PARTIE THEORIQUE

1. Qu'est-ce que lire ? Qu'est-ce qu'écrire ?

La lecture consiste à analyser visuellement une suite de lettres, à effectuer une correspondance entre les graphèmes et les phonèmes par les traitements phonologiques. Enfin, un bon lecteur met du sens sur ce qu'il lit. De nombreux bilans orthophoniques proposent d'ailleurs aux patients de restituer des informations par l'intermédiaire de questions à propos d'un texte qu'ils viennent de lire. On distingue la lecture silencieuse de la lecture à haute voix. La seconde est plus aisée pour les jeunes dyslexiques puisqu'elle permet un retour via le canal auditif.

Ecrire consiste à faire un geste pour matérialiser une pensée. Il s'agit d'une activité que le scripteur mène seul. Elle se réalise en l'absence physique immédiate du destinataire, lorsqu'elle n'est pas réalisée sous dictée. L'intention est portée vers autrui.

À l'origine, l'invention de l'écriture a marqué le pas de la Préhistoire à l'Histoire. Le domaine de l'écrit prend de l'ampleur à l'époque médiévale grâce aux moines copistes, et devient autonome à partir de l'invention de l'imprimerie. Les linguistes mettront du temps à lui allouer un statut particulier : en 1916, Saussure écrivait « *langue et écriture sont deux systèmes de signes distincts: l'unique raison du second est de représenter le premier* ». L'écrit n'est pas figé, il peut faire l'objet de modifications, de ratures durant la relecture. Il est le fruit d'une réflexion, qui se matérialise souvent en première intention dans le brouillon. Sur une plus grande échelle, l'écriture fige l'état du système linguistique au moment où elle est produite : elle a alors une fonction d'enregistrement, de mémoire.

D'un point de vue ontogénétique, l'écrit arrive après l'oral, il est un processus qui résulte d'un apprentissage alors que l'oral se repose sur des bases biologiques. La capacité à écrire fait aujourd'hui partie de la norme (Plan national de lutte contre l'illettrisme, droit à l'éducation pour tous...), elle a une valeur sociale. D'après Bara et Gentaz (2007), apprendre à écrire garantit l'intégration sociale et culturelle. Cet apprentissage est pour eux une base de la scolarité.

La trace comporte des signes visibles relevant du symbole qui supportent le message, message qui lui-même est destiné. L'objectif de l'écriture est le partage

d'émotions ou de savoirs. Toujours d'un point de vue social, le groupe linguistique est pourvoyeur d'un code concernant le langage écrit : l'orthographe, dans le système signifié-signifiant. N'oublions pas de préciser que l'écriture est une tâche complexe puisqu'elle consiste à transformer des informations référentielles en une trace linéaire, linguistique, à visée communicative. En effet, elle allie à un processus de bas niveau perceptivo-moteur (planification motrice et exécution) des processus cognitifs de plus haut niveau (psycholinguistiques et exécutifs) qui interagissent (Abbott & Berninger, 1993; Graham & Weintraub, 1996 ; Van Galen, 1991).

Cependant, l'écriture et la rédaction laissent également un grand espace de liberté, de création et d'imagination. Ainsi, le style calligraphique (script, cursif, mixte) est laissé à la décision du rédacteur. D'un point de vue matériel, la personne qui écrit fait aussi le choix de l'outil scripteur, du support, de la casse, de la couleur de l'encre...

Entre la psychologie cognitive, la psycho-linguistique, l'orthographe et la sociolinguistique, l'écriture est à la croisée de différentes disciplines. Concernant l'étude de l'écrit et de l'écriture, les approches sont les suivantes (Zesiger, 1995) :

- cognitive: dans cette approche, l'ensemble des activités mentales, des connaissances et des processus liés à l'écriture sont étudiés. On peut donc inférer sur des représentations, des structures et des processus mentaux à partir de l'étude du comportement du scripteur.
- neuropsychologique : ici, la fonction d'écrire est mise en lien avec des structures cérébrales.
- développementale : l'étude de l'écriture d'un point de vue développemental met l'accent sur l'enfant qui met en place cette fonction par un apprentissage. Il est important de savoir quelles sont ses difficultés, quels sont les obstacles qu'il peut rencontrer.

De même, trois niveaux d'étude de l'écriture doivent être distingués (Zesiger, 1995) :

- la production de lettres : étant uniquement un acte moteur, la production de lettres est en principe rapidement automatisée.
- la production de mots : ici, c'est l'orthographe qui prime.
- la production de textes : nécessitant des processus mentaux de haut niveau

(planification, syntaxe, lexique, orthographe, récit...), la rédaction regroupe tous les aspects de l'écriture.

Fayol et Miret (2005), dans leur étude, distinguent au moins trois composantes qui interviennent dans la production verbale écrite :

- la gestion et l'organisation des idées à transcrire
- la mise en texte (lexique, syntaxe, structure textuelle et forme orthographique)
- la transcription graphique (Berninger, 2000).

2. Acquisition de l'écriture

Acquérir l'écriture nécessite un long apprentissage, de l'ordre de 10 à 15 ans pour parvenir à un niveau de maîtrise. Cette acquisition se fait sur trois versants : elle est à la fois mécanique, technique, et comporte également le code, normé.

L'écrit s'acquiert selon des contraintes internes, qui renvoient au fonctionnement du sujet (capacités intellectuelles, mnésiques, d'automatisation, métalinguistiques, graphomotrices, métacognitives et conatives) et selon des contraintes externes qui portent sur les caractéristiques de la langue : aspects du mot (fréquence, régularité orthographique, structure syllabique...), de la phrase et du texte (relations grammaticales, complexité syntaxique, structures...).

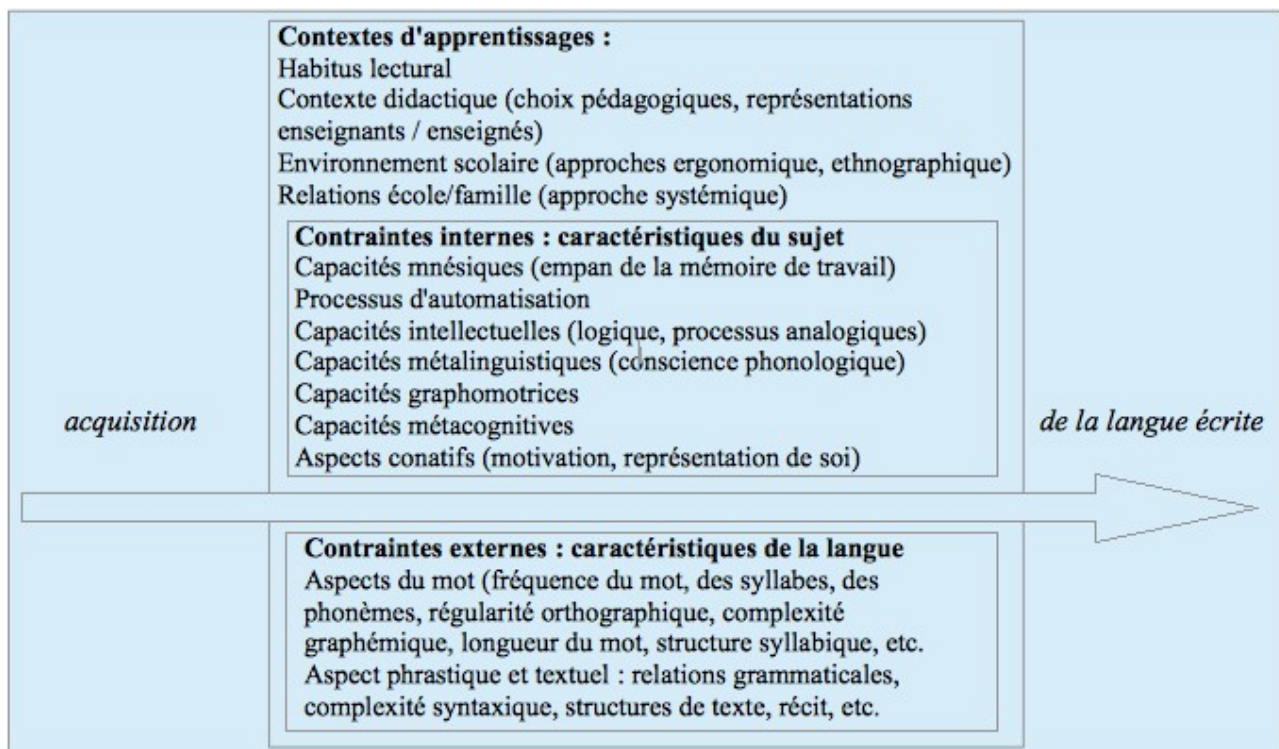


Figure 1: Cadre général de l'acquisition de la langue écrite - Jean Ecale, Glossa n°62 (28-35), 1998

2.1. Graphomotricité

2.1.1. Développement graphomoteur et automatisation du geste

Des recherches (Longcamp, Zerbato-Poudou & Velay, 2005 ; Velay, Longcamp & Zerbato-Poudou, 2004, in Gentaz & Dessus, 2004 ; Cunningham & Stanovitch, 1990) montrent que, pour l'apprentissage de l'écriture, le tracé au stylo sur papier plutôt que le fait de taper au clavier permet à la fois une meilleure intégration de la graphie des lettres, une meilleure compréhension du sens et une rapidité d'écriture plus importante.

Au cours de cet apprentissage moteur, les tracés des élèves évoluent tant sur le plan qualitatif (forme des lettres, lisibilité) que sur le plan quantitatif (vitesse). Cela est dû à l'apprentissage explicite et à la « *maturation du système moteur* » qui permet à l'enfant d'exécuter les « *gestes fins* » requis pour former les lettres (Auzias & Ajuriaguerra, 1986, cités par Bara & Gentaz, 2010). Rappelons qu'initialement, le dessin est le premier

système de représentation et de communication utilisé par l'enfant (Bara & Gentaz, 2007).

L'enfant, visuellement confronté quotidiennement à l'écrit, va peu à peu mettre du sens sur ce qu'il voit. Il simule d'abord par le dessin des caractéristiques de l'objet qu'il évoque (forme, couleur nombre...) ou directement l'écriture (gribouillis pouvant contenir des lettres). Progressivement, ces gribouillis se différencient lorsque l'enfant intègre l'idée que, « *chaque mot étant unique, il doit être représenté différemment des autres* » (Zesiger, 1995 ; Content, 1993).

Lurçat (1974) a construit, d'après Wallon (1941), le développement du contrôle du geste graphique et l'observation clinique, un modèle d'acquisition :

- un premier niveau moteur, entre 20 et 24 mois, avec des mouvements rapides et impulsifs, uniquement sous contrôle proximal, (ce sont des mouvements partant de l'axe corporel, de forte amplitude, dont l'impulsion provient des épaules, et dans une moindre mesure, des coudes). Les mouvements des articulations proximales se coordonnent pour permettre les tracés circulaires. La topocinèse (loi régissant le mouvement d'un point de vue spatial) consistant à ne pas dépasser la feuille se met en place.
- Un niveau perceptif entre 2 et 3 ans dans lequel les articulations distales vont intervenir, permettant une première réduction de la taille de tracé. Apparaissent les boucles, grâce à la rotation de la main autour du poignet. Les topocinèses de translation au sein de l'espace graphique apparaissent. La direction de l'écriture part de l'axe du corps, elle est égocentrée, c'est-à-dire de bas en haut pour les traits verticaux, de gauche à droite concernant la main droite et de droite à gauche concernant la main gauche.
- Un ralentissement du mouvement est constaté avant 3 ans, son contrôle visuel étant croissant.
- Le niveau représentationnel domine l'acte graphique entre 3 et 6 ans, avec un accroissement des coordinations entre articulations, permettant l'apparition de morphocinèses (programmes moteurs) alors que l'organisation topocinétique progresse de concert. Entre 3 et 4 ans, une base de données de primitives graphiques se met en place, elles constitueront des éléments des lettres. Les lettres apparaissent ensuite. Entre 4 et 5 ans, s'opère la différenciation entre le

dessin et l'écriture. La copie de modèle est possible par un fort contrôle visuel et kinesthésique. Les erreurs sont nombreuses à cause de l'alternance du regard entre le modèle et l'élément copié, avec des erreurs de positionnement notamment (omissions, répétitions ou permutations de parties de lettres...). L'appariement entre la trajectoire et la forme de la lettre se stabilisera entre 5 et 6 ans. C'est un mode de contrôle rétroactif qui domine encore les productions, aucun programme moteur ni automatisme n'est encore en place. Le programme moteur a été défini comme *« une représentation centrale d'une séquence d'actions motrices [...] qui peut conduire à un mouvement structuré en l'absence de feedback »* (Keele, 1981). L'enfant trace encore son prénom mais il ne l'écrit pas.

- A partir de 6 ans, et ce jusqu'à l'âge adulte, la vitesse d'écriture est supérieure à la vitesse de dessin, le traitement de l'écriture étant plus automatique (Bara & Gentaz, 2007).

Bara et Gentaz (2007) considèrent l'apprentissage de mouvements fins comme condition nécessaire au tracé des traits constitutifs des lettres et montrent que *« progressivement, la réalisation du geste moteur va s'automatiser »*.

Selon Zesiger (1995), le développement de la graphomotricité est déterminé par un apprentissage moteur, qui est lui-même imbriqué dans un développement moteur plus général. Il s'agit d'un apprentissage lent, cette lenteur étant due à sa complexité.

Des études britanniques, menées par Medwell, Stand et Wrap (2007, 2009) insistent sur l'idée que l'écriture nécessite des efforts cognitifs pour les enfants non seulement au début de l'école élémentaire, mais aussi à la fin. Cela montre également que les ressources cognitives pourraient être indisponibles chez certains enfants pour les processus de haut niveau, et ce durant toute la période de l'école élémentaire.

Pour mettre en place les programmes moteurs, l'enfant va d'abord intégrer les topocinèses : par exemple, le respect des limites spatiales de la feuille, les passages à la ligne... Peu à peu, il va passer d'une stratégie de contrôle rétroactif (le contrôle se fait sur des feed-back visuels et kinesthésiques issus des mouvements de l'enfant, qui sont lents) à une stratégie de contrôle proactif (basé sur la mentalisation de morphocinèses, c'est-à-dire de programmes moteurs), qui se met en place vers les classes de CE2 et CM1

(Chartrel & Vinter 2006). Ainsi, le scripteur expert, même privé du canal visuel, produira une écriture lisible (Chartrel & Vinter, 2004). Le programme moteur est ainsi une représentation abstraite (qui peut être utilisé sur différents supports), non musculairement définie (Castiello & Stelmach, 1993 ; Graham & Weintraub, 1996 ; Van Galen & Teulings, 1983).

La seconde stratégie deviendra dominante « à partir de 10 ans » minimum (Chartrel & Vinter, 2004), les programmes moteurs seront alors de plus en plus sophistiqués, et leur taille de base augmentera simultanément avec la taille des empan de transcription (unités transcrites sans recours au modèle) (Bara & Gentaz, 2007, selon Préteur & Telleria-Jauregui, 1986).

Ensuite, « *les aspects morphocinétiques de l'écriture seront modifiés* » (Meulenbroek & Van Galen, 1988 ; Palluel-Germain, Bara, Hillairet de Boisferon, Hennion, Gouagout & Gentaz, 2007 ; Zesiger, 1995), afin de « *prévenir la surcharge cognitive et d'accélérer le traitement* » (Portier, Van Galen & Meulenbroek, 1990). Ainsi, une fois le mouvement effectué, des relectures et des corrections sont possibles pour l'enfant. Selon Chartrel et Vinter (2004), la mise en place de ces premiers automatismes est toujours la même, « *quelle que soit la taille des lettres* » employée.

La dysgraphie résulterait d'ailleurs d'une mauvaise formation des programmes moteurs. Hamstra-Bletz et Blöte attribuent quant à eux les problèmes dysgraphiques à un manque de contrôle de la motricité fine dans l'exécution des programmes moteurs.

2.1.2. Conséquences de l'automatisation du traitement graphomoteur

Le modèle de production de texte décrit par Hayes et Flower en 1980, qui découpe la production écrite en trois processus cognitifs (la planification, la transcription et la révision), a été repris par Swanson et Berninger d'un point de vue développemental en 1994. Selon ces derniers, le scripteur débutant consacrerait une part importante de ses ressources cognitives à la gestion de la transcription, qui comprend l'exécution graphomotrice (production de lettres) et l'orthographe (production de mots). Les ressources allouées aux traitements plus complexes comme la planification et la révision,

en seraient donc limitées, alors que, si ces ressources restaient disponibles, elles permettraient de mener des traitements simultanés ou de plus haut niveau. Selon Christensen (2005), la charge cognitive consacrée à l'exécution graphomotrice peut alourdir le système. Elle interfère donc avec des processus plus complexes qui nécessitent une recherche d'idées, le séquençage des idées et la surveillance de la précision et de la clarté de communication. L'allègement du coût des traitements graphomoteurs et une bonne maîtrise du tracé vont permettre de « *libérer des ressources attentionnelles et cognitives* » qui pourront être vouées aux « *aspects orthographiques et de construction de textes* » (Bourdin. 2002 & 2010 ; Bara & Gentaz, 2007).

2.1.3. Composantes spatiales et temporelles du geste d'écriture

Les mouvements d'écriture sont caractérisés par des constantes, stables chez l'expert. Ainsi, quatre principes, encore appelés invariants, régissent l'écriture.

Tout d'abord, le principe d'équivalence motrice mentionne la « *constance dans la forme des lettres, dans l'inclinaison et l'allure générale de la trace graphique et dans le mouvement* » quel que soit l'effecteur (main dominante, main non-dominante, pied) et l'instrument scripteur employés pour écrire (Maarse & Thomassen, 1983 ; Schmidt, 1975).

L'isochronie définit la relation entre la taille de la lettre et la vitesse de son tracé : ainsi, plus la lettre est grande plus la vitesse de tracé est importante.

L'homothétie temporelle : la durée allouée à chacun des traits est proportionnelle à la durée totale de la production, quelle que soit la taille ou la vitesse d'écriture. Le trait, ou *stroke*, est le plus petit élément constitutif de la lettre. L'assemblage consécutif des traits - ou *chunking* (Miller, 1956) - forme une lettre. Cette fusion entre les traits s'automatise progressivement dans le geste du scripteur, formant les programmes moteurs. Le nombre de pics de vitesse correspond aux inflexions du profil de vitesse qui permettent de discriminer les strokes et nous fournit une information de dysfluence, c'est-à-dire, le nombre d'accélération et de décélération au cours du mouvement.

L'homothétie spatiale s'appuie sur l'invariance des rapports de taille des lettres

(rapport entre chaque trait constitutif de la lettre et la taille globale) malgré des variations de la taille totale. Ce principe serait plus largement validé que son homologue temporel (Chartrel & Vinter, 2004).

2.2. Orthographe

Tracer une lettre est une tâche complexe pour le scripteur débutant. Il en va de même pour l'orthographe, tâche résultant d'un traitement plus large sur le plan syntagmatique, et pour laquelle l'enfant se demande quelle séquence de lettres il doit produire pour écrire le mot qu'il se représente mentalement.

2.2.1. Conscience phonologique

Acquérir l'orthographe, c'est d'abord se confronter au type de codage des mots, pour lesquels les représentations sont orthographiques, contrairement au langage oral, où elles sont phonologiques. La conscience phonologique constitue le lien entre l'acquisition du langage oral et celle du langage écrit (Rohl & Turner, 1988).

Avoir une bonne conscience phonologique signifie « *structurer, séquencer un mot en différents sons* » à la fois sur les plans productif et réceptif, que ce soit « *verbalement* » ou « *par écrit* » (Liberman & Liberman, 1990).

Ce domaine est travaillé en grande section de maternelle pour préparer les enfants au CP. La conscience phonologique est évaluée à travers des épreuves de segmentation de mots en syllabes, de rimes, de fusion de mots, de permutations... L'hypothèse qu'une mauvaise conscience phonologique fait le lit d'un trouble d'acquisition de l'écriture va dans le sens de l'hypothèse du déficit phonologique parmi les étiologies de la dyslexie.

La conscience phonologique aide au déchiffrement en lecture, qui permet de fixer le mot dans le lexique orthographique : la mémorisation est meilleure quand le décodage a été plus efficient. Un bon déchiffreur mémorise donc mieux le vocabulaire et sa forme orthographique ; ce qui fait de la phonologie un des fondements de la mémorisation des

mots dans le lexique mental.

Toutefois, la conscience phonologique n'est pas le seul facteur de réussite en orthographe, comme l'illustre le cas des langues opaques. En effet, le français ne présente pas forcément de correspondance stable entre graphèmes et phonèmes (Dubois, 1965), ce qui fonde son appartenance à ce groupe de langues : des connaissances orthographiques complémentaires sont donc nécessaires pour écrire les mots dont l'orthographe n'est pas régie par ces règles de conversion. Ces mots, dits irréguliers, demandent la mise en place en mémoire à long terme d'un lexique orthographique et de stratégies orthographiques ; à l'instar des procédés graphotactiques, qui, utilisés dès le CP, consistent à mémoriser des régularités statistiques, à repérer les occurrences d'unités complexes et leur place dans les mots.

