
Impact de l'espacement et du type de caractère sur la précision et la fluence de la lecture de mots et de textes chez les enfants normo-lecteurs, faibles lecteurs et dyslexiques

Auteur : Guillemot, Claire

Promoteur(s) : Comblain, Annick

Faculté : Faculté de Psychologie, Logopédie et Sciences de l'Éducation

Diplôme : Master en logopédie, à finalité spécialisée en neuropsychologie du langage et troubles des apprentissages verbaux

Année académique : 2019-2020

URI/URL : <http://hdl.handle.net/2268.2/10332>

Avertissement à l'attention des usagers :

Tous les documents placés en accès ouvert sur le site le site MatheO sont protégés par le droit d'auteur. Conformément aux principes énoncés par la "Budapest Open Access Initiative"(BOAI, 2002), l'utilisateur du site peut lire, télécharger, copier, transmettre, imprimer, chercher ou faire un lien vers le texte intégral de ces documents, les disséquer pour les indexer, s'en servir de données pour un logiciel, ou s'en servir à toute autre fin légale (ou prévue par la réglementation relative au droit d'auteur). Toute utilisation du document à des fins commerciales est strictement interdite.

Par ailleurs, l'utilisateur s'engage à respecter les droits moraux de l'auteur, principalement le droit à l'intégrité de l'oeuvre et le droit de paternité et ce dans toute utilisation que l'utilisateur entreprend. Ainsi, à titre d'exemple, lorsqu'il reproduira un document par extrait ou dans son intégralité, l'utilisateur citera de manière complète les sources telles que mentionnées ci-dessus. Toute utilisation non explicitement autorisée ci-avant (telle que par exemple, la modification du document ou son résumé) nécessite l'autorisation préalable et expresse des auteurs ou de leurs ayants droit.



Faculté de Psychologie, Logopédie et des Sciences de l'Éducation

Impact de l'espacement et du type de caractère sur la précision et la fluence de la lecture de mots et de textes chez les enfants normo-lecteurs, faibles lecteurs et dyslexiques

Université de Liège

Mémoire de Master 2 en Logopédie

Guillemot Claire

2019-2020

Promoteur : Madame Annick Comblain

Lecteurs : -Martinez Perez Trecy

-Veys Emilie

Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier ma promotrice, Madame Annick Comblain, pour m'avoir confortée dans le choix de ce sujet, sa disponibilité, son accompagnement et ses conseils.

Je remercie également Madame Trecy Martinez Perez et Madame Emilie Veys, les lectrices et membres de jury de ce travail.

Je souhaite également remercier mes parents, qui m'ont soutenue tout au long de mon parcours et qui m'ont rassurée. Je leur suis reconnaissante de m'avoir donné l'opportunité de réaliser ces études en logopédie. Merci à mon Papa pour ses relectures.

Un grand merci aussi à tous mes amis, proches comme de loin, pour leur soutien et leurs encouragements. Plus particulièrement, je tiens à remercier Clémence, Estelle et Aubry pour m'avoir rassurée et cru en moi. Je remercie Aubry pour ses nombreuses relectures.

Et enfin, je souhaite remercier l'Université de Liège pour le cursus proposé en Logopédie. Tout au long de ces années d'études, j'ai découvert un métier dans lequel je m'épanouie personnellement et professionnellement.

Table des matières

<u>Introduction générale</u>	1
<u>Introduction théorique</u>	
I. L'apprentissage de la lecture.....	3
A. Le modèle en stades (Uta Frith, 1985).....	4
B. Le modèle à double voies de lecture (Coltheart, 1978).....	9
C. Les compétences associées au développement du langage écrit	12
1. La conscience phonologique.....	13
2. La mémoire phonologique à court terme	14
3. La dénomination rapide automatisée.....	15
4. Empan visuo-attentionnel	17
D. La fluence et la compréhension.....	21
E. Les mécanismes physiologiques de la lecture	22
1. La physiologie de l'œil	22
2. Le mouvement des yeux.....	24
3. Empan visuel	25
II. La dyslexie développementale	26
A. Définition.....	26
B. Les théories explicatives de la dyslexie.....	27
1. Le modèle de lecture à double voies de lecture (Coltheart, 1978)	27
2. La théorie phonologique	28
3. La théorie magnocellulaire générale	30
4. Le modèle phonologique intégratif de Ramus.....	32
III. La lisibilité.....	34
A. Définition.....	34
B. L'évaluation d'une lisibilité optimale.....	35
C. La taille des caractères	36
D. L'espacement inter-lettres	37
E. L'espacement inter-lignes	41
F. Les polices d'écriture standards	42
1. La présence d'empatement.....	42
2. Polices à espacement fixe ou proportionnel	43
3. Polices romaines ou italiques	43
G. Les polices d'écriture développées pour les personnes dyslexiques	43