2.2.2. Orthographe lexicale

Entre les années 80 et 90, de nombreux modèles de l'acquisition de l'orthographe ont été proposés, parmi lesquels on citera Ehri (1989), Brown (1990), Frith (1980, 1985), Gentry (1978, 1982), Marsh, Friedman, Welch et Desberg (1980). Ces modèles étagés décrivent tous l'utilisation de stratégies pendant l'apprentissage, qui vont mener l'enfant des premiers gribouillis, supposés représenter des mots écrits, à la maîtrise de l'orthographe conventionnelle :

- une première orthographe pré-communicative ou symbolique
- une phase de développement de l'orthographe phonétique (médiation phonologique) : l'écrit représente l'oral et non directement les concepts auxquels les mots réfèrent. L'enfant associe au signe graphique une valeur sonore (apprentissage du nom et de la forme des lettres).
- une phase d'acquisition de l'orthographe conventionnelle (orthographe lexicale).

Chaque auteur différencie plusieurs niveaux de maîtrise au sein d'une même étape. La plupart des auteurs vont dans le sens d'un chevauchement entre les étapes, avec la maîtrise progressive d'une stratégie impliquant la médiation phonologique (étapes pré-

phonétique et phonétique, stade alphabétique) et d'une autre stratégie reposant sur la mémorisation de formes orthographiques (stade orthographique). L'acquisition de l'orthographe se fait par les voies phonologique et lexicale (assemblage et adressage).

Le lexique des formes orthographiques se développe grâce à l'écriture tandis que le lexique des formes visuelles se forme avec la pratique de la lecture.

Le traitement orthographique est plus complexe que le traitement lexicale : la lecture requiert un déchiffrement qui est partiel et des indices contextuels sont présents, tandis qu'en écriture, la transcription se fait en rappel via le tampon graphémique. En production, la mémoire de travail est sollicitée. Cette dernière est temporaire et maintient les informations grâce à une boucle orale ou mentale. L'orthographe lexicale sollicite donc deux structures mnésiques : le tampon graphémique et la mémoire de travail.

Pratiquer l'écriture avant la lecture aide à l'acquisition des unités, à leur analyse, et aide également à entrer dans la lecture... Les activités précoces d'écriture facilitent donc l'accès au principe alphabétique, à la segmentation de la parole en unités de plus en plus fines et à la mise en correspondance phonème-graphème (P/G) et graphème-phonème (G/P). La pratique de l'orthographe inventée améliore la connaissance des lettres et de leurs relations avec les sons (Bourdin, 2010) : il s'agit d'un programme encourageant les élèves à écrire des mots dont l'orthographe ne leur a pas encore été enseignée.

L'entrée dans l'écriture se fait par la voie phonologique si la langue est transparente (utilisation des principes alphabétiques pour écrire des mots nouveaux), les principes de correspondance suffisant. A l'opposé, nous l'avons déjà expliqué dans la section portant sur la conscience phonologique, si la langue est opaque, les principes alphabétiques doivent être complétés par des connaissances orthographiques.

Frith (1985) propose un modèle en trois phases :

Lecture	Ecriture
Logographique	Symbolique
	Logographique
	↓
Alphabétique	Alphabétique
↓	
Orthographique	Orthographique

Tableau 1: Modèle en trois phases de Frith (1985).

Selon Frith (1985), dans une perspective cognitive et développementale, les procédures lexiques et orthographiques s'appuient l'une sur l'autre à des étapes-clés du développement.

Ainsi, un enfant confronté précocement aux mots écrits dans la vie quotidienne commencera à écrire via un traitement logographique. Alors, sa reconnaissance des mots succède à la prise d'indices contextuels, à l'analyse d'indices visuels ayant trait à la configuration globale des mots ou bien d'indices saillants, tels que la première lettre du mot, les hampes ou les jambages... L'entraînement à la lecture logographique, basée sur l'analyse visuelle, consolide la procédure alphabétique en écriture, en liant les phonèmes aux graphèmes correspondants. Vers 3-4 ans, le répertoire logographique est constitué d'une quarantaine d'images, mais il est difficile à manipuler.

Ensuite, un mot fait référence à des lettres qui renvoient elles-mêmes à des sons : l'enfant utilise la conversion graphème-phonème donc la médiation phonologique (Content, 1993). L'enfant utilise prioritairement la voie d'assemblage : il s'agit du traitement alphabétique. Les compétences alphabétiques acquises en écriture influencent la lecture et, grâce à leurs propriétés analytiques, elles permettent de construire un stock orthographique lexical, qui peut être utilisé en orthographe. La lecture supporte donc l'écriture jusqu'au traitement orthographique (succession de va-et-vient entre les deux).

Lors de cette ultime étape orthographique, c'est la voie d'adressage qui prédomine. En effet, le lexique orthographique est formé : les processus orthographiques se substituent aux processus alphabétiques et la récupération des mots, stockés en mémoire à long terme, est possible.

Le modèle donné par Frith expliquerait des dysfonctionnements : ainsi, la dyslexie-dysorthographe phonologique serait due à un blocage au niveau de la procédure logographique et donc à un accès difficile à la procédure alphabétique ; alors que la dyslexie-dysorthographe de surface résulterait quant à elle d'un blocage au niveau de la procédure alphabétique qui rendrait la procédure orthographique difficile à construire.

Pour Ehri (1989), l'enfant construirait son lexique orthographique en mémorisant progressivement les éléments les plus simples du code, par la procédure alphabétique. Lorsqu'il maîtrise ces connaissances basiques, le traitement en mémoire est moins lourd, ce qui lui permet de focaliser son attention sur le traitement des irrégularités orthographiques. Ces connaissances orthographiques, de plus en plus finies, vont s'automatiser et s'associer entre elles, ainsi qu'avec les autres composantes du lexique mental (phonologique, sémantique). Elles vont pouvoir être activées directement selon un processus d'adressage. L'enfant, parvenu à l'étape de la maîtrise, fait appel à des procédures automatisées et à un répertoire contenant l'orthographe des mots complexes (irréguliers, notamment).

Pour Gentry, cinq étapes constituent l'acquisition de l'orthographe lexicale :

- une étape pré-communicative où l'enfant débute son activité graphique
- une étape semi-phonétique qui se base sur l'orthographe inventée, ou orthographe approchée, qui nécessite précocement de la part de l'enfant à la fois une connaissance de la lettre et du son, ainsi que la connaissance de la règle de conversion. L'enfant commence à associer sons et lettres, préférentiellement la première et la dernière du mot.
- une étape phonétique au cours de laquelle les correspondances les plus fréquentes entre phonèmes et graphèmes sont maîtrisées par l'enfant (5-6 ans).
- une étape transitionnelle où l'orthographe prend de l'importance, mais de façon intuitive, l'enfant a tendance à commettre des erreurs comme des ajouts de lettres.

- enfin, la dernière étape correspond à la maîtrise de l'orthographe, vers l'âge de 8 ou 9 ans.

2.2.3. Orthographe grammaticale

L'orthographe grammaticale appréhende le texte du point de vue morpho-syntaxique. Pour Jaffré et Fayol (2008), « *orthographier la morphologie revient à constituer des formes orthographiques nouvelles en combinant des formes déjà existantes, les morphèmes écrits* ».

Actuellement, les travaux de recherche relatifs à l'entraînement graphomoteur et à ses effets sur l'orthographe portent essentiellement sur la dimension lexicale de celle-ci (Fayol & Miret, 2005). Il apparaît donc difficile d'étendre ces conclusions au français écrit. Précisons également que la langue française comporte des marques d'accord muettes : elles ne sont pas représentées dans la production orale. Le contexte de la phrase constitue alors la seule aide à la compréhension orale (morphologie « *silencieuse* ») (Fayol & Bourdin, 1994 ; Fayol, 2003 ; Pacton & Fayol, 2004 ; Totereau, Thévenin & Fayol, 1997). Ainsi, les épreuves portant sur les marques d'accord montrent qu'elles sont comprises avant d'être produites, avec un retard d'environ 2 ans entre leur lecture et leur écriture, et qu'elles apparaissent davantage sur les noms que sur les verbes.

On distingue au sein de l'orthographe grammaticale :

- la morphologie flexionnelle, qui concerne les accords en genre, en nombre, la conjugaison des verbes,
- de la morphologie dérivationnelle, qui s'opère dans un même mot, avec sa base, ses affixes et suffixes.

Chez l'enfant, les flexions du genre s'acquièrent en premier, via le langage oral car elles s'entendent pour la plupart. Les flexions du nombre, qui sont muettes pour beaucoup, nécessiteront un apprentissage explicite à l'école.

Le genre est identifié par l'enfant par trois façons :

- les indices sémantiques : on parle alors de genre naturel. C'est ainsi que l'on

oppose le boeuf à la vache, le roi à la reine... Mais certains mots n'ont qu'un genre (girafe, soleil...) : il est nécessaire de les apprendre.

- les indices morpho-syntaxiques : ils se basent sur le contexte du mot.
- les indices morpho-phonologiques sublexicaux (terminaison des noms) : une terminaison est associée à un genre. Par exemple : un préparateur - une préparatrice ; un pâtissier - une pâtissière. Leur apprentissage est implicite, grâce au bain de langage, dès 4-5 ans.

Concernant cette fois la flexion du nombre, la marque du nombre est différente selon qu'il s'agit d'un nom, d'un adjectif ou d'un verbe. Un enseignement explicite des règles est donc nécessaire. Apprendre le pluriel suppose d'avoir acquis les catégories grammaticales.

D'un point de vue chronologique :

- l'enfant de CP utilise une forme neutre concernant les noms et verbes au pluriel. Il le reconnaît pourtant en lecture. Il y a donc dissociation entre les connaissances déclaratives et procédurales. Concernant les flexions verbales du nombre, l'enfant fonctionne d'après une stratégie mémorielle : il étudie la configuration des lettres ("s", "ent").
- l'enfant de CE1-CE2 utilise le « s » pour former le pluriel des noms et des adjectifs, mais il l'étend aux verbes (ex : les poules couves). Il s'agit là d'une application erronée de la règle.
- au CM1-CM2 : la terminaison en « ent » est utilisée pour les verbes, mais est généralisée aux noms et aux adjectifs (les poulent couvent). Maintenant, l'enfant applique la règle avec effort. Au cours du collège, cette règle va s'automatiser pour se procéduraliser chez l'adulte.

On peut vérifier les acquisitions par le paradigme de production d'erreurs, en provoquant chez les sujets des surcharges attentionnelles, ou bien en leurrant leur système cognitif... Ce qui les conduit à produire des erreurs de proximité, d'attraction.

3. Relations entre graphomotricité et orthographe

3.1. Influence indirecte : théorie de la capacité

Sur le plan oculaire, les saccades régressives, qui ont lieu tout au long de la production écrite, permettent la correction des accords. Sur la base de la théorie de la capacité de l'écriture, on peut inférer que plus l'écriture est lente, plus le nombre de pauses est important au décours de la production écrite et donc que les traitements orthographiques sont plus coûteux pour le scripteur.

Sur ce plan, l'étude de Fayol et Miret (2005) est enrichissante car elle s'est donné pour objectif d'étudier l'écriture, l'orthographe et la rédaction de textes chez des enfants dyslexiques de CE2. Son objectif est de préciser les implications de la théorie de la capacité, dans les faits, à propos des liens qu'entretiennent les composantes de la production verbale écrite, notamment celles inhérentes à la transcription graphique et à l'orthographe. Elle pose de nombreuses questions, parmi lesquelles celle de l'impact du niveau de maîtrise graphique actuel des enfants sur leurs performances en dictée. Quelle stratégie de fonctionnement utilise le scripteur débutant, pour lequel les coûts attentionnels lors de la production sont élevés ? Quelles procédures sont privilégiées dans le cas d'une surcharge ou d'une contrainte temporelle ? Pourquoi telle ou telle erreur survient à un moment donné ?

L'hypothèse présentée dans cette étude est que les performances en orthographe évaluées en dictée ne dépendraient pas uniquement des savoirs et savoir-faire directement impliqués (connaissances lexicales, orthographiques, capacités de raisonnement...). Le niveau de maîtrise graphique devrait aussi intervenir. Les élèves bons en graphisme devraient obtenir en dictée des scores correspondant à ceux qu'ils ont dans les épreuves testant les savoirs et savoir-faire impliqués dans celle-ci. En revanche, les élèves moins bons en graphisme devraient aboutir à des performances plus faibles que ne le prédisent leurs scores aux savoirs et savoir-faire directement impliqués dans la dictée. Il a ainsi été constitué deux groupes : l'un concentrait les élèves ayant de bonnes performances en graphisme (groupe BG), l'autre les élèves ayant de faibles performances

(groupe FG).

Le matériel expérimental comportait : une dictée de sept courtes phrases; le test de lecture silencieuse de Lefavrais (*La pipe et le rat*, 1986 ; EAP - Editions Scientifiques et Psychologiques) ; une épreuve d'aisance graphique (produire sans modèle le plus possible de lettres de l'alphabet, dans l'ordre et en minuscules scriptes dans un temps imparti) ; une épreuve de détection d'erreurs d'accord parmi des phrases, dont la moitié comporte des accords erronés ; en orthographe lexicale, une dictée de 20 mots réguliers et irréguliers (tabac, brebis, étang, plafond, nœud) ; une épreuve de définition de mots en contexte avec trois choix pour chacun ; un test d'aptitudes non verbales.

Les résultats de cette expérience coïncident avec la théorie de la capacité. En effet, ils montrent que la variable graphisme est corrélée avec l'orthographe : lorsque les performances graphiques s'améliorent, le nombre d'erreurs en dictée diminue, et réciproquement.

Le postulat d'une liaison directe est difficile à admettre, mais cette relation est probablement médiatisée par la capacité de traitement. La théorie de la capacité repose sur la notion de répartition des ressources cognitives entre des processus : le coût d'un processus dépend de son degré d'automatisation. Si les demandes de tous les processus se déroulant en parallèle dépassent le seuil des ressources cognitives, les processus complexes ou non automatisés ne pourraient plus être menés en simultané. Un ralentissement des traitements, des erreurs de production liées au retrait de certains processus pourraient alors survenir.

Just et Carpenter ont proposé en 1992 une théorie de la capacité de la compréhension de textes liée aux traitements attentionnels. Ainsi, un système unique de ressources cognitives permettrait l'analyse des informations langagières. La réalisation de l'activité ne serait pas fluide mais ralentie et séquentialisée, les différents traitements en cours ne seraient pas coordonnés et les contraintes simultanées ne seraient pas forcément prises en compte. L'automatisation des traitements est le seul moyen de faire baisser le niveau attentionnel exigé par la tâche, afin de ne pas détériorer ou ralentir l'ensemble des traitements et/ou le stockage temporaire des représentations.

McCutchen (1996) reprend cette théorie en l'appliquant à l'activité de production de textes : elle décrit chez les scripteurs débutants une difficulté à gérer à la fois la planification, la formulation et la révision. Le dépassement des ressources les conduirait à adopter une gestion pas à pas de leur production : la structure de leur texte est souvent floue. La théorie de la capacité vaut pour la mémoire et l'attention. L'auteur insiste sur l'intérêt de la pratique qui entraînerait l'automatisation des processus.

Quand des ressources cognitives sont libérées en mémoire de travail, des traitements peuvent se dérouler parallèlement et des processus non automatisables ou non automatisés peuvent utiliser davantage de ressources pour fonctionner en parallèle avec des processus automatiques (ou automatisés).

Ainsi, chez les faibles scripteurs, quand la performance graphique s'améliore, le nombre d'erreurs d'orthographe en dictée s'amenuise et, de façon réciproque, plus l'orthographe est maîtrisée, plus l'exécution sur le plan graphique est bonne (Just & Carpenter, 1992).

Chez l'adulte encore, la performance en écriture pourrait être un des facteurs des variations de la qualité des rédactions (Peverly, 2006).

Pour conclure à propos de cette théorie, ses postulats et l'implication de la mémoire de travail sont à la source d'un nombre croissant de travaux.

3.2. Influence directe : théorie du déficit cérébelleux

3.2.1. Présentation du cervelet

Le cervelet a les mêmes structures que le cerveau. Il représente 10 % du volume de l'encéphale et est composé de deux hémisphères cérébelleux. Il est organisé, de façon interne, par la substance grise, qui se situe à sa surface, aussi appelée « *cortex cérébelleux* », et en profondeur par la substance blanche, qui contient des noyaux gris centraux.

Les afférences du cervelet sont multiples. Tout d'abord, celles qui proviennent de la moelle épinière lui donnent des informations sensibles, celles qui proviennent du tronc cérébral lui apportent des informations cognitives et enfin, celles qui proviennent de l'organe vestibulaire gèrent l'équilibre.

Il comporte également des voies efférentes, qui se dirigent vers le thalamus (fonctions mentales), vers le tronc cérébral (attention, alerte), vers le noyau vestibulaire latéral (vertige, alerte), ou encore vers la substance réticulée (vertige, alerte). Ces voies sont homolatérales : l'hémisphère cérébelleux droit arrive à l'hémisphère cérébral droit.

Concernant les trois parties fonctionnelles du cervelet :

- La partie vestibulo-cérébelleuse a pour fonction le changement de posture et l'équilibre,
- La partie spino-cérébelleuse gère le tonus musculaire, la posture et la marche,
- La partie cérébro-cérébelleuse coordonne des mouvements volontaires mais a aussi des fonctions non motrices (certaines fonctions cognitives). Dès 1985, Botez montre une implication du cervelet dans les fonctions cognitives. A partir du thalamus, les informations vont aux différentes parties du cortex.

Les fonctions du cervelet sont:

- Le contrôle de l'activité motrice : Holmes (1993) ; Brown (1982) ; Fox, Raichle, Thach (1985).
- L'initiation du mouvement, sa complexité (une atteinte du cervelet peut conduire à une décomposition systématique des mouvements) et sa correction.

L'hypothèse que le cervelet a un rôle dans les fonctions non motrices a été présentée par Botez en 1985 et par Leiner, Leiner et Dow, en 1986. Daum et Ackerman (1995) suggèrent pourtant la non évidence de la fonction du cervelet sur les fonctions non motrices, mais son rôle sur la planification et les apprentissages moteurs. Les études neuropsychologiques chez des patients avec lésion cérébelleuse suite à une diaschisis (désafférentation) frontale et pariétale montrent des troubles de type ataxie de Friedreich (Botez-Marquard & Botex, 1993; Kish, Chang, Dixon, Robitaille, DiStefano, 1994).

L'atrophie olivo-ponto-cérébelleuse provoque une dysarthrie, et influe sur le timing (contrôle du temps), la planification, la programmation des activités, et la vitesse de traitement de l'information.

Dans un cas d'agénésie cérébelleuse (Richter, 2005) chez une patiente de 64 ans, il a été relevé des déficits moteurs, des troubles du langage et un retard cognitif.

Plus généralement, on constate que le cervelet est impliqué dans la vitesse de traitement de l'information, dans l'apprentissage de mouvements spécialisés dépendant de facteurs temporels, dans des tâches de timing (estimation temporelle), et dans l'initiation des habiletés du langage. De même, les lésions cérébelleuses peuvent provoquer un retard mental.

Outre l'intérêt dans le diagnostic et la prise en charge de l'investigation des difficultés motrices, il faut les intégrer à la recherche, à plus forte raison lorsqu'on étudie l'écriture d'enfants dyslexiques (Sumner, Connelly & Barnett, 2012), ce qui n'a pas forcément été fait dans les travaux antérieurs. En effet, nombreuses sont les études qui rapportent des habiletés motrices plus pauvres chez les enfants dyslexiques par rapport aux témoins (Nicolson & Fawcett, 2011).

3.2.2. Un trouble central

Le niveau en transcription graphique déterminerait directement les performances en orthographe et vice versa.

Les études menées grâce à l'imagerie cérébrale ont mis en évidence l'implication de trois zones cérébrales de l'hémisphère gauche dans la lecture (Shaywitz, Shaywitz, Pugh, Mencl, Fulbright, Skudlarski, Constable, Marchione, Fletcher, Lyon & Gore, 2002). Il s'agit du gyrus frontal inférieur (production des phonèmes), de l'aire occipito-temporale (identification automatique des mots préalablement mémorisés), et de l'aire pariéto-temporale (intégration des dimensions orthographique, phonologique et lexico-sémantique).

Or, chez les sujets dyslexiques, l'activité neuronale dans ces trois zones est plus faible que chez des sujets témoins (Paulesu, Démonet, Fazio, McCrory, Chanoine, Brunswick, Cappa, Cossu, Habib, Frith, Frith, 2001 ; Pugh, Mencl, Jenner, Katz, Frost, Lee, Shaywitz, Shaywitz, 2001). Dans le cerveau de la personne dyslexique, le volume de matière grise est réduit dans deux des aires liées à la lecture : l'aire frontale et l'aire pariéto-temporale, mais pas dans la zone occipito-temporale (Eckert, 2004). Par ailleurs, les aires pariéto-temporales sont également moins bien connectées entre elles et aux autres aires du cerveau. Ces études coïncident avec la théorie phonologique.

4. Pathologies étudiées

Dyslexie et dysorthographe concernent respectivement des difficultés voire des incapacités ayant trait à la lecture et à l'orthographe. Elles sont généralement couplées lorsque l'on recherche une définition de l'une ou de l'autre. Nous pouvons en déduire la cooccurrence théorique de ces troubles touchant les mécanismes fondamentaux du langage écrit, sur les versants réceptif et productif.

Selon l'OMS (Organisation Mondiale de la Santé), la dyslexie-dysorthographe est un trouble spécifique du langage écrit (TSLE). Il s'agit d'une déviance dans le développement (d'où le préfixe dys-, qui la différencie de l'alexie-agraphie, qui est acquise) : le trouble dys- est durable (ce n'est pas un simple retard dans les acquisitions), il comporte une constante qualitative et quantitative dans les difficultés rencontrées.

Le diagnostic de TSLE peut être posé lorsqu'un décalage significatif de dix-huit mois est objectivé entre l'âge de l'enfant et celui obtenu lors des différentes épreuves évaluant la lecture et l'écriture. Le diagnostic de dyslexie-dysorthographe se fait par exclusion :

- un déficit intellectuel ou sensoriel (auditif ou visuel),
- un défaut de scolarisation et/ou de stimulations socioculturelles,
- un trouble psychologique ou psychiatrique,
- une lésion cérébrale acquise doivent être éliminés.

Cependant, si des facteurs psychologiques, linguistiques ou encore socioculturels ne

peuvent générer à eux seuls ces troubles, ils peuvent les aggraver fortement.

4.1. Dyslexie

4.1.1. Symptomatologie et prévalence

La dyslexie développementale, ou trouble spécifique de l'apprentissage de la lecture est un déficit spécifique et persistant de l'acquisition de la lecture, survenant de façon inattendue chez un enfant :

- d'intelligence normale,
- en dépit d'une instruction adéquate,
- en l'absence de déficits sensoriels visuel ou auditif sévères,
- d'une pathologie psychiatrique ou neurologique avérée,
- de carences psychoaffectives graves.

C'est la définition de la dyslexie donnée par le manuel Diagnostique et Statistique des Maladies mentales (DSM-IV, 1996) et la Classification Internationale des Maladies (CIM 10, 1996). La prévalence de la dyslexie est de 3 à 5 % vers l'âge de 10 ans. Concernant le sexe ratio, on estime que 3 à 4 garçons pour une fille sont concernés par la dyslexie.

Les principaux symptômes de la dyslexie peuvent être visuels (créant des confusions entre "b" et "d" par exemple), auditifs (avec des confusions entre le /k/ et le /g/, toujours à titre d'exemple) ou séquentiels (inversions).

« Plusieurs formes de dyslexies développementales ont été identifiées par référence au modèle à double voie selon qu'elles se caractérisent par une difficulté à mettre en place la procédure lexicale ou analytique de lecture, ou les deux » (Valdois, 1993, 2000). Dans cette optique, il existe trois grands types de dyslexie :

- la dyslexie phonologique se caractérise par une difficulté à utiliser la voie

d'assemblage et les correspondances grapho-phonémiques.

- la dyslexie de surface résulte d'une difficulté à utiliser la stratégie lexicale, ainsi qu'une tendance à recourir systématiquement à l'assemblage grapho-phonémique. En contraste avec la dyslexie phonologique, la dyslexie de surface n'est pas associée à une défaillance du traitement phonologique (Plaza, 1999).
- la dyslexie mixte est définie par un déficit des deux procédures (assemblage et adressage). D'après les études de groupes, il ressort que les enfants dyslexiques ont un déficit des deux procédures dans plus de 50 % des cas, alors que les déficits phonologiques purs ou orthographiques (de surface) sont plus rares, quelle que soit la langue maternelle du sujet concerné.

En se basant sur les troubles associés à la dyslexie, plusieurs hypothèses de syndromes incluant la dyslexie ont émergé durant les décennies passées. Parmi ces dernières, on distingue principalement :

- le syndrome phonologique : plus fréquent et répandu, il repose sur l'hypothèse d'un déficit phonologique exclusif.
- le syndrome visuo-attentionnel : il est généralement considéré comme un déficit des processus d'ajustement de la fenêtre attentionnelle (Valdois, Bosse & Tainturier, 2003).
- le syndrome dyspraxique : moins connu, il peut être associé aux précédents, mais aussi survenir seul.

Attention, ces syndromes dyslexiques peuvent s'associer entre eux.

4.1.2. Modèles cognitifs

4.1.2.1. Modèle à double voie

Pour établir des hypothèses, différents modèles cognitifs ont été présentés d'après des études en neuropsychologie et en psychologie cognitive chez les adultes. Elles concernaient les alexies acquises après lésion cérébrale et ont permis la mise en évidence des étapes entre le moment où le mot écrit est vu et celui où il est compris. On

prédit un temps de latence différent selon la fréquence du mot.

Ainsi, le modèle à double voie distingue :

- la voie directe, d'adressage : les formes orthographiques, phonologiques et sémantiques des mots sont stockées en mémoire à long terme. Elles s'activent de façon automatique et successive, tant que le mot est connu du lecteur.
- la voie indirecte, d'assemblage : lorsque le lecteur rencontre un mot qui lui est inconnu, il ne renvoie chez lui à aucune représentation lexicale. Alors le lecteur va déchiffrer, ce déchiffrement s'opère à partir de la conversion des graphèmes en phonèmes.

4.1.2.2. Modèles connexionnistes

Cependant, aujourd'hui, ce modèle à double voie (directe / indirecte) est remis en cause. En effet, il ne s'agirait pas de deux voies exclusives, mais :

- d'une compétition entre les deux voies. La voie phonologique étant plus lente mais pouvant conduire au succès dans le cas de mots réguliers peu fréquents. Il s'agit du modèle connexionniste de la double voie en cascade ou modèle DRC (Dual Route Cascade) (Coltheart, Rastle, Perry, Langdon & Ziegler, 2001) et du modèle ACV 98 de Ans, Carbonnel et Valdois (1998) cités par : Duplat et Girier (2006) ; Bosse, Tainturier et Valdois (2006) et Kéïta (2007).
- d'une voie unique débouchant sur différents traitements et procédés concourant à la réussite, chacun ayant une contribution. Cette contribution dépend du mot à lire. Ce sont des modèles connexionnistes. Par exemple, le lecteur fonctionnerait à partir d'analogies, d'indices sublexicaux... (Campbell, 1983 ; Barry & Seymour, 1988, cités par Pacton et al, 1999).

4.1.3. Hypothèses étiologiques

4.1.3.1. Hypothèse phonologique

Les recherches menées sur l'apprentissage de la lecture et ses troubles sont multiples. La majorité d'entre elles se sont focalisées sur la dimension phonologique.

La raison principale pour mettre le facteur phonologique en avant est son caractère prédictif de la réussite en lecture, via l'acquisition de capacités métaphonologiques. Ces capacités permettent à l'enfant d'identifier les composantes phonologiques des unités linguistiques et de les manipuler intentionnellement. Plus tard, c'est la constitution du lexique orthographique, donc de la procédure d'adressage, qui est conditionnée par cette capacité.

Or, le déficit phonologique est préexistant chez les enfants dyslexiques, comme l'ont démontré des études longitudinales d'enfants dont le développement a été observé de façon précoce (Gallagher, Frith, & Snowling, 2000).

Les autres hypothèses décrites ci-après ne démentent pas la présence d'un trouble phonologique dans la dyslexie. Cependant, elles s'appuient sur des facteurs supplémentaires pour l'expliquer, et pour analyser ainsi d'autres troubles créant des syndromes dyslexiques, au niveau visuel ou auditif notamment, et qui ne découlent pas du trouble phonologique.

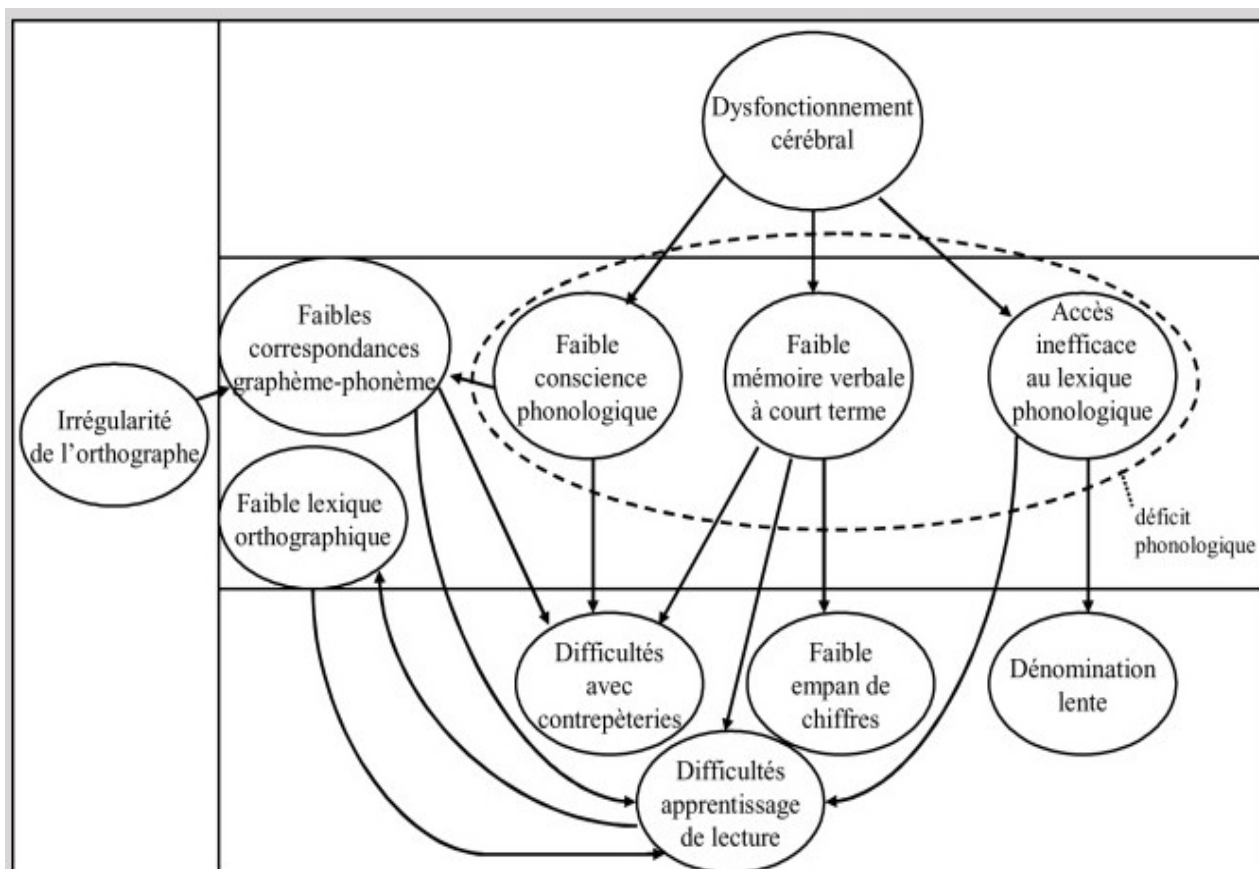


Figure 2 : Théorie phonologique - Dyslexie, dysorthographe, dyscalculie : Bilan des données scientifiques, Inserm © 2007.

4.1.3.2. Hypothèse visuelle et théorie magnocellulaire

Historiquement, avant l'avènement de la théorie phonologique, on utilisait l'expression « cécité verbale congénitale » pour rendre compte des difficultés rencontrées par les enfants d'intelligence normale dans l'apprentissage de la lecture (Morgan, 1896 ; Hinshelwood, 1900). Ce sont les travaux de Vellutino (1979) qui ont ensuite établi en premier l'origine phonologique de leurs troubles. L'hypothèse visuelle est rapidement réapparue, dans les années 1980 et 1990, grâce à des études montrant des difficultés chez les dyslexiques dans la perception d'images peu contrastées, de faible résolution spatiale, de haute fréquence temporelle ainsi qu'une faible sensibilité aux mouvements visuels (Lovegrove, Bowling, Badcock, & Blackwood, 1980 ; Lovegrove, Martin, Bowling, Blackwood, Badcock, & Paxton, 1982 ; Livingstone, Rosen, Drislane, & Galaburda, 1991).

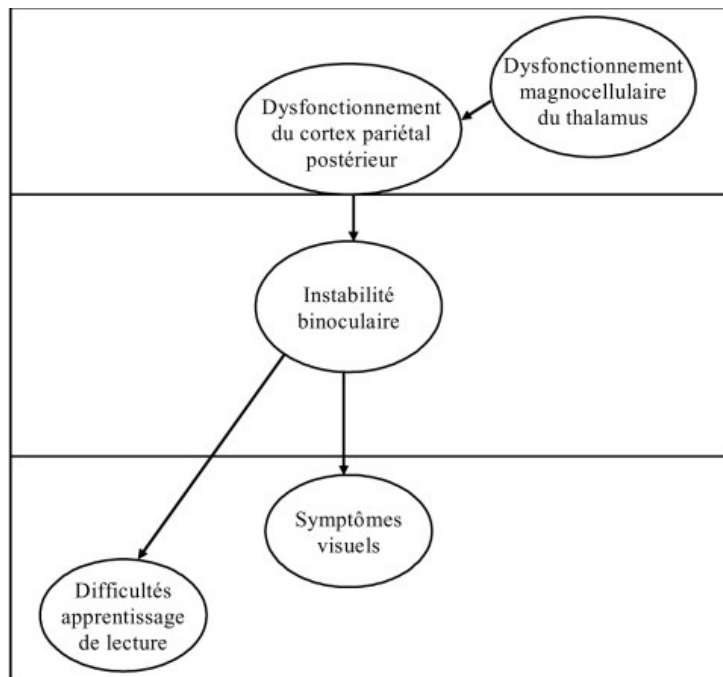


Figure 3 : Théorie visuelle magnocellulaire -
Dyslexie, dysorthographe, dyscalculie : Bilan des
données scientifiques, Inserm © 2007.

Les troubles des dyslexiques dans les épreuves visuo-perceptives, oculomotrices et visuo-attentionnelles témoigneraient d'un dysfonctionnement de la voie magnocellulaire (Livingstone, Rosen & Drislane, 1991), localisée notamment au niveau cortex pariétal droit. Or la couche ventrale, magnocellulaire, analyse les stimuli visuels présentés rapidement avec faible contraste et faible résolution spatiale, alors que la couche dorsale, parvocellulaire, est sensible à la couleur, aux stimuli de haute résolution spatiale.

En effet, le système magnocellulaire participe de façon importante à diriger l'attention visuelle, pour contrôler des mouvements oculaires et pour la recherche visuelle. Trois habiletés fortement sollicitées en lecture (Stein, 1994 ; Stein & Walsh, 1997 ; Stein & Talcott, 1999 ; Stein, 2001, 2003).

Talcott, Witton, McClean, Hansen, Rees, Green & Stein (2000) ont montré une corrélation entre la sensibilité au mouvement et le niveau orthographique dans un groupe d'enfants dyslexiques. Depuis les performances d'enfants dyslexiques sont étudiées sur des tâches oculomotrices, et visuo-attentionnelles.

4.1.3.3. Hypothèse du déficit de la fonction cérébelleuse

Nous allons davantage développer cette théorie que les autres puisque c'est sur elle que se fondent les prédicats de notre étude.

Encore peu de chercheurs se sont penchés sur ce sujet. Pourtant, Angela Fawcett et Rod Nicolson rapportent, dès les années 1990, l'hypothèse d'un dysfonctionnement du cervelet. En effet, chez les dyslexiques, ils ont remarqué un retard dans les étapes du développement moteur, des troubles de nature séquentielle et temporelle (dire l'heure, se rappeler des mois de l'année...), et des troubles de la coordination motrice et de l'équilibre (Fawcett et Nicolson, 1999). Ces symptômes viennent s'ajouter aux difficultés de lecture qu'ils présentent, mais aussi parfois à leurs troubles visuels, auditifs ou moteurs. Or, une dysfonction cérébelleuse donne des symptômes similaires.

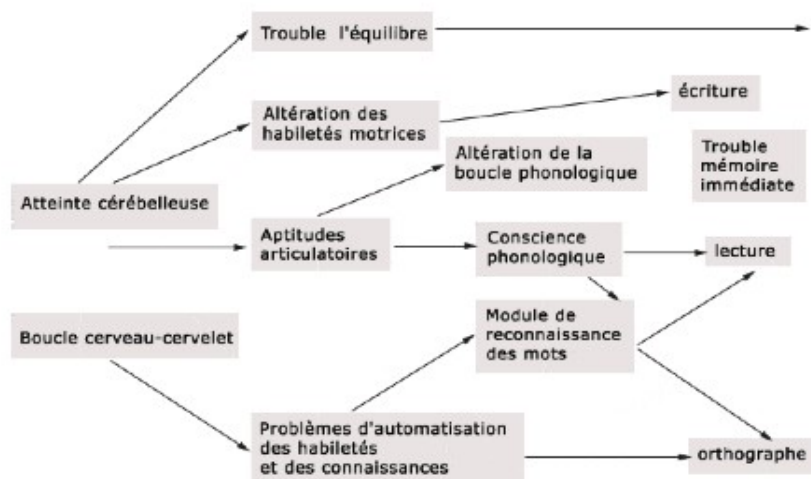


Figure 4 : Les différents symptômes de la théorie motrice de la dyslexie (Nicolson, Fawcett & Dean, 2001, tiré de Habib, 2002)

Ainsi, Fawcett et Nicolson (1999) définissent la dyslexie comme « *un déficit des aptitudes phonologiques, des habiletés motrices, de la rapidité du traitement d'information* (Wolf 1991 ; Nicolson et Fawcett, 1994) *et de l'automatisation* » (Nicolson et Fawcett 1990 ; Yap et Van der Leij, 1994). Or l'automatisation dépend des apprentissages

procéduraux (Nicolson & al., 1995 et 2001).

Des expériences soutiennent ce postulat : des travaux anatomiques, sur le cerveau humain post-mortem (Finch, Nicolson & Fawcett, 2002) et à l'aide de méthodes d'imagerie (Brown, Eliez, Menon, Rumsey, White & Reiss, 2001 ; Leonard, Eckert, Lombardino, Oakland & Kranzler, 2001 ; Rae, Harasty, Dzendrowskyj, Talcott, Simpson, 2002 ; Eckert, Leonard, Richards, Aylward, Thomson & Berninger, 2003), rapportent une anomalie au niveau du cervelet chez le dyslexique. Il s'agit d'une hypoactivation cérébelleuse lors de l'apprentissage d'une série de mouvements des doigts (tâche purement motrice) chez l'adulte dyslexique (Nicolson, Fawcett, Berry, Jenkins, Dean & Brooks, 1999), tâche que nous reprenons dans le protocole de la présente étude. De même, des patients avec lésion vermiennes peuvent également souffrir de troubles de la lecture (Moretti, Bava, Torre, Antonello & Razzato, 2002).

L'hypothèse cérébelleuse est compatible avec nombre d'autres hypothèses étiologiques portant sur la dyslexie. En effet, le cervelet pourrait affecter les traitements lexiques par un mauvais contrôle des mouvements oculaires, par une atteinte de l'attention visuo-spatiale, dans la vision périphérique (Stein & Walsh, 1997). Le cervelet pourrait également être impliqué dans les problèmes de coordination sensori-motrice et d'intégration intersensorielle chez le dyslexique.

La théorie cérébelleuse implique un déficit très précoce, qui interfère le développement normal :

- du système phonologique : par la perturbation des aptitudes auditives et articulatoires ;
- des aptitudes visuelles : problèmes au niveau des mouvements oculaires et de la reconnaissance des lettres.

Il en résulte des troubles phonologiques et orthographiques caractéristiques chez le dyslexique (Fawcett, Nicolson & Dean, 1996 ; Nicolson et al., 2001).