1.	La police « <i>Opendyslexic</i> »	44
2.	La police « Dyslexie ».....	45
3.	La police « <i>EasyReading</i> ».....	47
IV.	L'empan visuo-attentionnel	48
A.	Evaluation.....	48
B.	Dissociation des troubles de l'empan visuo-attentionnel et phonologiques.....	50
C.	Une réduction de la fenêtre visuo-attentionnelle	51
 <u>Objectifs et Hypothèses</u>		53
 <u>Méthodologie</u>		59
I.	Les participants	59
II.	Le matériel.....	62
III.	Méthodologie 1	68
IV.	Méthodologie 2	74
V.	Analyse qualitative des résultats	78
 <u>Discussion</u>		80
 <u>Conclusion et Perspectives</u>		88
 <u>Résumé</u>		91
 <u>Bibliographie</u>		92
 <u>Annexes</u>		104

Introduction générale

Dans notre société, la maîtrise de la lecture a une place importante dans nos apprentissages et permet le développement des connaissances sur le monde. Elle s'acquiert à l'école primaire et est nécessaire pour l'insertion sociale ainsi que pour la réussite scolaire et professionnelle.

La dyslexie développementale est un trouble de l'acquisition de la lecture et touche 6 à 8% des enfants francophones (Sprenger-Charolles & Collé, 2003). Elle se traduit par des difficultés à reconnaître les mots écrits d'une manière précise et rapide. Ces dernières impacteraient secondairement le niveau de compréhension écrite. Ce trouble se manifeste chez des personnes ayant reçu un enseignement adéquat de la lecture et persiste à l'âge adulte. Nous aborderons dans ce mémoire les théories qui tentent d'expliquer les causes de la dyslexie et les mécanismes qui rentrent en jeu dans les processus de la lecture. A l'heure actuelle, ce trouble aurait une base neurobiologique (Lyon et al., 2003) et serait sous-tendu par l'hypothèse d'un déficit phonologique (Snowling, 2000).

La lecture nécessite l'emploi de ressources attentionnelles plus importantes chez les personnes dyslexiques. Par ailleurs, les difficultés rencontrées en lecture impactent le développement du vocabulaire et nous observons un écart avec celui des normo-lecteurs. Il est donc important de trouver des aménagements pour faciliter l'acquisition de la lecture et augmenter la richesse du lexique.

Des études se sont intéressées à la lisibilité. Cette notion fait référence aux facteurs visuels d'un document pouvant altérer la reconnaissance des mots (Tinker, 1964). Dans ce mémoire, nous porterons notre attention sur la taille des caractères, les polices d'écriture et l'espacement inter-lettres. Il est conseillé d'utiliser une police de 12 et 14 points (Bernard, Chaparro, Mills, Halcomb, 2002). Par ailleurs, des polices spécifiques pour les enfants dyslexiques ont été développées, comme « *Opendyslexic* » (Gonzalez, 2012), « *Dyslexie* » (Boer, 2008) et « *EasyReading* » dans le but d'améliorer l'identification des lettres et de diminuer leurs confusions. Il est également conseillé d'utiliser des polices sans empattement comme « *Arial* » (Martinet, 2010). Et enfin, les enfants dyslexiques sont affectés par l'effet d'encombrement visuel (« *crowding* »), se traduisant par une altération de la reconnaissance d'une lettre cible lorsque les lettres voisines sont trop proches. Une augmentation de l'espace

entre les lettres permettrait d'améliorer la précision et la rapidité de lecture (Zorzi et al., 2012).