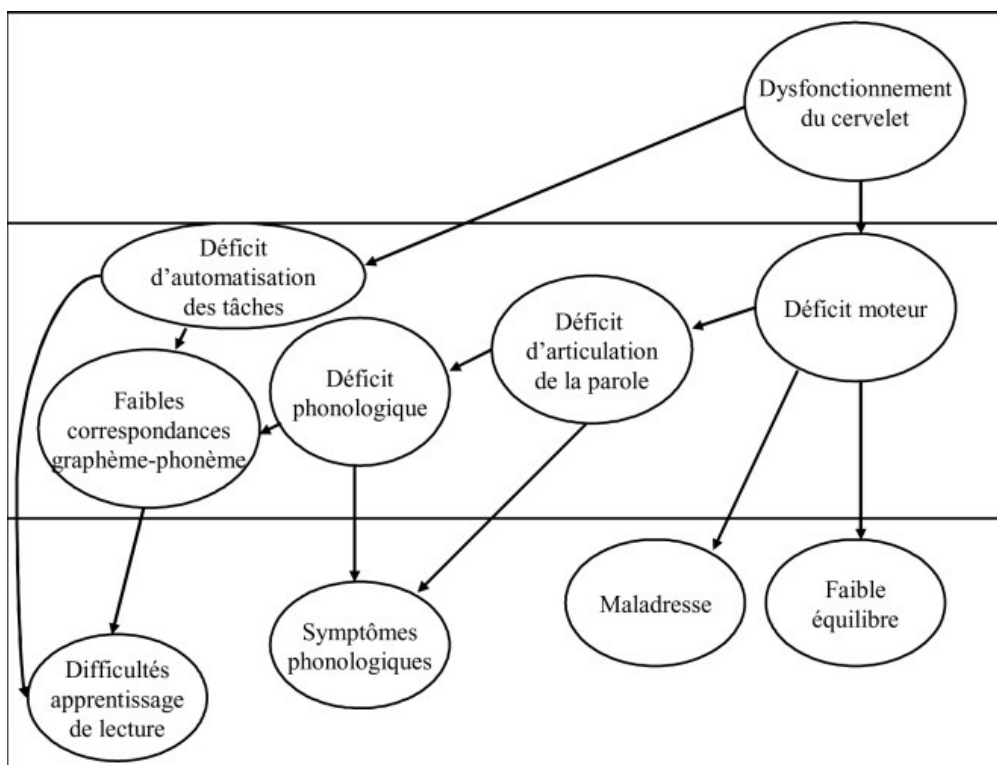


Figure 5 : Théorie du trouble cérébelleux - Dyslexie, dysorthographe, dyscalculie : Bilan des données scientifiques, Inserm © 2007.

Cependant, certains chercheurs vont à l'encontre de cette théorie, car, pour eux, les troubles moteurs ne constituent pas un signe généralisé chez les dyslexiques au cours de leur développement.

L'incidence d'une atteinte cérébelleuse a été testée à travers des tâches d'équilibre et de marche (Moe-Nilssen, Helbostad, Talcott & Toennessen, 2003). Stoodley, Fawcett, Nicolson & Stein (2005) ont étudié chez des enfants dyslexiques la tenue en équilibre sur un pied les yeux ouverts, et ils ont conclu que leur performance dans l'épreuve posturale était corrélée à leur performance en lecture et en orthographe.

Une hypothèse rendant compatible le trouble phonologique et le déficit cérébelleux se réfère à l'articulation de la parole dans l'apprentissage de la langue (Ivry et Justus, 2001 ; Nicolson et al., 2001). Les aptitudes articulatoires seraient faibles, ce qui atteindrait la boucle articulatoire, la mémoire phonologique à court terme et la conscience phonologique.

Dans le même sens, Griffiths et Frith (2002) ont montré chez des adultes dyslexiques des difficultés à associer des schémas représentant les positions linguales pour chaque phonème avec le phonème correspondant, comparativement à des témoins. Ce déficit est vu par les auteurs comme un trouble de la « *conscience articulatoire* ».

Parmi les épreuves temporelles, deux études ont testé la reproduction de rythmes et/ou d'intervalles, tâche faisant intervenir le cervelet, souvent considérée comme altérée chez le dyslexique. En effet, Wolff (2002) a remarqué que les dyslexiques prennent rapidement de l'avance sur le métronome, et tardent à s'adapter lors d'un changement de tempo. Puis Tiffin-Richards, Hasselhorn, Richards, Banaschewski et Rothenberger (2004) ont mis en évidence une tendance chez les dyslexiques à réussir cette épreuve tant que la complexité du rythme à reproduire n'y était pas trop élevée.

Pour conclure à propos de la théorie du déficit cérébelleux, nous remarquons, que, bien qu'elle soit parfois contestée, elle a le mérite de permettre de prendre plus généralement en compte des comorbidités dans l'explication de la dyslexie. En effet, un dysfonctionnement du cervelet peut affecter la lecture de différentes manières puisqu'il est entre autres impliqué dans le contrôle des mouvements oculaires, dans l'attention visuo-spatiale, dans la vision périphérique, tous ces aspects étant des composantes essentielles de la lecture.

4.1.3.4. Hypothèse du traitement auditif temporel

Tallal (1996) a proposé l'hypothèse que les enfants dyslexiques pouvaient initialement être de mauvais décodeurs dans le continuum de la chaîne parlée. Leur mauvais décodage du langage résulterait d'un traitement insuffisamment rapide des sons. Leur déficit phonologique en serait la conséquence. Par exemple, la discrimination des consonnes demande de traiter précisément les fréquences sur des durées très courtes, leur durée étant inférieure à 40 millisecondes. Cette discrimination, si elle est correcte, permet la construction des représentations phonologiques, qui constituent un facteur important de l'apprentissage de la lecture.

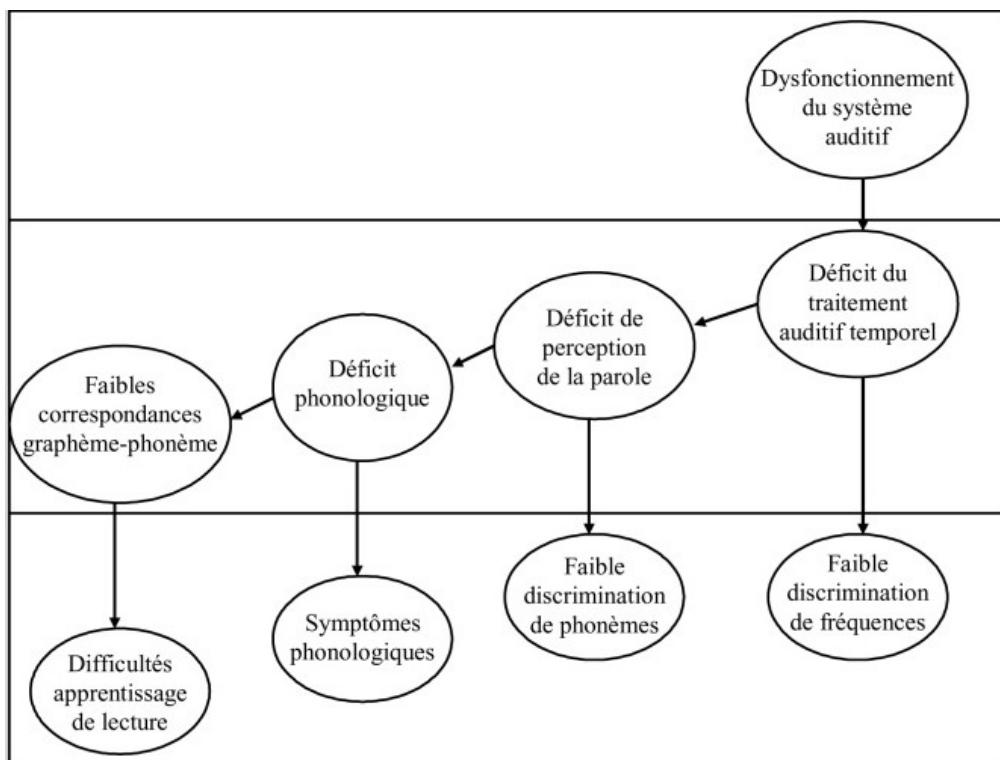


Figure 6 : Théorie du traitement auditif temporel - Dyslexie, dysorthographe, dyscalculie : Bilan des données scientifiques, Inserm © 2007.

4.1.3.5. Hypothèse intermodale : couplage audition-vision

Plaza et Cohen (2005) évoquent également l'hypothèse intermodale. La fenêtre temporelle étendue des enfants dyslexiques perturberait des traitements qui associent des informations d'origines multimodales comme la conversion grapho-phonémique. En effet, les enfants dyslexiques auraient des difficultés à associer les étiquettes verbales avec les stimuli visuels (Mayringer et Wimmer, 2000 ; Windfuhr et Snowling, 2001). Cette aptitude à associer est liée à la mise en relation entre le mot et son orthographe. En retour, cette difficulté d'apprentissage peut ralentir le développement de la lecture automatique.

Les études de Plaza et Cohen apportent beaucoup d'informations sur les facteurs qui conditionnent la lecture. Et entre autres, l'hypothèse que, dans la langue française, l'éveil phonologique et la dénomination rapide déterminent profondément l'acquisition de la

lecture, que ce soit à la fin de la GSM (Plaza et Cohen, 2003) ou au CP (Plaza et Cohen, 2004). Leurs études soulignent l'indépendance entre la dénomination rapide et les processus phonologiques, et pointent l'influence de la vitesse de traitement visuel-verbal et auditif-verbal dans la lecture. La vitesse de traitement du transfert intermodal visuel-verbal semble être déterminante pour apprendre à lire. Plaza et Cohen (2007) montrent que la conscience syllabique et l'attention visuelle sont les prédicteurs les plus importants au début de la lecture. Ces observations montrent que l'acquisition du langage écrit repose sur des capacités intermodales linguistiques, perceptives et cognitives.

En résumé, les prédicteurs les plus fiables de l'apprentissage de la lecture sont les capacités d'analyse phonémique et le niveau de connaissance des lettres, auxquelles s'ajoutent les capacités de mémoire à court terme phonologique et de dénomination rapide.

D'autres auteurs relient les hypothèses :

Ainsi, pour Breznitz (2002), le système verbal et le système visuel ne traitent pas l'information de la même façon. La discrimination et l'identification visuelle sont plus rapides que la discrimination et l'identification verbale. La bonne reconnaissance d'un mot requiert la combinaison mentale des aspects visuels et auditifs du mot. C'est pourquoi les difficultés de lecture seraient dues à un déficit de vitesse de traitement, qui affecte les connexions entre les voies visuelles (orthographe) et auditives (phonologie).

Wolf, Bowers et Biddle (2000), ainsi que Wolf, O'Rourke, Gidney, Lovett, Cirino et Morris (2002), suggèrent l'existence d'un double déficit à la fois phonologique et de dénomination rapide à l'origine du trouble de lecture. Les structures cognitives de la dénomination rapide reposent sur des processus d'abord perceptifs (détection visuelle, discrimination et reconnaissance), puis lexicaux (récupération des mots) et enfin moteurs (articulation).

4.1.3.6. Données génétiques

On suggère actuellement que la dyslexie possède une origine génétique (De Fries,

Fulker, & LaBuda, 1987). Si un enfant est dyslexique, un de ses frères et sœurs a environ 40 à 50% de l'être aussi, et qu'un des deux parents l'ait été (Vogler, DeFries & Decker, 1985 ; Wolff et Melngailis, 1994). Mais rien ne prouve l'origine génétique puisque certes, les familles partagent partiellement leurs gènes, mais aussi leur environnement et leur culture familiale.

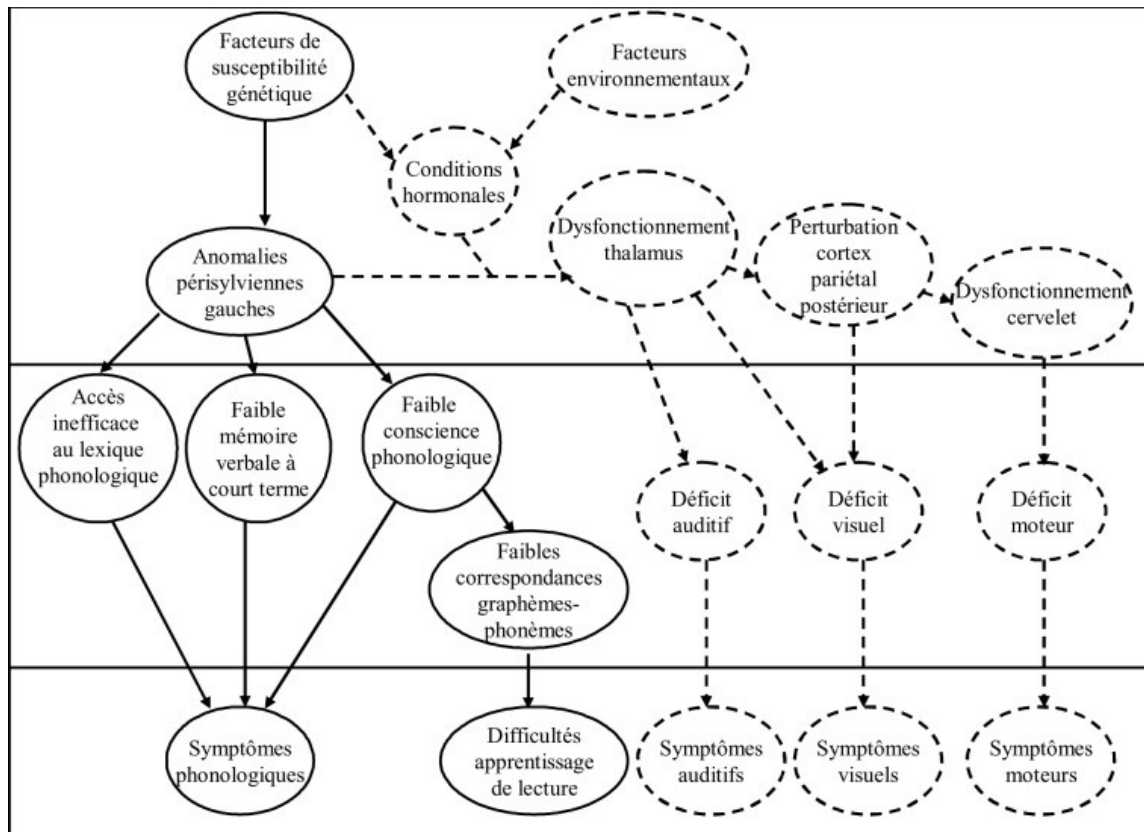


Figure 7 : Facteurs génétiques - Dyslexie, dysorthographe, dyscalculie : Bilan des données scientifiques, Inserm © 2007.

Ce sont les études de jumeaux qui permettent aujourd'hui le mieux d'appréhender l'incidence génétique par rapport aux facteurs environnementaux. Ainsi, si un jumeau monozygote est dyslexique, la probabilité que l'autre le soit est d'environ 70 %. Cependant cette probabilité se réduit à 45 % pour les jumeaux dizygotes (Plomin, Owen & McGuffin, 1994 ; Stromswold, 2001). Les chercheurs ont identifié différentes localisations de gènes participant à la genèse des troubles de lecture : les chromosomes 6 et 15.

Le fait de recueillir un si grand nombre de théories tentant d'expliquer la dyslexie montre que ses origines sont encore incertaines. L'hétérogénéité des déficits et l'existence de troubles associés orientent désormais vers une origine multifactorielle (Inserm, 2007).

4.2. Dysorthographie

4.2.1. Définition

Une dysorthographie est très fréquemment diagnostiquée en plus de la dyslexie (American Psychiatric Association, 2000). Il s'agit d'un trouble apparaissant dans les mêmes conditions que la dyslexie (environnement culturel et socio-éducatif correct, en l'absence de privation sensorielle, et se développant chez un enfant dont l'intégrité intellectuelle est prouvée, c'est-à-dire avec un quotient intellectuel dans la norme). Il s'agit d'un trouble qui se manifeste sur le versant productif cette fois, sur les aspects orthographiques de l'écriture et non sur le tracé (on parlerait alors de dysgraphie).

4.2.2. Types de dysorthographie

Les types de dysorthographie sont les suivants :

- La dysorthographie de surface, ou dyséidétique, résulte d'une prédominance nette dans le fonctionnement du sujet de la voie phonologique ou d'assemblage, au détriment de la voie directe (ou d'adressage). Pour Brück (1988), le blocage au niveau alphabétique empêcherait le sujet d'accéder à la procédure orthographique. Cette stratégie implique des troubles persistants de l'orthographe lexicale. Les réalisations s'appuient sur l'utilisation des conversions phono-graphémiques. Ainsi, en réception, l'enfant est très lent et n'accède pas toujours au sens du mot. Il ne s'agirait pas d'une défaillance du traitement phonologique en tant que tel, d'où l'hypothèse d'un déficit de la représentation lexicale orale conduisant à la difficulté de fusion entre les enveloppes phonologique, graphique, orthographique et sémantique du mot. Les erreurs portent notamment sur des simplifications (exemple : "ognon" pour "oignon") et complexifications (exemple : "eaunion" pour "oignon"). Les difficultés apparaissent par ailleurs davantage sur les mots irréguliers que sur les mots réguliers ou les pseudo-mots (Martinet & Valdois, 1999). Souvent la production est « phonologiquement acceptable ». Le langage oral est bon, tout

comme les capacités de mémoire verbale à court terme et de travail, avec une bonne conscience phonémique. Le traitement visuel est quant à lui déficitaire (difficultés à comparer des séquences de lettres ou à identifier des cibles parmi des distracteurs, qu'il s'agisse de matériel verbal ou non verbal).

- La dysorthographie phonologique : d'après Brück (1988), elle résulterait d'un blocage au niveau de l'étape logographique et donc d'une difficulté à accéder au traitement alphabétique. Selon Frith, la stratégie alphabétique (correspondant à la voie phonologique) est directement perturbée. Dans les faits, les mots fréquents sont mieux orthographiés que les mots non fréquents (que ceux-ci soient réguliers ou irréguliers) ou les non-mots (logatomes). Cependant, les difficultés du dysorthographique phonologique sont plus marquées en dictée de pseudo-mots qu'en dictée de mots réguliers ou irréguliers, même si dans certains cas, l'écriture des mots irréguliers est chutée, par inefficacité de la procédure analytique. Les productions écrites sont souvent « phonologiquement inacceptables ». Dans les productions écrites, les erreurs consistent principalement en des substitutions de phonèmes, liées à confusions de sons proches (sourdes-sonores, orales-nasales). Exemple : "confidure" pour "confiture". On trouve également des erreurs de lexicalisation. Des troubles associés du langage oral peuvent coexister, les capacités de mémoire verbale à court terme et de travail sont limitées et les difficultés sont importantes concernant la conscience phonémique. Le degré de sévérité est variable d'un enfant à l'autre.

Certains théoriciens ajoutent aux deux précédentes la dysorthographie visuo-attentionnelle, qui débouche sur des confusions de sons visuellement proches (p-b-d-p, d-ol, an-na, par-pa) et des difficultés de copie, ainsi que la dysorthographie mixte.

D'après Seymour (1997), la dysorthographie serait due à une rupture lors du passage entre la procédure alphabétique et la procédure orthographique. Les difficultés à orthographier les mots irréguliers sont causées par le choix de formes régularisées (la voie qui convertit les phonèmes en graphèmes reste dominante).

5. Analyse en temps réel de l'écriture

5.1. Paradigme des pauses et débits

L'analyse en temps réel de la production écrite s'appuie sur différents paradigmes pour prendre en compte les informations cinématiques ou temporelles au cours de la tâche en question. Chaque tâche comprend différents paramètres. Les caractériser permet de les contrôler au cours de l'étude de la production écrite. Ainsi, les paramètres temporels sont mis en relation avec le contexte sémantique et linguistique du texte traité (Alamargot et Chanquoy, 2001, 2002).

Les trois paradigmes permettant d'analyser la production écrite en temps réel sont les suivants :

- les protocoles verbaux (Piolat et Pélissier, 1998),
- les méthodes de double et triple tâche (Kellogg, 1987 ; Levy et Ransdell, 1994),
- l'analyse des pauses et des débits intervenant au cours de l'écriture (Olive, Kellogg et Piolat, 2001 ; Matsushashi, 1981).

Le paramètre de durée est corrélé à la difficulté des processus mis en jeu (Chesnet et Alamargot, 2005). Ainsi, un processus complexe nécessitera plus de temps qu'un processus simple, et la durée de traitement s'en trouvera allongée. A l'inverse, une durée de traitement longue constitue un indice de complexité des opérations mentales nécessitées (Goldman-Eisler, 1968).

Notre étude va accorder une place particulière au paradigme des pauses et débits. Son but est de faire des inférences sur les processus mentaux du sujet, en fonction des paramètres temporels (durée et localisation des pauses) relevés lors de l'exécution graphomotrice, que ce soit l'écriture de mots ou la rédaction de texte. Par exemple, le temps d'effectuer une saccade oculaire régressive pour corriger un accord lors de la relecture.

5.2. Eye and Pen

Notre étude se base sur des critères spatiaux et temporels. C'est pourquoi le logiciel Eye and Pen est utilisé. En effet, les échelles prenant en compte le produit final statique ne donnent pas d'informations sur la dynamique des traitements qui ont permis la production de texte (cinétiques). A l'inverse, l'utilisation de mesures recueillies par des tablettes, permet d'obtenir des informations précises. Puisque les mouvements d'écriture sont définis dans le temps et dans l'espace, les mesures temporelles ne peuvent être ignorées pour apprécier la qualité du tracé (Chesnet et Alamargot, 2005 ; Bara et Gentaz, 2010).

Eye and Pen (Alamargot, Chesnet, Dansac & Ros 2006 ; Caporossi, Alamargot & Chesnet 2004 ; Chesnet & Alamargot 2005) est un outil permettant l'enregistrement puis l'analyse au cours du processus d'écriture (*on-line*) : il permet de comprendre finement le déroulé des traitements rédactionnels, orthographiques et graphomoteurs. Les méthodes d'analyse en temps réel se définissent en deux axes : syntagmatique (durée et répartitions des traitements, des pauses par exemple) et paradigmatic (profondeur des traitements : attention allouée à la tâche). Eye and Pen a la particularité de synchroniser les mesures oculaires (*input*) et graphomotrices (*output*) chez le rédacteur. Il s'agit pour ce dernier d'écrire sur une tablette-écran configurée comme un pupitre, avec une inclinaison de 30°. L'intérêt est entre autres de percevoir les périodes de tracés et de pauses au cours de l'écriture. Grâce à un oculomètre, le logiciel enregistre les mouvements oculaires : les fixations (temps, espace, vitesse) et les saccades (mouvement, vitesse), qui permettent de déduire des *gazes* (nombre de fixations effectuées dans un certain espace) et les zones distinctes d'activité oculaire (ou « zones d'informations fixées », selon Plane, Alamargot, Lambert & Chesnet, 2010).

Ce dispositif permet l'exploration des liens entre « capacités en mémoire de travail, expertise dans le domaine, fluidité de récupération lexicale [ou] automatisation graphomotrice » et « traitements parallèles à la réalisation du tracé » (Alamargot, Plane et al., 2010). Il constitue également une manière d'approfondir notre connaissance des productions d'enfants à troubles dys- (Albaret & Santamaria, 1996).

6. CONCLUSION THEORIQUE

Le grand nombre de théories tentant d'expliquer la dyslexie et le fait que ses symptômes, et troubles associés, soient variés, nous orientent actuellement vers une origine multifactorielle. Il y a donc de fortes disparités parmi la population dyslexique. Les signes évoluent eux aussi avec l'âge. Il est nécessaire pour les patients d'avoir recours à des prises en charge pluridisciplinaires, afin qu'ils puissent trouver des compensations au quotidien face à ce trouble dys-, dont la connaissance se démocratise, mais dont le handicap ne s'allège aucunement.

Les grands modèles théoriques, basés sur le modèle à double voie de lecture, ne sont pas toujours le reflet de la réalité : les cas de dyslexie sont complexes, et rarement purs. C'est pourquoi il apparaît nécessaire d'étudier au cas par cas les productions de ces enfants par des procédés d'analyse en temps réel. Quand ces méthodes sont apparues, dans les années 1980, elles ont été appliquées à des populations ordinaires. Rares sont les études à s'être intéressées aux productions d'enfants présentant des troubles dys-. Notre étude porte donc sur l'analyse des compétences cérébelleuses et leur relation avec la production verbale écrite d'enfants dyslexiques dont le niveau scolaire est compris entre le CM1 et la 6^{ème} : nous allons maintenant voir comment elle a été programmée, comment elle s'est déroulée et quelles en sont les conclusions.

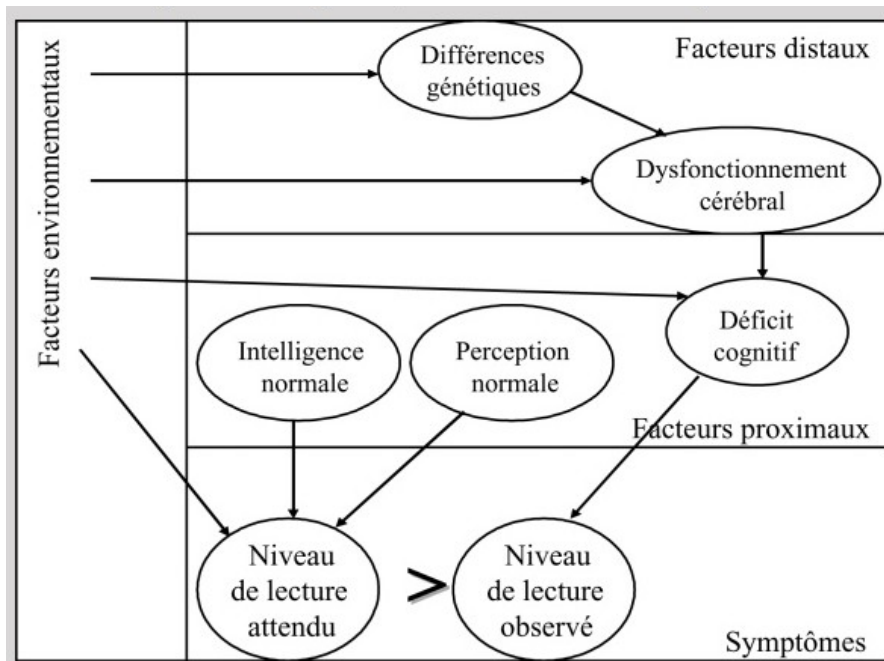


Figure 8 : Cadre général pour décrire les théories de la dyslexie - Dyslexie, dysorthographe, dyscalculie : Bilan des données scientifiques, Inserm © 2007.

PARTIE PRATIQUE

7. Méthodologie

7.1. Populations étudiées

L'étude portant sur la production écrite d'enfants dyslexiques-dysorthographiques en temps réel, tout participant a reçu le diagnostic de dyslexie-dysorthographie. Ce dernier est défini par des critères d'inclusion et d'exclusion.

7.1.1. Niveau de lecture et d'écriture

Les participants ont été recrutés auprès d'orthophonistes exerçant en libéral dans la Vienne et les Deux-Sèvres. La passation s'est déroulée dans le cabinet, ou, de façon exceptionnelle, au domicile du sujet. Le diagnostic de DL-DO a été établi, et met à chaque fois en évidence un retard lexique et orthographique de plus de deux ans par rapport à l'âge réel de l'enfant. Un retard intellectuel est éliminé par la passation d'un test de QI au sein de la pose de ce diagnostic. Nous nous basons sur les dossiers des orthophonistes, sur l'existence d'un dossier MDPH (Maison Départementale des Personnes Handicapées), sur celle d'un bilan au CRTL (Centre Référence des Troubles du Langage) de Poitiers ou encore sur la mise en place d'adaptations scolaires pour chaque enfant.

Pour vérifier ces critères, il a été administré aux participants le test de *La pipe et le rat*, le PM 38 ainsi que le Test de Niveau d'Orthographe (TNO).

7.1.2. Age chronologique

Au regard des âges proposés dans l'ODEDYS, de MANULEX - une base de données lexicales (Lété, Sprenger-Charolles & Colé, 2004) -, nous avons choisi de porter notre étude sur des enfants de CM2 avec plus ou moins 1 an, donc du CM1 à la 6^{ème}. Ce niveau scolaire a également été sélectionné car, pour la majorité, les enfants y accèdent à un certain niveau de maîtrise graphique et orthographique, ce qui permet d'étudier ces deux

composantes de la production verbale écrite. Bien que nous ayons toléré les enfants ayant connu un redoublement antérieur à la classe actuelle dans notre population, la classe actuelle a toujours été rigoureusement comprise en le CM1 et la 6^{ème}.

La dyslexie est à distinguer du retard simple de langage écrit. Les deux témoignent d'un décalage lié à l'âge dans l'acquisition de l'écrit par rapport à la norme attendue (la moyenne obtenue pour les enfants de cet âge). Le retard ne perdure pas : il peut être compensé et évoluer vers la normalisation, contrairement au trouble durable, qui s'inscrit comme une déviance perturbant la fonction de manière significative, persistante et chronique, ne pouvant se résorber spontanément (synthèse de l'Inserm, 2007). La définition de la dyslexie-dysorthographe explique que le retard des âges lexique et orthographique est supérieur dans ce cas à 18 mois par rapport à l'âge réel de l'enfant.

7.1.3. Niveau intellectuel

Les sujets sélectionnés pour participer à cette étude ont un quotient intellectuel supérieur ou égal à 70 sur l'échelle WISC (Wechsler Intelligence Scale for Children). Leur efficience intellectuelle se situe donc dans la norme. Nous leur avons administré les épreuves de mémoire des chiffres de cette batterie.

7.1.4. Langue maternelle

Les sujets sont de langue maternelle française.

7.2. Protocole expérimental

7.2.1. Matériel

Le matériel expérimental se compose de deux parties : une partie qui étudie les performances du cervelet à travers des tâches d'ordre neuropsychologique, et une

seconde qui étudie l'écriture, sous différentes formes (copie, picture writing...).

En effet, l'orthographe peut être évaluée de différentes façons : selon la nature et la complexité des procédures inhérentes aux tâches imposées à l'enfant. En dictée, l'enfant n'a pas à produire la représentation phonologique du mot. Le texte à trous peut mobiliser les capacités de lecture et de compréhension en plus de la gestion de l'orthographe. Le rappel écrit de texte lu demande de prendre en compte à la fois les aspects syntaxiques, la ponctuation... La production de texte dans le sens de rédaction, est une tâche qui est réalisée en parfaite autonomie et qui fait donc appel à des processus de haut niveau (Hayes et Flower, 1980).

Ainsi, l'étude des fonctions cérébelleuses porte sur les tâches suivantes :

- le test du doigt sur le nez
- l'équilibre statique, pieds joints, les yeux fermés
- l'équilibre statique, pieds joints, les yeux fermés, en double tâche avec le comptage à rebours
- la tenue en équilibre sur un pied les yeux ouverts (Stoodley, Fawcett, Nicolson & Stein, 2005)
- le tapping de la NEPSY (Bilan neuropsychologique de l'enfant - 3 à 12 ans)
- les séquences motrices manuelles de la NEPSY
- l'imitation des positions de mains de la NEPSY
- le questionnaire de temps social de Daffaure et al., 2001

Les tâches dites d'écriture se composent de :

- tâches graphiques Copie de figures géométriques ;
- tâches graphomotrices (alphabet, nom-prénom, jours de la semaine, pangramme) ;
- épreuves de spelling en dictée (avec réécoute possible du modèle), copie (avec consultation du modèle) et picture writing (avec consultation du modèle) de listes de mots variant en fréquence et régularité ;
- tâches de grammaire Copie des phrases provenant la dictée de phrases « Petit garçon » de l'ODEDYS (avec consultation du modèle) ;
- rédaction d'histoire : narration à partir des images du chariot (avec consultation du modèle).

7.2.2. Tâches et consignes

7.2.2.1. Tâches cérébelleuses

Les épreuves cérébelleuses ont été inspirées des tâches que Nicolson et Fawcett utilisent dans leurs études, ainsi que celles sélectionnées par Ramus (2003). Elles comportent dans la présente étude :

7.2.2.1.1. le questionnaire de « temps social » de Daffaure et al., 2001

L'épreuve d'imitation de rythme, de Mira Stambak (Stambak, 1951), pour laquelle les performances sont considérées comme faibles chez les dyslexiques, a été difficile à se procurer. Nous avons donc repris les résultats d'une expérience de Daffaure, De Martino, Chauvin, Cay-Maubuisson, Camps, Giraud, Rey et Habib (2001), qui témoignaient d'une forte corrélation entre la performance à l'épreuve de rythme et au questionnaire de temps social. Pour écarter les passations des enfants dyslexiques, nous avons donc choisi de faire passer ce questionnaire aux parents.

Il convient de le remplir en cochant l'une des cases suivantes : jamais - rarement - parfois - souvent - très souvent, pour les neuf items qui le composent :

1. Il / Elle se souvient difficilement des jour / mois / année que nous sommes.
2. Il / Elle confond les moments de la journée matin / après-midi / soirée.
3. Concernant un évènement qui est survenu le matin, il / elle peut le placer la veille.
4. Pour un évènement qui est survenu il y a quelques jours, il / elle peut dire : « il y a très longtemps ».
5. Il lui est difficile de comprendre les relations entre les membres de la famille : grands-parents, tantes, neveux, beau-frère...
6. Il / Elle a du mal à comprendre les notions de hier, demain ou après-demain.
7. Il / Elle a des difficultés à lire l'heure sur un cadran.
8. Il / Elle se trompe lorsque il / elle doit évaluer la durée d'un film, la durée d'une

activité, ou même la durée d'une nuit de sommeil.

9. Vous avez besoin de lui donner des indices pour qu'il / elle se repère dans une semaine (lundi : école - mercredi : activités extra-scolaires - dimanche : repos...).

7.2.2.1.2. le test du doigt sur le nez (NEZ)

La consigne était "Tu vas fermer les yeux tout en restant assis. Mets ta main droite / gauche comme ça, à l'horizontale, avec l'index tendu. Tu vas amener ta main à partir du côté jusqu'à ton nez, comme si tu traçais un grand cercle". 20 secondes sont données pour chaque épreuve : de la main droite, de la main gauche, puis avec les deux mains simultanément, pour tester la coordination.

Nous avons défini la notation de la façon suivante : 0 (faible) - 1 (moyen) - 2 (bien) - 3 (très bien) d'un point de vue quantitatif. Puis nous avons ajouté des observations qualitatives : malhabile / hypermétrie (dépasse son but) / incoordination.

7.2.2.1.3. l'équilibre statique, pieds joints, les yeux fermés (ESYF)

La tâche d'équilibre statique les yeux fermés comportait la consigne suivante : "Tu vas te mettre debout avec tes pieds l'un à côté de l'autre et tes yeux seront fermés". Le temps imparti était de 40 secondes et la notation était la même que dans l'épreuve précédente : 0 (faible) - 1 (moyen) - 2 (bien) - 3 (très bien).

7.2.2.1.4. l'équilibre statique, pieds joints, les yeux fermés, en double tâche avec le comptage à rebours (ESYF-C)

Pour cette épreuve, la consigne était : "Maintenant tu vas recommencer, donc rester debout avec tes pieds l'un à côté de l'autre et tes yeux seront fermés. Mais cette fois tu vas compter à l'envers à partir de 60. Le temps était encore de 40 secondes et la notation était la même que dans les épreuves précédentes : 0 (faible) - 1 (moyen) - 2 (bien) - 3 (très bien). Le comptage n'a pas été pris en compte, c'est toujours l'équilibre qui est évalué, mais cette fois en situation de double tâche.

7.2.2.1.5. l'équilibre sur un pied les yeux ouverts (E1PYO)

Nous avons testé la capacité des enfants à rester en équilibre sur un pied, sur 15 secondes, mais nous leur avons dit de rester le plus longtemps possible et avons pris en compte à la fois la qualité de l'équilibre et le temps dans la note finale.

7.2.2.1.6. Le tapping de la NEPSY

Il consiste en des oppositions successives et rapides d'un doigt de la main avec le pouce. Les tests de tapping mesurent les capacités à organiser, planifier, coordonner et contrôler les mouvements fins des doigts rapidement et précisément (dextérité digitale et vitesse motrice). Un déficit concernant la vitesse d'exécution de cette tâche est un léger signe neurologique de dyslexie (Nicolson & Fawcett, 2011). Des informations sur le traitement des informations kinesthésiques et tactiles et sur l'influence de la dominance latérale sont également fournies à travers les résultats.

Les épreuves de tapping sont décomposées en tapping simple et en tapping séquentiel :

- l'épreuve de tapping simple renseigne sur la coordination pouce/index et la capacité d'inhibition du mouvement des autres doigts. Il s'agit pour l'enfant de toucher 32 fois la face interne de son pouce avec la face interne de son index, ses deux doigts devant former un cercle. Cette épreuve s'arrête lorsque l'enfant a effectué 32 fois de suite le mouvement correctement. Cette épreuve est évaluée par le temps en secondes, avec un maximum de 60 secondes.
- le tapping séquentiel, qui teste les gnoso-praxies digitales, informe sur la coordination et la dissociation des doigts. Cette épreuve met aussi en jeu une séquentialité motrice. L'enfant doit toucher la face interne de chacun de ses doigts avec la face interne de son pouce. Ce mouvement s'effectue de façon séquentielle et ordonnée : il commence par l'index, suit le majeur, puis l'annulaire et enfin l'auriculaire ; ensuite il reprend son mouvement en partant de l'auriculaire, jusqu'à l'index. Il doit réussir huit séquences successivement. Cette épreuve est mesurée par le temps en secondes, avec un maximum de 90 secondes.

Ces deux épreuves sont chronométrées. L'examineur montre au préalable les mouvements de doigts que l'enfant devra reproduire. L'épreuve commence par la main dominante de l'enfant.

Au cours de ces épreuves, on peut constater la présence de syncinésies (mouvements créés par des contractions involontaires de muscles non sollicités initialement par un acte). Les syncinésies informent sur la maturité neurologique et les capacités d'inhibition des mouvements parasites.

D'après la NEPSY, lors des deux épreuves de tapping, les différentes sortes de syncinésies constatées sont les suivantes :

- syncinésies homolatérales de diffusion tonique
- syncinésies controlatérales d'imitation
- syncinésies controlatérales de diffusion tonique
- syncinésies bucco-faciales

7.2.2.1.7. L'imitation de positions de mains (IPM)

Tirée également de la NEPSY, cette épreuve permet d'apprécier le repérage dans l'espace du patient, de détecter d'éventuelles erreurs spatiales et d'orientation dans les gestes réalisés. La coordination motrice bimanuelle entre en jeu. Cette épreuve n'a pas été proposée par Nicolson et Fawcett dans leurs études, mais il nous a paru intéressant de la faire passer dans l'objectif de détecter une éventuelle corrélation avec certaines caractéristiques d'écriture des enfants dyslexiques-dysorthographiques. Cependant, les praxies (ici manuelles) sont élaborées à partir des programmes moteurs qui requièrent l'intégrité du cervelet, ce dernier définissant la coordination et la précision du geste. L'épreuve est chronométrée, et comporte une note pour chaque main (dominante / non dominante) sur 12, ainsi qu'une note totale sur 24. Concernant l'observation du comportement de l'enfant au cours de la passation de cet item, nous pouvons constater qu'il imite la position avec la main opposée ou bien qu'il s'aide de l'autre main.

7.2.2.1.8. Les séquences motrices manuelles (SMM)

C'est par une épreuve de ce type que la théorie cérébelleuse de Nicolson et Fawcett s'est faite connaître. En effet, une hypoactivation cérébelleuse a été remarquée chez les adultes dyslexiques dans des épreuves purement motrices, par exemple dans l'apprentissage d'une série de mouvements des doigts (Nicolson et al., 1999). Il s'agit de séquences de mouvements (parfois simultanés) des deux mains. A titre de modèle, l'examineur exécute trois fois de suite la séquence, puis c'est au tour de l'enfant de la produire. Il est chronométré et doit effectuer cinq fois la séquence qui lui a été présentée. Les informations qualitatives que nous pouvons observer lors de cet item sont la présence de syncinésies, de persévération, des pertes d'asymétrie du mouvement (les deux mains font la même opération simultanément), des mouvements du corps, des frappes trop vigoureuses, ou encore des changements de vitesse.

Concernant chaque épreuve informatisée (elles sont toutes présentées ci-après), la consigne s'affichait à l'écran et un examinateur la lisait à haute voix. Ainsi, les deux canaux perceptifs utilisés permettaient d'accroître la compréhension de chaque consigne. Toutes les instructions se sont voulues objectives pour ne pas influencer sur les réponses des participants. Les examinateurs se sont assurés de la bonne compréhension des consignes avant de démarrer l'épreuve, par la demande d'une simple explication de la part de chaque sujet.

7.2.2.2. Tâches graphiques : copie de figures

Il s'agit pour l'enfant de produire des 4 séries de figures géométriques différentes, d'après un modèle. L'intégralité de l'épreuve se fait sur un même écran.

7.2.2.3. Tâches de graphomotricité

7.2.2.3.1. production du nom-prénom (Chuy, Alamargot & Passerault, 2012 ; Pontart et al., in revision)

Chaque enfant doit écrire son nom et son prénom à trois reprises. Ainsi, un modèle d'écriture personnel nous est fourni. La consigne est la suivante : « Ecris plusieurs fois de suite ton prénom et nom, le plus rapidement possible mais aussi le mieux possible, en respectant les majuscules et minuscules, avec ton écriture habituelle ».

7.2.2.3.2. production de l'alphabet (Abbott & Berninger, 1993)

Outre les compétences en graphomotricité, cette tâche de rappel ordonné de l'alphabet permet d'estimer le degré de connaissance que chaque sujet a de la chaîne alphabétique. La consigne est la suivante : « Ecris les 26 lettres de l'alphabet, dans l'ordre et en lettres minuscules. Ecris le plus rapidement possible mais aussi le mieux possible ». La mémoire phonologique est mobilisée dans cette épreuve.

7.2.2.3.3. production des jours de la semaine

Le rappel ordonné des jours de la semaine consiste à écrire une fois les 7 jours les uns sous les autres, avec l'écriture habituelle. Il est stipulé dans la consigne que l'enfant doit écrire rapidement mais lisiblement.

7.2.2.3.4. copie d'un pangramme

Un pangramme est une phrase contenant au moins une fois chacune des 26 lettres de l'alphabet. Comme pour l'épreuve de la chaîne alphabétique, la graphomotricité est testée ici. Cependant, la mémoire phonologique n'entre pas en action dans cette tâche.