Ces facteurs visuels ont été étudiés dans deux mémoires réalisés en 2019 par Tiffany Regnier et Juliette Rivoire. Le premier met en évidence qu'une manipulation de la police d'écriture n'améliore ni la précision ni la rapidité de lecture. Et le deuxième montre qu'une modification de l'espacement inter-lettres et interlignes n'améliore pas la rapidité et la précision de lecture. Cependant, la partie discussion de ces mémoires suggère que l'empan visuo-attentionnel, non mesuré dans ces études, pourrait être une supplémentaire variable intéressante à considérer pour mesurer l'impact éventuel de la police d'écriture et de l'espacement sur les performances de lecture.

L'empan visuo-attentionnel fait partie des prérequis au développement du langage écrit. En lecture, il correspond à la distinction d'un nombre d'unités orthographiques traitées simultanément dans une succession de lettres. L'empan visuo-attentionnel peut être altéré chez certains enfants dyslexiques et se manifeste par une diminution des lettres reconnues en parallèle. Par conséquent, il peut avoir des répercussions sur l'apprentissage de la lecture, notamment lors de la création de traces mnésiques des graphèmes et des mots. La population dyslexique est hétérogène et toutes les difficultés ne peuvent pas être expliquées par un déficit phonologique. Bosse, Tainturier et Valdois (2007) ont montré que les enfants dyslexiques pouvaient présenter un déficit isolé soit phonologique, soit de l'empan visuo-attentionnel ou bien un double déficit.

L'objectif de ce mémoire est de vérifier si l'utilisation d'aménagements, tels qu'une police d'écriture spécifique ou une augmentation de l'espacement inter-lettres, permet d'améliorer les performances de lecture (précision et vitesse) de mots, de non-mots, et de textes chez des enfants dyslexiques présentant ou non un trouble de l'empan visuo-attentionnel. Dans ce but, nous testerons un groupe d'enfants dyslexiques et mauvais lecteurs avec un trouble phonologique isolé, un groupe d'enfants dyslexiques et mauvais lecteurs avec un trouble de l'empan visuo-attentionnel isolé, un groupe d'enfants dyslexiques et mauvais lecteurs avec un double déficit et un groupe d'enfants normo-lecteurs.

Dans l'introduction théorique, nous traiterons tout d'abord les notions en lien avec l'apprentissage de la lecture. Puis, nous aborderons la dyslexie développementale et les

modèles explicatifs. Ensuite, nous discuterons des études portant sur facteurs visuels de la lisibilité. Et enfin nous aborderons l'implication de l'empan visuo-attentionnel dans la lecture.

Introduction théorique

I. L'apprentissage de la lecture

La lecture est une activité complexe qui consiste à déchiffrer les mots écrits et à les produire à voix haute ou de manière silencieuse (en tête).

Selon Gough et Tunmer (1986), la lecture est la capacité d'accéder au sens d'un énoncé écrit comme suggéré dans l'équation $L = R \times C$ indiquant que la lecture (L) repose sur deux composants fondamentaux : la reconnaissance des mots écrits (R) et la compréhension de l'énoncé (C).

La langue française est basée sur un système d'écriture alphabétique utilisé à la fois en lecture et en écriture. Les mots écrits sont constitués d'une succession de lettres. Le graphème est l'unité graphique qui représente la lettre (ou le groupe de lettres) à l'écrit, tandis que le phonème est le son que représente la lettre (ou le groupe de lettres) à l'oral. L'apprentissage du système alphabétique est donc basé sur la mise en correspondance des graphèmes et des phonèmes.

La langue française contient des mots « réguliers » (décodés par des règles de conversion graphème-phonème propre à la langue), des mots « irréguliers » (pour lesquels les règles de conversion graphème-phonème ne s'appliquent pas, exemple : « femme »), et enfin des mots « inconsistants » (comportant des graphèmes se prononçant de différentes manières selon le mot, comme par exemple la graphie « ill » dans les mots « ville » et « fille »). Par conséquent, le système orthographique de la langue française implique autant une maîtrise des règles de conversion graphème-phonème (mots réguliers) que des connaissances de certaines spécificités orthographiques présentes dans des mots écrits pour lesquelles ces règles de conversion sont peu applicables (mots irréguliers, mots inconsistants).