L'attention visuelle est mobilisée (il s'agit de copie). La phrase à copier est la suivante : « Portez ce vieux whisky au juge blond qui fume ». Cette tâche de copie s'effectue par appels successifs au modèle, qui apparaît initialement après la consigne et qui disparaît dès lors que l'enfant appuie avec le stylet dans la zone d'écriture. La consultation du modèle est libre.

7.2.2.4. Tâches d'orthographe lexicale :

- dictée de 24 mots variant selon leur fréquence et leur consistance (régularité). L'enfant entend le mot par l'intermédiaire du casque posé sur des oreilles. Un bip lui succède. L'enfant peut écouter à nouveau le mot au décours de son écriture, en appuyant sur le bouton « voir/entendre le modèle ».
- copie de 24 mots variant selon leur fréquence et leur consistance (régularité). Le mot apparaît sur l'écran, l'enfant le lit. Dès qu'il appuie son stylet, le modèle disparaît. L'enfant peut consulter à nouveau le modèle en appuyant sur le bouton « voir/entendre le modèle ».
- picture writing (avec consultation du modèle) de listes de mots variant en fréquence et régularité. Le picture writing comporte une phase d'apprentissage au cours de laquelle les images sont montrées à l'enfant successivement et à chaque image est associée, en simultané, l'image phonologique du mot qui lui correspond. Une fois la phase d'apprentissage terminée, l'enfant doit dénommer de manière écrite le mot qui correspond à l'image qui lui est présentée. L'image apparaît à l'écran puis disparaît dès que l'enfant commence à écrire. L'enfant peut faire afficher à nouveau l'image en appuyant sur le bouton « voir/entendre le modèle ». Cette épreuve comporte au total 24 images, qui correspondent à 24 mots variant selon leur fréquence et leur consistance (régularité).
- dictée de pseudo-mots : Les pseudo-mots sont des logatomes, encore appelés non-mots, tirés de la batterie ODEDYS - Outil de Dépistage des Dyslexies version 2 (Laboratoire des Sciences de l'Education Université Pierre Mendès France, Grenoble, 2005). Les pseudo-mots sont entendus par l'enfant au moyen d'un casque posé sur les oreilles de l'enfant. La consigne est la suivante : « Tu vas entendre un mot qui n'existe pas : il ne veut rien dire mais il peut s'écrire quand même. A toi de l'écrire. Tu peux rayer et corriger si c'est nécessaire. Ecris le mot

comme tu le penses puis appuie sur « fin ». Tu auras ainsi toute une série de mots à faire ».

7.2.2.5. Tâche d'orthographe lexicale et grammaticale en contexte :

Il s'agit de la copie des phrases provenant la dictée de phrases « Petit garçon » de l'ODEDYS (avec consultation du modèle). La consigne est la suivante : « Maintenant ce sont des phrases entières que tu vas entendre, tu vas les écrire sur la ligne... Tu peux me demander de répéter la phrase si c'est nécessaire. Tu auras ainsi 5 phrases à faire ».

7.2.2.6. Epreuve de rédaction

L'objectif est d'amener l'enfant à la narration écrite à partir d'images (dont la consultation est libre). La séquence est la suivante :

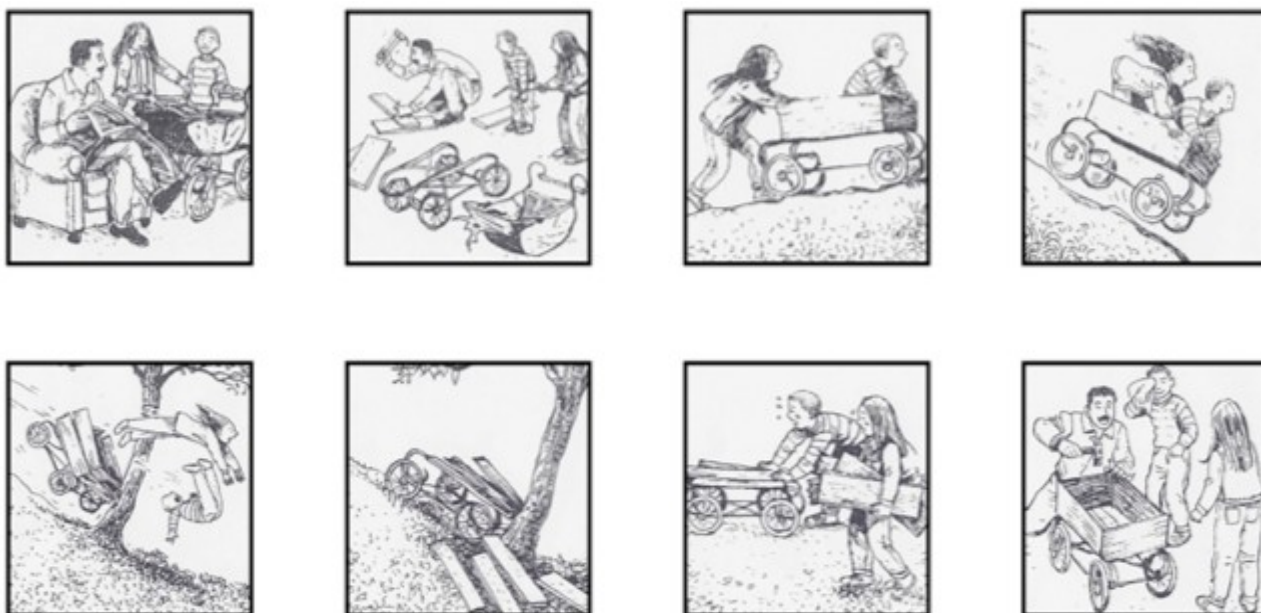


Figure 9 : séquence d'images, support à la rédaction d'histoire.

7.2.2.7. Autres tests

7.2.2.7.1. La pipe et le rat

La pipe et le rat est un test standardisé (Lefavrais, 1986) qui mesure la vitesse de lecture et la compréhension en lecture. A l'aide des grilles, il est possible d'obtenir l'âge et le niveau scolaire correspondant à la performance de l'enfant, que ce soit en lecture ou en compréhension. L'enfant reçoit la consigne de lire une suite de noms parmi lesquels figurent des noms d'animaux, à souligner dans les 3 minutes de temps imparti. Ce test se compose de 3 pages, avec un total de 486 noms, dont 243 d'animaux.

7.2.2.7.2. TNO

Nous avons employé des tests complémentaires, afin de contrôler des variables telles que le niveau d'orthographe (TNO - test de niveau d'orthographe) et les capacités intellectuelles via un extrait des Matrices de Raven (ou PM 38), qui mesurent l'intelligence fluide. Il s'agit d'un outil fiable pour estimer l'intelligence générale d'un sujet.

7.2.2.7.3. Matrices et Conrad

Il a été également soumis aux enfants deux épreuves complémentaires, à la passation informatisée : les Matrices, qui ont testé la mémoire visuo-spatiale, et le test de Conrad, qui teste la mémoire à court terme, avec une composante phonologique.

Les matrices se présentent sous forme de tableaux, de taille croissante au fil de l'épreuve, qui comportent des cases blanches et des cases bleues. Une fois le délai de présentation écoulé, un tableau vierge apparaît. L'enfant doit alors replacer les cases bleues en cochant les cases correspondantes.

Le test de Conrad consiste à rappeler de façon manuscrite (sur la tablette) des séries de six lettres apparaissant une à une en flash sur l'écran. Il s'agit en fait d'une tâche tirée

d'une expérience de Conrad (1964), où il constata que, lors du rappel, les confusions portaient plus fréquemment sur les similitudes d'ordre phonologique (B et V) que celles d'ordre visuel (R et P). Quand la lettre rappelée ressemble phonétiquement à la lettre présentée initialement, cela garantit que le sujet ait "*bien recodé l'information visuelle en information verbale*" (Cordier & Gaonac'h, 2010).

7.2.2.7.4. mémoire des chiffres (subtest issu de la WISC)

Cette épreuve mesure la mémoire auditive à court terme, les capacités de séquençage, l'attention et la concentration. Nous avons calculé le score obtenu par les sujets à cette épreuve en additionnant le nombre de bonnes réponses en empan direct et en empan indirect.

7.3. procédure expérimentale

L'ordre des épreuves n'a pas été constant d'un participant à l'autre. Les épreuves d'écriture occupant une place très importante dans les passations, nous avons jugé utile de les intercaler entre des exercices qui sollicitaient d'autres canaux (visuel, gestuel, auditif...) ou compétences.

Notons que la tâche de rédaction est celle qui comporte le plus haut niveau d'exigence attentionnelle car elle demande à la fois des procédés d'orthographe lexicale et grammaticale et des ressources liées à l'évocation des mots, les liaisons entre les idées...

Notre souhait a été de ne pas imposer à l'enfant de progression pré-établie et de lui demandait régulièrement s'il souhaitait faire une pause, alterner avec d'autres tâches. Le but était de rassurer le participant et de le mettre en confiance par l'évitement d'entrée de la mise en échec. Ainsi rasséréné, l'enfant produit ensuite des réponses qui nous semblent plus fiables sur le plan scientifique.

Les mouvements d'écriture ont été enregistrés à l'aide d'une tablette graphique de type Wacom Intuos 3 reliée à un ordinateur portable MacBook (Apple) gérant le logiciel

Eye and Pen. Ce dernier enregistre et analyse les coordonnées spatiales en fonction du temps toutes les 4 millisecondes. Les participants ont à leur disposition un carnet, qui, fixé à leur tablette, est composé de feuilles de papier sur lesquelles sont inscrites les épreuves de l'étude. Les sujets sont équipés d'un stylo spécifique sans fil (Ink Pen) qui comporte une mine à encre. Un onglet où est inscrit « fin » est collé dans le coin inférieur droit de la tablette. Les participants y appuient à l'aide de la mine du crayon pour signifier qu'ils ont terminé la tâche en cours. La partie intermédiaire nécessite l'utilisation d'un casque audio.

Les données des épreuves figurant sur le carnet sont également numérisées dans l'ordinateur, qui est relié à la tablette. Ainsi, elles peuvent être visualisées simultanément sur l'écran de l'ordinateur portable.

Nous avons choisi de ne pas charger les participants de la contrainte qui consiste à maintenir l'horizontalité de l'écriture en mettant à leur disposition toutes les lignes horizontales nécessaires pour chaque tâche. Cette mesure a également pour effet de fournir un cadre d'écriture type « cahier grand carreaux », identique pour tous.

Avant l'épreuve, nous avons posé au sujet la question des troubles visuels éventuels et nous sommes assuré du port des lunettes si tel était le besoin de l'enfant.

Les passations se sont déroulées de manière individuelle pour s'adapter au rythme de chacun et permettre une meilleure concentration. Les passations se sont effectuées hors du temps scolaire, souvent avant, pendant ou immédiatement après une séance d'orthophonie (pendant les vacances scolaires, à domicile pour certains enfants). Elles se sont parfois scindées en trois passations puisque la durée approximative de passation est de deux heures trente. Elle a pu varier considérablement d'un enfant à l'autre, notamment par rapport à la tâche de rédaction d'après un support imagé.

Des formulaires d'explication et de consentement ont été fournis aux familles des sujets concernés. Lors d'entretiens téléphoniques préalables, nous avons fait en sorte que chacun (parent ou enfant) puisse poser ses éventuelles questions au préalable.

Le matériel a été présenté juste avant de commencer à chaque participant. Après installation de l'enfant devant la tablette, le crayon à la main, l'expérience a pu

commencer. A la fin, chaque participant a été remercié.

7.4. Variables mesurées

Afin d'élaborer des grilles d'analyses quantitatives, nous nous sommes basés sur les critères employés par le logiciel Eye and Pen, c'est-à-dire le temps de production, la durée des pauses de pré- et post- écriture, le nombre d'appels au modèle si la tâche s'y prêtait, la vitesse du tracé et la durée des pauses.

7.4.1. Durée totale de production

La durée totale de production correspond au temps écoulé entre la fin de la pause de pré-écriture (la latence) et la fin de la production écrite.

7.4.2. Temps de production par lettre

Il consiste en un calcul simple : durée totale d'écriture divisée par le nombre de lettres du mot produit. Le temps de production comprend ainsi à la fois le temps d'écriture et le temps de pause. Il est évalué en millisecondes par caractère (ms/car).

7.4.3. Vitesse de tracé

Elle est exprimée en centimètres par seconde. Il s'agit de la longueur de tracé en centimètres définie par le crayon (hors déplacement levé du crayon pendant les pauses levées, appelées « up ») divisée par la durée du tracé, qui ne comprend pas non plus les pauses. La dissociation doit être faite entre les pauses dites « up » (où le stylo est levé) et les pauses appuyées, ou « down » (où le stylo repose encore sur la feuille).

7.4.4. Nombre d'appels au modèle / empan de copie et de consultation

Le nombre d'appels au modèle désigne le nombre de fois où l'enfant quitte le texte pour retourner au modèle. Nous en déduisons le nombre de lettres copiées (empan de copie) à chaque fois. Pour la rédaction d'histoire, il est mieux de parler d'empan de consultation, un chiffre qui nous renseigne sur la quantité d'informations visuelles prises par l'enfant à chaque consultation. En rédaction d'histoire, pour quantifier cet empan de consultation, nous nous basons sur le nombre de lettres et de mots produits entre deux appels au modèle.

7.4.5. Erreurs PI/PA

Nous avons choisi un fonctionnement binaire pour nos tableaux : 0 en cas de production correcte, 1 en cas d'erreur. Une colonne située juste après stipulait, en cas d'erreur, si elle était phonologiquement acceptable (PA) ou phonologiquement inacceptable (PI).

7.4.6. Pause de pré-écriture

Il s'agit du temps de latence entre la fin du stimulus de départ (le bip par exemple) et le moment l'enfant commence à écrire (ou bien du temps de consultation initiale du modèle, dans la copie de mots). On considère que l'enfant commence à écrire dès lors qu'il a posé le stylet sur la tablette, créant le premier pixel dans l'enregistrement.

Type d'analyse	Paramètres analysés
Epreuve graphique	
copie de figures	vitesse de tracé
Epreuves graphomotrices	
tâche de production de l'alphabet	- durée de production - vitesse de tracé - empan de copie (pangramme) - temps de production par lettre
tâche de production du nom-prénom	
tâche de production des jours de la semaine	
copie d'un pangramme avec appel au modèle	
Epreuves orthographiques	
dictée de 24 mots	- évaluation quantitative des erreurs (selon le respect ou non de la phonologie : pour la dictée de mots, la copie de mots et le picture writing) - durée de production - temps de pause de pré-écriture (latence) - vitesse de tracé - temps de production par lettre
copie de 24 mots, sans possibilité de retour au modèle	
picture writing de 24 images, sans possibilité de retour au modèle	
dictée de 9 pseudo-mots (extraits de l'ODEDYS), sans possibilité de réécoute	
Epreuve d'orthographe lexicale et grammaticale en contexte	
copie de texte (dictée de l'ODEDYS), avec possibilité d'appel au modèle	- évaluation quantitative des erreurs - durée de production - temps de pause de pré-écriture (latence) - vitesse de tracé - empan de copie - temps de production par lettre
Rédaction d'histoire d'après un support imagé	
narration d'après une histoire séquentielle en images, en consultation libre	- temps de pause de pré-écriture (latence) - empan de consultation - temps de production par lettre

Tableau 2: Récapitulatif du recueil des données.

8. Rappel des hypothèses

Nous avons rappelé dans la partie théorique que, sur la base de la théorie de la capacité de l'écriture, **plus l'écriture est lente, plus le nombre de pauses peut s'élever au cours de la production écrite et témoigner ainsi de traitements orthographiques coûteux pour le scripteur.**

L'étude de Fayol et Miret (2005) pose également de nombreuses questions, auxquelles nous allons tenter de répondre en nous basant sur les résultats de notre étude :

- **Y a-t-il un impact du niveau de maîtrise graphique actuel des enfants sur leurs performances en dictée?**
- **Quelle stratégie de fonctionnement utilise le scripteur débutant, pour lequel les coûts attentionnels au décours de la production sont élevés ?**
- **Quelles procédures sont privilégiées dans le cas d'une surcharge ou d'une contrainte temporelle ?**
- **Pourquoi telle ou telle erreur survient à un moment donné ?**

L'autre hypothèse consiste à postuler l'existence d'une **contrainte motrice liée à un trouble cérébelleux**. L'automatisation graphomotrice en serait limitée, et les performances orthographiques et rédactionnelles en sont amoindries.

Une dernière hypothèse postule que **la graphomotricité n'aurait pas d'impact sur l'orthographe.**

9. Présentation des résultats

9.1. Quelques données

- **épreuves de graphisme (copie de figures)**

- qualité

Dans un souci de gain de temps, nous n'avons pas analysé qualitativement les productions individuelles des participants sur cette épreuve. Cependant, globalement, nous nous apercevons que les tracés sont, dans la majorité des cas, maladroits. Il est possible que cela soit dû au fait que la copie de figures est très souvent la première épreuve réalisée sur la tablette par l'enfant. De ce fait, il n'a pas eu encore le temps de s'habituer à l'écriture sur support incliné, avec le stylet et son calibrage spécifique, le feed-back kinesthésique étant très différent du papier. Le constat du feed-back a été rapporté verbalement à ce moment de l'expérience par plusieurs des sujets.

- temporalité

Concernant la durée de production : le minimum a été de 34931 secondes, le maximum de 164282 secondes, avec une moyenne de 104100 secondes. La vitesse de tracé, au total a été en moyenne de 3,98 cm/sec., le minimum est de 2,12 cm/sec. et le maximum de 8,3 cm/sec.. L'écart-type est de 1,85.

- **épreuves graphomotrices (Alphabet / Nom-prénom / Jours de la semaine / Pangramme)**

- qualité

- L'**alphabet** a été globalement réussi. Sur les 15 participants qu'a compté notre étude, 5 ont eu des difficultés à rappeler la chaîne alphabétique, avec au maximum une lettre oubliée pour un rappel. 7 des 15 sujets ont produit certaines lettres en majuscules, alors que la consigne stipulait de les

produire en minuscules, avec le rappel systématique par l'examineur qu'il fallait écrire "comme en attaché". Parmi ces majuscules, le Z apparaît pour 4 des 15 enfants en majuscules, et pour 2 d'entre eux en miroir. Le B a également été produit une fois, à la fois en majuscule et en miroir. Nous n'avons pas remarqué d'ajout de lettres, mais des inversions et des omissions ont pu être mises au jour. En effet, 2 enfants ont inversé 2 lettres, toujours consécutives (respectivement le "o" et le "n", et le "n" et le "m"). Les omissions concernent systématiquement le "u" et ont été produites par 4 des 15 enfants. Ainsi, dans 27 % des cas, toutes les lettres n'ont pas été présentes dans la production des enfants, et, par conséquent, tous les programmes moteurs n'ont pas été activés. Or, le U est le 8ème graphème de la langue française par ordre d'apparition. Sa fréquence est comprise entre 6 et 7 %.

- La tâche de **rappel du nom et du prénom** n'a posé aucun problème particulier aux participants.
- Concernant les **jours de la semaine**, l'ordre a été parfaitement respecté par les 15 participants de notre étude. Cependant, quelques erreurs d'orthographe ont été constatées : 7 des 15 sujets en ont produit au moins une. Un enfant a fait 4 erreurs, c'est le maximum (seuls "jeudi", "vendredi" et "dimanche" ont été correctement orthographiés, les autres ont été produits ainsi : *ludi mardie mercredie samedie*). Tous les sujets connaissent bien les sept jours de la semaine et leur ordre.
- La copie du **pangramme** - le pangramme n'a pas été défini comme étant une phrase comportant toutes les lettres de l'alphabet aux sujets lors de notre expérience - a engendré des erreurs d'orthographe. Les mots qu'il comportait n'étaient pas tous transparents d'un point de vue phonologique : whisky / blond ont été sources d'erreurs, tout comme la flexion de "Portez", qui a été remplacée par "porter" ou encore "poster". Nous avons obtenu les résultats suivants : 10 des 15 participants ont commis au moins une erreur dans la copie de cette phrase. Il s'agit d'erreurs typiques des enfants dysorthographiques : omissions (par exemple, « whiky » pour « whisky ou

encore « veux » pour « vieux ») et ajouts (par exemple, « junge » pour « juge ») de lettres. Toutefois, aucune inversion intra-mot n'a été décelée. Nous constatons également des confusions visuelles, notamment chez deux des sujets, entre le b et le d : « au juge dlomd » au lieu de « blond » et entre le g et le p, suivi d'un accord basé sur la sémantique : "au jupe blonde".

- temporalité

- durée de production

	durée minimum (en sec.)	durée maximum (en sec.)	durée moyenne (en sec.)
alphabet	98060	401962	199553
nom-prénom	28385	141376	66157
jours de la semaine	43875	89622	68695
pangramme	51545	150529	93226

Tableau 3: Durées de production sur les quatre épreuves graphomotrices.

- vitesse de tracé, en cm/s. (hors pauses)

	vitesse minimum	vitesse maximum	vitesse moyenne	écart-type
alphabet	2,42	5,07	3,41	0,82
nom-prénom	2,31	4,96	3,49	0,78
jours-semaine	2,12	4,29	3,27	0,66
pangramme	2,40	5,15	3,71	0,78

Tableau 4: Vitesses de tracé sur les quatre épreuves graphomotrices.

A propos de la vitesse moyenne de tracé, l'écriture est en moyenne plus rapide pour le pangramme, suivi du nom-prénom, puis de l'alphabet et viennent enfin les jours de la

semaine. C'est dans l'écriture de l'alphabet que nous constatons la plus grande disparité entre les 15 enfants DL de notre population. La moins grande disparité concerne les jours de la semaine.

- temps de production par lettre (pauses incluses)

	temps minimum	temps maximum	temps moyen	écart-type
alphabet	1838,02	7808,22	3813,40	1508,47
nom-prénom	476,51	2019,66	1186,43	411,67
jours semaine	913,71	1949,56	1498,44	370,49
pangramme	1305,84	4151,58	2480,53	835,77

Tableau 5: Temps de production par lettre sur les quatre épreuves graphomotrices.

A propos cette fois du temps de production par lettre, les lettres de l'alphabet sont produites dans le temps plus court, suivies de celles du pangramme, puis des jours de la semaine et viennent enfin les nom et prénom. C'est encore dans l'écriture de l'alphabet que nous constatons la plus grande disparité entre les 15 enfants, suivie du pangramme, des jours de la semaine, et du nom et prénom.

- **épreuves orthographiques lexicales (spelling)**

- qualité

	pourcentage d'erreurs total	pourcentage moyen d'erreurs PI (phonologiquement inacceptables)	pourcentage moyen d'erreurs PA (phonologiquement acceptables)
dictée de pseudo-mots	34	34	-
dictée de mots	72,09	40,22	31,87
picture writing	67,27	40,74	26,54
copie de mots	32,50	26,11	6,39

Tableau 6: Pourcentage d'erreurs sur le nombre d'items effectivement produits en fonction du respect de la phonologie.

- temporalité

	temps de latence, en ms.	temps moyen de production par lettre (pauses incluses), en ms./lettre
dictée de pseudo-mots	4013	1315
dictée de mots	3695	1335
picture writing	3382	1122
copie de mots	5110	988

Tableau 7 : Temps de latence moyen (temps de pause de pré-écriture) et temps moyen de production par lettre (pauses incluses), sur le nombre d'items produits.

Copie de texte :

La copie de texte a été réalisée sans erreur par 1 participant parmi notre population de 15. Cet enfant, le sujet 5, est celui dont la durée de production sur cette tâche a été la plus élevée (1033971 ms). C'est également cet enfant qui a eu le plus grand nombre de fois recours à l'appel au modèle (115 au total) et le temps de production par lettre pauses incluses le plus important (3493,35 cm/s). Les 14 autres participants ont commis entre 1 et 24 erreurs lors de la copie de ce texte, avec une moyenne à 7,9 erreurs par enfant. En moyenne pour les 15 sujets, l'empan de copie moyen est de 5,34 caractères, avec un minimum de 2,54 et un maximum de 12,08.

Il nous a paru intéressant de comparer les empan de copie du texte et du pangramme :

	empan de copie (en nombre de graphèmes)			
	min.	max.	moy.	écart-type
copie du pangramme	2,31	9,50	5,07	1,87
copie de texte	2,54	12,08	5,34	2,69

Tableau 8: Taille des empan de copie, en copie de pangramme et de texte.

Les valeurs sont très similaires. Le texte, qui est plus marqué d'un point de vue sémantique, bénéficie d'empans légèrement plus importants que le pangramme. Notons que le pangramme comporte aussi le mot "whisky" sur lequel nombre de nos sujets a hésité et vérifié, ce qui a pu faire chuter la taille de l'empan moyen. La population est plus homogène en termes de taille d'empan pour le pangramme que pour le texte.

Rédaction d'une histoire à partir d'images :

Et pour finir sur ces analyses épreuve par épreuve, la rédaction d'histoire à partir d'une séquence d'images a permis d'observer qu'il est aussi difficile pour un enfant dysorthographique d'écrire un texte de façon relativement libre que de copier un texte. Tous y ont commis des erreurs, entre 9 et 52 erreurs par texte ont été constatées. Cependant, il serait risqué d'interpréter ces chiffres bruts, étant donné que le nombre de caractères et de mots par histoire était très variable (entre 103 et 415 caractères par texte, et entre 27 et 101 mots par texte).

Cette épreuve traite de la tâche de rédaction d'histoire, qui est encore très peu explorée en temps réel et qui montre pourtant une grande hétérogénéité interindividuelle. Nous avons donc des données temporelles intéressantes, que nous verrons plus bas, mais aussi des informations qualitatives dignes d'intérêt. En effet, nous avons certes constaté les erreurs d'orthographe, mais avons aussi été surpris du manque de ponctuation (signes de ponctuations et majuscules), ce qui nuit à la lisibilité et à la compréhension de l'histoire. Nous avons donc chiffré le nombre moyen de phrases, le nombre moyen de mots par phrases, le nombre moyen de signes de ponctuation, dont celui de majuscules. Il serait également intéressant d'analyser le niveau de langue employé : des enfants parlent de "charrette", d'autres de "chariot", et d'autres encore de "caisse à savon". Nous avons trouvé des mots comme propulsés et percutés dans les productions des enfants. Certains ont commencé par "il était une fois" pour installer la narration, d'autres ont choisi de donner des prénoms aux différents protagonistes de l'histoire.

Pour cette épreuve, nous établirons un tableau prenant en compte à la fois la qualité et la temporalité des productions.

	rédaction d'histoire à partir d'images			
	min.	max.	moy.	pourcentage moyen
nombre de phrases / d'unités sémantiques considérées comme telles	2	13	5,53	-
nombre de mots lisibles (hors ratures)	27	101	58,67	-
nombre de mots lisibles par phrase ou par unité sémantique	13,5	7,77	10,61	-
nombre de caractères (hors espaces)	103	415	231,2	-
nombre d'erreurs	9	52	24,93	42,49 (mots comportant au moins une erreur)
nombre de signes de ponctuation	1	15	4,4	-
...dont nombre de majuscules (hors noms propres en cours de phrase)	0	6	1,67	-
durée de la pause de pré-écriture (latence)	15237	125741	52019,2	-
vitesse moyenne (cm/s)	2,13	5,19	3,51	-
empan de consultation (en nombre de lettres produites entre deux consultations)	0,004	81,4	33,41	-
empan de consultation (en nombre de mots produits entre deux consultations)	3,39	19,75	9,38	-
nombre d'appels au modèle	2	18	7,8	-

Tableau 9: Récapitulatif des données recueillies lors de la rédaction d'histoire.

9.2. Analyses des corrélations

Nous avons analysé les corrélations d'après une méthode paramétrique (Bravais Pearson) entre les différents groupes d'épreuves qui composent notre étude. Seules les

corrélations significatives ($p < .05$) sont présentées ici.

D'abord, nous allons voir quelles relations existent entre les épreuves de graphomotricité et celles d'orthographe et de rédaction, puis dans un second temps, nous allons analyser les liens entre les épreuves cérébelleuses et graphomotrices. Ensuite, les relations qu'entretiennent les tâches cérébelleuses avec l'orthographe et avec la rédaction d'histoire seront approfondies à la lumière de nos résultats. Enfin, nous verrons si la théorie de la capacité peut se vérifier dans notre étude, notamment à travers les corrélations qui incluent les empan de copie ou de consultation.

9.2.1. Relations entre épreuves de graphomotricité et d'orthographe

9.2.1.1. dictée de pseudo-mots

Qualité

Ici nous obtenons une corrélation entre la vitesse de copie du texte et le nombre d'erreurs PI à la dictée de pseudo-mots ($r = .59$, $p < .02$). Effectivement, un enfant qui copiera le texte de façon rapide fera davantage d'erreurs PI à la dictée de pseudo-mots. Cela pourrait être lié à un trouble attentionnel.

Temporalité

Concernant la temporalité, nous observons que plus le temps de production par lettre croît dans l'écriture de l'alphabet, plus il augmente en dictée de pseudo-mots ($r = .62$, $p < .015$).

9.2.1.2. copie de mots

Qualité

Le temps de production par lettre (pauses incluses), lors de la copie du pangramme, est corrélé au nombre d'erreurs phonologiquement inacceptables en copie de mots ($r = -.54, p < .04$). Quand le temps par lettre se réduit, le nombre d'erreurs phonologiquement inacceptables augmente.

Temporalité

Quand le temps de production par lettre dans le nom-prénom augmente, la copie de mots se fait sur une durée plus longue ($r = .62, p < .02$) et la pause de pré-écriture (latence) en copie de mots s'allonge aussi ($r = .63, p < .02$).

9.2.1.3. dictée de mots

Qualité

Une copie rapide des figures va de pair avec un nombre important d'erreurs phonologiquement acceptables en dictée de mots ($r = -.54, p < .04$). Egalement, si le temps de production par lettre (pauses incluses) du « Prénom Nom » augmente, le nombre total d'erreurs en dictée de mots croît aussi ($r = .66, p < .01$). Dans le même temps, parmi ces erreurs, le nombre d'erreurs phonologiquement inacceptables augmente alors ($r = .57, p < .03$). Enfin, lorsque le temps de production par lettre (pauses incluses) augmente en copie de pangramme, le nombre d'erreurs phonologiquement inacceptables en dictée de mots s'élève ($r = .56, p < .03$). Ces corrélations ne vont pas dans le même sens que ce que nous obtenons en dictée de pseudo-mots et en copie de mots.

Or, il apparaît que le temps de production par lettre (pauses incluses) des jours de la semaine est lié de façon significative au nombre total d'erreurs en dictée de mots ($r = .64, p < .01$). Ainsi, quand l'enfant DL-DO écrit rapidement les jours de la semaine, il fait peu

d'erreurs en dictée de mots ($r = .53$, $p < .05$), et surtout peu d'erreurs phonologiquement inacceptables ($r = .54$, $p < .04$).

Temporalité

Concernant la tâche graphomotrice où l'enfant écrit son prénom et son nom, le temps de production par lettre (pauses incluses) est corrélé au temps de production par lettre en dictée de mots ($r = .77$, $p < .01$).

Lorsque le temps de production par lettre (pauses incluses) des jours de la semaine est s'accroît, la durée d'écriture ($r = .53$, $p < .04$) et le temps de production par lettre (pauses incluses) ($r = .54$, $p < .04$) en dictée de mots font de même.

Une autre corrélation vient appuyer les premières : le temps de production par lettre (pauses incluses) des jours de la semaine augmente quand la durée d'écriture s'allonge ($r = .53$, $p < .04$) en dictée de mots.

9.2.1.4. picture writing

Qualité

Quand le temps de production par lettre (pauses incluses) du « Prénom Nom » baisse, le nombre total d'erreurs en picture writing ($r = .67$, $p < .01$) réduit aussi, et, parmi ces dernières, le nombre d'erreurs phonologiquement inacceptables régresse aussi ($r = .69$, $p < .01$). Ainsi, en copiant rapidement les figures ou en écrivant rapidement son nom-prénom, l'enfant dyslexique a de grandes chances de voir le nombre de ses erreurs en dictée de mots et en picture writing se réduire, notamment celles qui sont inacceptables sur le plan phonologique. En résumé, plus l'enfant a automatisé de programmes moteurs, plus ses capacités orthographiques, notamment dans les conversions phonographémiques, sont bonnes.

Temporalité

Concernant la temporalité, nous voyons d'une part que, lorsque la fluence de production de l'alphabet augmente, il en va de même pour celle du picture-writing ($r = .76$, $p < .01$). D'autre part, la durée de la pause de pré-écriture du picture writing augmente quand la fluence de copie du pangramme augmente ($r = .56$, $p < .03$).

9.2.2. Graphomotricité et TNO

Nous allons maintenant voir si les données obtenues précédemment à propos de l'orthographe sous forme d'épreuves sur tablette se retrouvent dans le TNO (sous forme de QCM sur papier).

La réussite au TNO est corrélée avec la vitesse de production moyenne de l'alphabet ($r = -.71$, $p < .005$). Effectivement, nous remarquons que, parmi notre population, les sujets qui ont un meilleur score TNO ont une vitesse de tracé des lettres de l'alphabet qui est plus lente. Cette corrélation est intéressante dans la mesure où le TNO se présente sous la forme de QCM (Questionnaire à Choix Multiples) et, par conséquent, cette épreuve était dépourvue de tout effort en graphomotricité. Or, dans cette épreuve, les résultats en orthographe sont bons quand les enfants sont lents à écrire l'alphabet, qui est une tâche dépourvue d'orthographe mais plutôt à composante phonologique, puisqu'elle nécessite de réciter mentalement la chaîne alphabétique. Selon Pontart, et al. (in revision), à cet âge (grade 5 et grade 6) apparaît la possibilité de faire des traitements orthographiques parallèles au tracé des lettres. Cela expliquerait que la vitesse de tracé diminue, les enfants vouant leurs capacités cognitives à l'orthographe, au détriment de la vitesse d'écriture.

9.2.3. Graphomotricité et rédaction

Lorsqu'un enfant dyslexique a un bon niveau d'orthographe (un faible nombre d'erreurs) en picture writing, il hésite davantage avant de se lancer dans la rédaction

d'histoire : la pause de pré-écriture (latence) est rallongée ($r = -.60, p < .02$). Et si le nombre d'erreurs phonologiquement inacceptables en picture writing augmente, la vitesse moyenne en rédaction d'histoire (en cm par sec.) est plus lente ($r = -.54, p < .04$). Ainsi, les faibles orthographes ont ici une latence plus courte et sont plus lents dans leur rédaction que les bons orthographes.

9.2.4. Épreuves cérébelleuses et graphomotricité

Puisqu'elles supportent également une partie fondamentale de nos hypothèses, nous allons voir si les épreuves cérébelleuses sont reliées à la graphomotricité et comment se caractérise cette relation :

Au vu des analyses de corrélation entre les tests cérébelleux et les variables graphomotrices, nous remarquons que, lorsque le score aux séquences motrices manuelles de la NEPSY (SMM) augmente, le temps de production par lettre (pauses incluses) dans la copie de texte se réduit ($r = -.58, p < .025$). Ainsi, une meilleure séquentialité gestuelle favorise une rapidité d'écriture en situation de copie de texte.

Cette corrélation n'existe pas pour les autres tâches graphomotrices. De plus, elle n'est pas retrouvée dans les autres épreuves testant les fonctions cérébelleuses. Toutefois, les corrélations entre les SMM et les autres tâches de graphomotricité montrent une relation tendancielle entre le score aux SMM et la vitesse moyenne de production des jours de la semaine ($r = -.47, p < .080$). Elle va à l'encontre de la première corrélation présentée dans cette sous-partie.

Le cervelet est généralement donné comme étant le gestionnaire de la motricité, et en particulier de la coordination, de l'équilibre et du tonus. Selon notre étude, il apparaît faiblement impliqué dans la gestion de la graphomotricité.

9.2.5. Épreuves cérébelleuses et orthographe

Cette fois, entre les tests cérébelleux et les épreuves d'orthographe, il apparaît que

lorsque le score aux séquences motrices manuelles de la NEPSY augmente, le nombre d'erreurs d'orthographe durant la copie de mots diminue ($r = -.62, p < .015$), de même pour les erreurs phonologiquement inacceptables - PI ($r = -.57, p < .03$). La mémorisation d'une série de gestes à reproduire et celle de l'ordre des unités dans un mot à copier apparaissent ainsi liées. Cette mémorisation de l'ordre est-elle gérée par le cervelet ? Si tel était le cas, on retrouverait également une corrélation significative entre le score aux SMM et la mémoire des chiffres de la WISC. Or, ce n'est pas le cas dans notre étude.

Quand le score aux SMM augmente, le nombre d'erreurs phonologiquement acceptables en picture writing s'accroît également ($r = .56, p < .03$). Ainsi, l'habileté à reproduire une séquence gestuelle est liée au niveau en phonologie, chez les 15 sujets dyslexiques de notre étude. Quand le score au tapping augmente, le temps de production par lettre en picture writing diminue ($r = -.52, p < .05$). En effet, chez les participants, une bonne dextérité manuelle fine tend à réduire la durée de production lors du picture writing.

Quand le score obtenu au test du « doigt sur le nez » augmente, le nombre total d'erreurs en dictée de mots diminue ($r = -.59, p < .025$), tout comme les erreurs phonologiquement inacceptables en dictée de mots ($r = -.55, p < .035$). On peut donc en conclure qu'un enfant dyslexique-dysorthographique ayant une bonne coordination motrice sera meilleur en orthographe lexicale et inversement.

En comparaison avec la graphomotricité, le cervelet paraît davantage impliqué dans les traitements orthographiques, et dans deux tâches ayant pour dénominateur commun la mémorisation visuelle d'une séquence, à reproduire. La copie, comme la reproduction de gestes impliquent un schéma de type réception-mémorisation-(re)production ou dans un « *processus de conversion graphèmes-phonèmes-graphèmes* » (Pérez, Giraudo & Tricot, 2012). Il est donc difficile de savoir dans quelle tâche précise de la copie le cervelet entre en jeu.

9.2.6. Epreuves cérébelleuses et rédaction d'histoire

Nous n'avons constaté aucune corrélation entre les tests évaluant les fonctions cérébelleuse et la rédaction d'histoire, si ce n'est une tendance entre le test du doigt sur le

nez et le temps de production par lettre, hors pause, lors de la rédaction de l'histoire ($r = -.49, p < .065$).

9.2.7. Empans de copie : mémoire de travail et capacité cognitive

Les tâches de copie permettent d'évaluer à la fois la graphomotricité, l'orthographe lexicale et grammaticale. Lambert, Alamargot, Laroque et Caporossi (2011) montrent que la copie demande à la fois un traitement en lecture et en écriture d'un mot, et permet donc de mesurer les difficultés sur les deux versants, avec un empan de copie lorsqu'il y a possibilité de faire appel au modèle. Toujours dans la même idée, selon Kandel et Valdois (2006), la copie constitue une tâche intéressante dans la mesure où elle permet d'étudier l'acquisition de l'orthographe « dans une perspective d'action et de perception ».

Chez les sujets qui ont un empan de copie du pangramme important, le nombre total d'erreurs en picture writing est faible ($r = -.65, p < .01$), et celui d'erreurs phonologiquement inacceptables est lui aussi limité ($r = -.61, p < .02$). Ainsi, nos résultats portent à croire que, plus la mémoire de travail (dont la capacité définit la longueur de l'empan) est efficiente, plus l'orthographe et la phonologie sont bonnes.

La taille de l'empan de copie du pangramme augmente quand le temps de production par lettre (pauses incluses) en rédaction d'histoire se réduit ($r = -.56, p < .04$). Il y a donc une relation entre une bonne capacité en mémoire de travail et un tracé rapide en rédaction. Notons que la longueur de cet empan de copie du pangramme ($r = .57, p < .03$), tout comme celle de l'empan de copie du texte ($r = .63, p < .02$), est corrélée à l'empan de consultation des images, en rédaction d'histoire.

Concernant l'empan de copie du pangramme, cette fois corrélé à un autre test de mémoire. En effet, nous remarquons que cet empan est faible quand le score obtenu en mémoire des chiffres (WISC) est élevé ($r = -.52, p < .05$). S'agit-il de deux instances de mémoire différentes ? Cela dépend-t-il du canal, du matériel à mémoriser (lettres, chiffres...) ? Un faible empan de copie est donc ici le pendant d'un empan élevé en mémoire des chiffres, et, a contrario, un bon empan de copie favorise un empan de chiffres faible. Il est donc question de mémoire phonologique à court terme, qui pourrait

être perturbée chez l'enfant dyslexique. Toutefois, cette corrélation n'est pas retrouvée entre l'empan de chiffres et l'empan de copie concernant le texte.

Toujours à propos de l'empan de copie, cette fois concernant le texte, il s'allonge quand la durée de la pause de pré-écriture (latence) en dictée de pseudo-mots s'écourte ($r = -.58, p < .03$), c'est-à-dire que, quand la mémoire de travail est bonne, il se trouve que l'enfant n'hésite pas avant d'écrire un pseudo-mot, tâche nécessitant une conversion phono-graphémique. Il en va de même lorsque l'on divise la durée de pré-écriture (latence) par le nombre de lettres du mot à écrire en dictée de pseudo-mots ($r = -.57, p < .03$). L'empan de copie du texte augmente aussi quand la durée de la pause de pré-écriture (latence) en copie de mots ($r = -.55, p < .04$) baisse. Idem quand on divise la durée de pré-écriture (latence) par le nombre de lettres du mot à écrire en copie de mots ($r = -.55, p < .04$).

L'enfant dyslexique avec un bon empan de copie du texte a un nombre d'erreur faible en copie de mots ($r = -.57, p < .03$) et en picture writing ($r = -.71, p < .01$), notamment un nombre phonologiquement inacceptables réduit ($r = -.70, p < .01$).

Quand le nombre de mots lus dans *La pipe et le rat* augmente, l'empan de consultation des images, en rédaction d'histoire s'accroît également ($r = .59, p < .025$). De la même manière, le nombre de mots compris (*La pipe et le rat*) est augmenté quand la taille de l'empan de consultation des images s'accroît, en rédaction d'histoire ($r = .58, p < .025$). Par conséquent, un enfant qui a une bonne vitesse de lecture de mots et une bonne compréhension en lecture va mémoriser une plus grande quantité d'informations visuelles concernant la séquence d'images.

Nous pouvons donc conclure que l'enfant dyslexique qui a une bonne mémoire de travail peut compenser son trouble, en gagnant du temps dans des conversions phono-graphémiques plus rapides (et moins erronées que pour celui ayant une piètre mémoire de travail) et en traçant rapidement.

9.3. Synthèse des résultats

Pour conclure la description des résultats, notre étude fait clairement apparaître qu'en dictée de mots, en picture writing et en QCM d'orthographe, un enfant dyslexique qui écrit de façon aisée accède plus facilement à un bon niveau en orthographe lexicale. Les progrès en orthographe resteront limités tant que l'enfant ne sera pas parvenu à automatiser son geste d'écriture.

Les relations que nous constatons vont dans le sens de la théorie de la capacité, davantage que dans le sens d'un trouble cérébelleux. Il est clair que la variable graphisme est corrélée avec l'orthographe : quand la graphomotricité s'améliore, le nombre d'erreurs en dictée se réduit. Cependant, ce n'est pas le cas en dictée de pseudo-mots et en copie de mot. Ces tâches sont plus complexes, la première parce qu'elle ne fait appel qu'à la voie indirecte d'écriture, ce qui est plus coûteux pour le scripteur ; la seconde n'est pas une tâche purement orthographique car elle nécessite en amont la lecture du mot, donc une conversion graphèmes-phonèmes qui peut être déficitaire et perturber ensuite le versant productif. En cas de surcharge cognitive, ce qui semble être le cas pour ces deux épreuves, la graphomotricité et l'orthographe semblent chuter de concert.

Malgré des corrélations significatives entre orthographe et graphomotricité soutenant la théorie de la capacité dans les épreuves les plus pures d'un point de vue orthographique, nous ne pouvons exclure complètement l'origine cérébelleuse de la dyslexie. En effet, le cervelet, qui gère entre autres la coordination motrice pourrait être davantage impliqué dans la graphomotricité que ne le montrent ces résultats.

10. Discussion des résultats

Les tests que comporte ce mémoire nous ont permis d'élargir les corrélations et de ne pas se cantonner à l'étude de l'écriture. Ils permettront sans doute que des études ultérieures portent sur l'appariement de notre population avec des enfants normo-typiques, à partir des âges, des latéralités d'écriture, des niveaux d'orthographe...

Concernant le protocole, nous nous sommes inspirés de celui créé par Lucie Serrano en 2011-2012 (sous la direction de Denis Alamargot), en y incluant une épreuve de copie de phrases, une épreuve de rédaction de texte spontanée (à partir d'un support imagé), des tests complémentaires (orthophoniques, cérébelleux...) et en en rendant la passation individuelle.

Notre souci, tout au long de cette étude, a été de pouvoir contrôler les critères d'inclusion de nos participants en estimant leur efficience intellectuelle par des épreuves d'intelligence fluide. En effet, nous n'avons pas eu accès aux données résultant de la passation de la WISC par les psychologues scolaires, qui effectuent leur bilan dans l'optique de poser le diagnostic de dyslexie. Nous avons également évalué les capacités praxiques des enfants au travers des épreuves de la NEPSY, et leur niveau lexique et orthographique, respectivement par les épreuves de *La pipe et le rat* (leximétrie de Lefavrais) et d'un extrait du TNO (Test de Niveau Orthographique) évaluant à la fois l'orthographe lexicale et grammaticale.

Maintenant, au sujet de la forme du protocole, pour l'appui au modèle, la zone d'appui destinée au stylet était placée du côté droit de l'écran. Or, pour les appuis prolongés (copie de texte, rédaction à partir d'images), les gauchers se sont trouvés en difficulté pour maintenir le stylet en place tout en regardant le texte ou les images, leur bras couvrant une partie de leur champ visuel pendant l'appui. Une influence sur les résultats n'est pas à exclure, concernant les emplacements de copie notamment ; les conséquences ont consisté en des postures inconfortables, qui ont pu jouer sur la durée et le nombre des réactivations du modèle. À l'avenir, il sera donc judicieux d'en améliorer l'ergonomie, en plaçant soit un point central, soit deux points, l'un à gauche et l'autre à droite, afin de mettre tous les enfants sur un pied d'égalité, quelle que soit leur latéralité

d'écriture.

Egalement, la passation, qui s'est faite de façon individuelle, n'a de fait pu se réaliser dans le même ordre et dans le même temps imparti selon les enfants. Pour certains, l'expérience a pu se dérouler sur trois voire quatre créneaux alors que pour d'autres, elle s'est faite en une seule fois. Cela était dû à l'importante durée de passation, qui avoisinait les trois heures pour les enfants les plus lents, l'enfant le plus rapide a terminé en deux heures quinze. La fatigue n'a ainsi pas été la même entre les différents participants, ce qui a pu jouer sur les résultats, notamment ceux des épreuves finales.

Ayant suivi des études d'orthophonie, et non de posturologie, psychomotricité ou pour une autre profession ayant trait à des examens de motricité et d'équilibre, les tests d'équilibre et de « doigt sur le nez » ont été repris à ma façon, que ce soit dans les consignes ou dans la cotation. J'avais exploité les consignes figurant dans des descriptions brèves d'épreuves. C'est pour cela que l'exactitude scientifique des données résultant de ces tests, avec le recul, me paraît discutable : un podologue ayant suivi une formation en posturologie, rencontré lors d'une passation, m'a conseillé de modifier la consigne de la tâche d'équilibre statique, appelée « Romberg », en demandant à l'enfant de tendre ses bras côte à côte devant lui, avec les index étirés. Ainsi, toute modification survenant dans son équilibre serait mieux visible. Quelques participants ayant déjà passé ce test à ce moment-là, il n'était plus possible de modifier l'exercice. D'autres épreuves cérébelleuses, à propos desquelles je m'étais renseignée, comme la marche en ligne droite ou le test du « talon sur le genou » me semblaient clairement difficiles à concevoir et à noter.

Cependant, malgré leurs faiblesses, nos tests cérébelleux ont été étayés par des tâches annexes tirées de batteries étalonnées : la NEPSY (concernant les séquences motrices manuelles, l'imitation des positions de mains et le tapping) ainsi que le questionnaire de temps social (Daffaure et al., 2001), qui restent des tests d'évaluation des compétences cérébelleuses.

11. CONCLUSION GÉNÉRALE

Dans notre recherche, nous avons analysé les productions écrites en temps réel d'enfants dyslexiques pour les comparer entre elles. Nous avons également pu appréhender les traitements effectués par les enfants au cours de la narration écrite, à travers l'épreuve de rédaction d'histoire à partir d'une série d'images. Les résultats montrent à quel point l'analyse en temps réel permet de dépasser la simple analyse du produit fini, et son utilité pour étudier le décours du tracé et des processus requis simultanément. Les temps de productions, vitesses de tracé, temps de latence nous ont permis d'aboutir à des conclusions concernant notamment l'exploitation de la capacité cognitive de l'enfant dyslexique qui écrit, dans des tâches aux modalités très différentes.

Nos résultats font corrélérer le graphisme au score en dictée : quand la graphomotricité s'améliore, le score en dictée augmente. Ainsi, il apparaît nécessaire, en orthophonie et dans de nombreuses autres spécialités paramédicales, d'évaluer le graphisme de l'enfant qui se présente à nous avec une dyslexie, afin de pouvoir travailler de prime abord sur la graphomotricité, dans le cas où elle serait défaillante.

D'un point de vue orthophonique, l'utilisation du logiciel Eye and Pen et de notre protocole pourrait être adaptée dans une étude ultérieure à la passation de bilan orthophonique initial et comporter également une grille comparative pour les bilans de renouvellement. Ainsi, les difficultés de l'enfant dyslexique-dysorthographique seraient dépistées, qu'elles soient gestuelles, posturales ou bien orthographiques.

Les demandes d'adaptations scolaires pourraient ainsi se justifier grâce à des investigations précises et approfondies concernant la vitesse (demandes de tiers-temps ou mise en place de photocopies), la lisibilité (demandes d'outils informatiques équipés d'un logiciel de traitement de texte à propositions / correcteur orthographique). L'intérêt est donc de pouvoir sélectionner l'aide la plus idoine pour l'enfant en contexte scolaire via une tablette, un support qui est attrayant pour les enfants.

12. Références bibliographiques

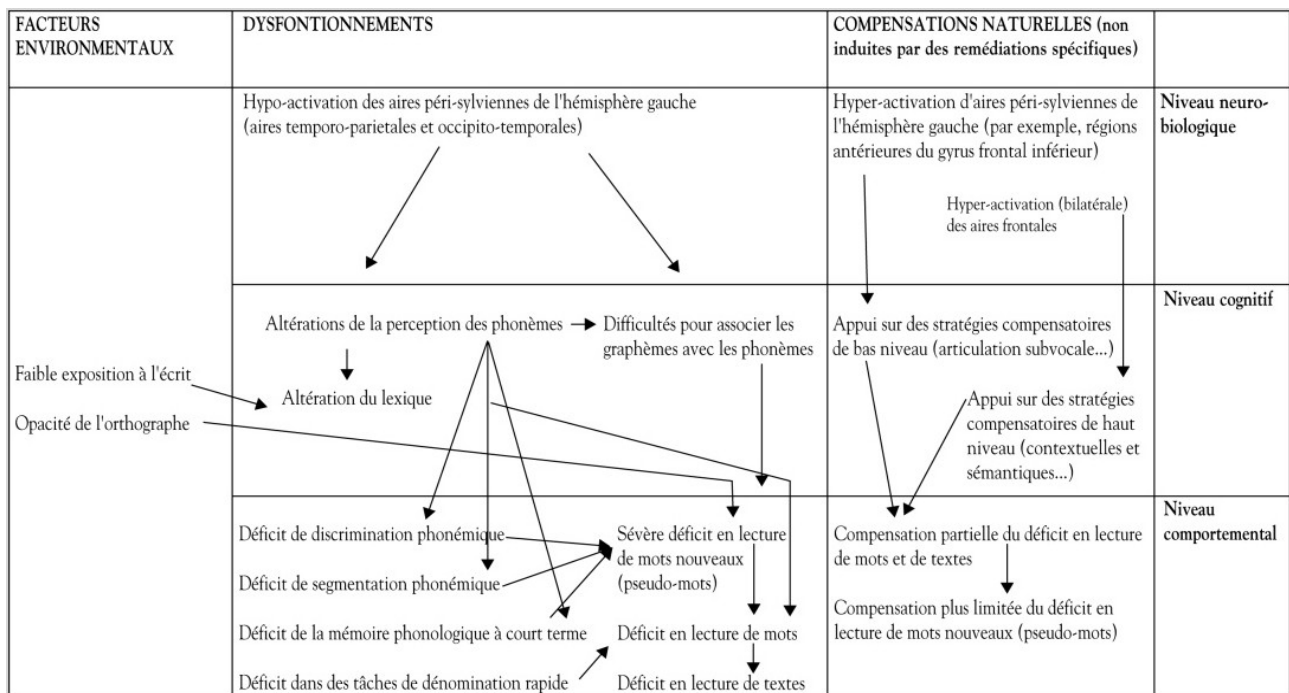
- Abbott, R. D., & Berninger, V. W. (1993). Structural equation modeling of relationships among developmental skills and writing skills in primary-and intermediate-grade writers. *Journal of Educational Psychology, 85*(3), 478.
- Bara, F. ; Gentaz, E. (2007). Apprendre à écrire. *Sciences Cognitives*.
- Bara, F. (2012). Conceptions et pratiques en graphomotricité chez des enseignants de primaire en France et au Québec. *Revue française de pédagogie, (3)*, 41–56.
- Bara, F., & Gentaz, E. (2011). Haptics in teaching handwriting The role of perceptual and visuo-motor skills. *Human movement science, 30*(4), 745–759.
- Berninger, V. W., Nielsen, K. H., Abbott, R. D., Wijsman, E., & Raskind, W. (2008a). Writing problems in developmental dyslexia: Under-recognized and under-treated. *Journal of School Psychology, 46*(1), 121.
- Berninger, V. W., Nielsen, K. H., Abbott, R. D., Wijsman, E., & Raskind, W. (2008b). Gender differences in severity of writing and reading disabilities. *Journal of School Psychology, 46*(2), 151-172.
- Berninger, V. W., Rutberg, J. E., Abbott, R. D., Garcia, N., Anderson-Youngstrom, M., Brooks, A., & Fulton, C. (2006). Tier 1 and Tier 2 early intervention for handwriting and composing. *Journal of School Psychology, 44*(1), 330.
- Bonin, P., Delattre, M., La procédure de conversion phonie-graphie en production sous dictée, *L'année psychologique*, 2010, 110, 495-516.
- Bourdin, B., Cogis, D., & Foulin, J.-N. (2010). Influence des traitements graphomoteurs et orthographiques sur la production de textes écrits : perspective pluridisciplinaire. *Langages, 177*(1), 57.
- Brück, M. (1988). The word recognition and spelling of dyslexic children. *Reading Research Quarterly 23*(1); 51-69.
- Case-Smith, J., Holland, T., Lane, A., & White, S. (2012). Effect of a Coteaching Handwriting Program for First Graders: One-Group Pretest–Posttest Design. *The American Journal of Occupational Therapy, 66*(4), 396–405.
- Cataldo, Ellis (1988). Interactions in the development of spelling, reading and phonological skills. *Journal of Research in Reading, 11*, 86-109).

- Dancel, B. (2011). Apprendre à écrire, quelle histoire! *Carrefours de l'éducation*, (4), 123–134.
- Ecalles, J. (1998). L'acquisition de l'orthographe lexicale. *Glossa*, n°62, 28-35.
- Eckert, M. A., Leonard, C. M., Richards, T., Aylward, E., Thomson, J., & Berninger, V. (2002, in press). Anatomical Correlates of Dyslexia Frontal and Cerebellar Findings. *Brain*.
- Fawcett, A. J., & Nicolson, R. I. (1999). Performance of dyslexic children on cerebellar and cognitive tests. *Journal of Motor Behaviour*, 31, 68-78.
- Fayol, M., & Miret, A. (2005). Écrire, orthographier et rédiger des textes. *Psychologie française*, 50(3), 391–402.
- Graham, S., Berninger, V. W., Abbott, R. D., Abbott, S. P., & Whitaker, D. (1997). Role of mechanics in composing of elementary school students: A new methodological approach. *Journal of Educational Psychology*, 89(1), 170.
- Graham, S., Harris, K. R., & Fink, B. (2000). Is handwriting causally related to learning to write? Treatment of handwriting problems in beginning writers. *Journal of educational psychology*, 92(4), 620.
- Guimard, P. (2003). L'analyse clinique de l'orthographe lexicale chez l'enfant débutant ou en difficulté : de quelques repères théoriques et méthodologiques. *Glossa*, n° 84, 24-35.
- Kushki, A., Chau, T., & Anagnostou, E. (2011). Handwriting difficulties in children with autism spectrum disorders: a scoping review. *Journal of autism and developmental disorders*, 41(12), 1706–1716.
- Lambert, , Alamargot, D., Laroque, D. & Caporossi, G. (2011). Dynamics of spelling process during a copy task. Effect of frequency and regularity. *Canadian Journal of Experimental Psychology*, 65(3), pp. 141-150.
- Lederlé, E. (2004). De quelle manière intervenir en rééducation orthophonique, auprès d'enfants présentant des difficultés avec l'écrit ? *Glossa*, n°87, 30-41.
- Liberman, I. Y., Shankweiler, D., Liberman, A. M. (1990). The alphabetic principle and learning to read. In : Shankweiler, D. & Liberman, I. Y. (Eds), *Phonology and Reading Disability : Solving the reading puzzle. IARLD Research Monograph Series. Ann Arbor : University of Michigan Press.*
- Longcamp, M., Boucard, C., Gilhodes, J. C., & Velay, J. L. (2006). Remembering the orientation of newly learned characters depends on the associated writing knowledge: A comparison between handwriting and typing. *Human movement science*, 25(4), 646–656.

- Morin, M. F., & Montésinos-Gelet, I. (2007). Effet d'un programme d'orthographe approchées en maternelle sur les performances ultérieures en lecture et en écriture d'élèves à risque. *Revue des sciences de l'éducation*, 33(3).
- 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(1), 110–124.
- Nicolson, R.I., & Fawcett, A.J. (1999). Developmental Dyslexia The Role of the Cerebellum. *Dyslexia*, 5, 155-177.
- Olive, T., & Piolat, A. (2005). Le rôle de la mémoire de travail dans la production écrite de textes. *Psychologie française*, 50(3), 373–390.
- Pérez, M., Giraudo, H. & Tricot, A. (2012). Les processus cognitifs impliqués dans l'acquisition de l'orthographe : dictée vs copie. *A.N.A.E.*, 118.
- Plane, Alamargot, Lambert & Chesnet (2010). Temporalité de l'écriture et rôle du texte produit dans l'activité rédactionnelle. *Langages*, (1), 7–28.
- Planton, Jucla, Roux & Démonet ; The “handwriting brain”: A meta-analysis of neuroimaging studies of motor versus orthographic processes, *Cortex XXX* (2013), 1-16.
- Rohl, Tumner (1988). Phonemic segmentation skill and spelling acquisition. *Applied Psycholinguistics*, 9, 335-350.
- Sprenger-Charolles, L., & Serniclaes, W. (2003). Acquisition de la lecture et de l'écriture et dyslexie: revue de la littérature. *Revue française de linguistique appliquée*, 8(1), 63–90.
- Sumner, E., Connelly, V., & Barnett, A. L. (2012). Children with dyslexia are slow writers because they pause more often and not because they are slow at handwriting execution. *Reading and Writing*, 1–18.
- Swanson, H. L. (1996). Assessment of planning, translating, and revising in junior high writers. *Journal of School Psychology*, 34(1), 23–52.
- Teulings, H. L. (1996). Handwriting movement control. *Handbook of perception and action*, 2, 561–613.
- Van Gemmert, A. W. A., & Teulings, H. L. (2006). Advances in graphonomics: studies on fine motor control, its development and disorders. *Human Movement Science*, 25(4), 447–453.

Velay, J. L., Longcamp, M., & Zerbato-Poudou, M. T. (2004). De la plume au clavier: Est-il toujours utile d'enseigner l'écriture manuscrite? *Comprendre les apprentissages: Sciences cognitives et éducation*, 69–82.

ANNEXES



Annexe I : Explication des dysfonctionnements dans la dyslexie selon l'hypothèse phonologique : niveaux neurobiologique, cognitif et comportemental avec prise en compte du rôle de certains facteurs environnementaux et des stratégies compensatoires - Dyslexie, dysorthographe, dyscalculie : Bilan des données scientifiques, Inserm © 2007.

Résumé

Depuis les premières études en temps réel de la production écrite, rares sont celles qui ont porté sur les variations cinématiques d'enfants dyslexiques-dysorthographiques. Dans cette étude, nous avons tenté d'approfondir ce travail à la recherche d'indices pouvant traduire un trouble général de l'automatisation chez ces enfants. Dans cet objectif, nous avons soumis ces enfants à des épreuves dans lesquelles ont été pris en compte les traitements graphiques, graphomoteurs (tâches de production du nom, du prénom et de l'alphabet), les traitements orthographiques (tâches de dictée de mots et de pseudo-mots) et les traitements d'origine cérébelleuse. Nous avons donc analysé les productions écrites en temps réel d'enfants dyslexiques pour les comparer entre elles. Les résultats montrent à quel point l'analyse en temps réel permet de dépasser la simple analyse du produit fini, et son utilité pour étudier le décours du tracé et des processus requis simultanément. Nous avons également pu appréhender les traitements effectués par les enfants au cours de la narration écrite, à travers l'épreuve de rédaction de texte à partir d'une série d'images. Nos résultats montrent qu'un enfant dyslexique accède plus facilement à un bon niveau en orthographe lexicale une fois qu'il est « libéré » de la contrainte motrice que constitue une graphomotricité non automatisée. Les progrès en orthographe resteront limités tant que l'enfant ne sera pas parvenu à automatiser son geste d'écriture. Cette tendance va dans le sens de la théorie de la capacité, davantage que dans le sens d'un trouble cérébelleux. Il est clair que la variable graphisme est corrélée avec l'orthographe : quand la graphomotricité s'améliore, le nombre d'erreurs en dictée diminue, et réciproquement.

Mots-clés :

analyse en temps réel - écriture - dyslexie-dysorthographie - graphomotricité - orthographe