Un lecteur expert est capable de reconnaître rapidement et précisément des mots écrits (en moyenne 5 mots par seconde), sans effort cognitif particulier. Cette reconnaissance automatique et irrépressible des mots écrits est mise en évidence par le test de Stroop. Dans

ce dernier, des noms de couleurs sont présentés à l'enfant qui doit nommer la couleur dans laquelle ces mots sont écrits. Les mots désignant une couleur prennent plus de temps pour être lus que des mots désignant un nom neutre (par exemple, le nom d'un animal). Le traitement du mot désignant le nom de la couleur s'effectue de manière automatique, créant une interférence avec la production orale de la couleur de l'encre dans laquelle le mot est écrit.

Dans cette partie, nous aborderons d'abord les différents modèles expliquant les mécanismes intervenant dans l'identification des mots écrits et l'apprentissage de la lecture. L'objectif n'est pas de prendre position sur un modèle particulier mais de mieux comprendre le rôle des processus dans l'acquisition de la lecture. Puis, nous mentionnerons les compétences associées au développement du langage écrit avant de faire allusion à la fluence et à la compréhension. Et enfin, nous exposerons les différents mécanismes physiologiques de la lecture.

A. Le modèle en stades (Uta Frith, 1985)

L'apprentissage de la lecture abordé par le modèle en stades d'Uta Frith (1985) est composé d'une succession d'étapes. Nous verrons par la suite les critiques émises au sujet de ce modèle et l'importance du recodage phonologique dans l'établissement des représentations orthographiques.

Le modèle en stades d'Uta Frith (1985)

Dans le modèle en stades d'Uta Frith (1985), chaque étape se succède et utilise une stratégie spécifique lors de l'identification des mots écrits.

1) L'étape logographique

Dans cette première étape, un enfant de 4-5 ans est capable d'identifier un nombre restreint de mots familiers sans un apprentissage formel de la lecture. Il mémorise des traits graphiques saillants ou des indices contextuels non linguistiques en lien avec le mot pour parvenir à son sens. Il ne tient pas compte de la disposition des lettres et des relations entre la forme orale et la forme écrite du mot. La reconnaissance des mots écrits est même possible avec des

indices visuels partiels qui constituent le mot. En effet, l'enfant réalise une association sélective de certaines caractéristiques graphiques d'un mot à la forme verbale et au sens correspondant (Gough et Juel, 1989). Toutefois, l'accroissement du nombre de mots écrits dans le vocabulaire de l'enfant peut engendrer des confusions entre les mots lors de l'identification, en raison du partage des caractéristiques graphiques communes. Par conséquent, l'efficacité de cette étape devient limitée et l'enfant va développer une deuxième stratégie de lecture.

2) L'étape alphabétique

Dans la deuxième étape, l'apprentissage des mots écrits s'effectue avec un enseignement explicite des relations de correspondance entre les sous-unités qui composent les formes écrites (graphèmes) et les formes orales (phonèmes). Elles suivent de manière conventionnelle des règles de conversion spécifiques d'une langue. Cette stratégie est également appelée « décodage phonologique », « recodage phonologique » ou « médiation phonologique » et fait référence à la procédure sous-lexicale dans les modèles classiques de la lecture (ex : Coltheart, 1978) que nous verrons par la suite.

Cette phase se réalise au tout début de l'apprentissage (en 1^{ère} Primaire) et le décodage des mots s'effectue de manière séquentielle, chaque unité graphémique est identifiée. L'enfant doit se rendre compte de l'existence de ces unités sous-lexicales et de leurs relations (ex : la lettre « b » correspond au son /b/). Il doit savoir distinguer l'ensemble des graphèmes dans la séquence orthographique et l'ensemble des phonèmes dans la séquence des sons pour effectuer des correspondances entre ces unités. Lors de l'apprentissage, on enseigne d'abord à l'enfant qu'une lettre (graphème, ex : « p ») correspond à un son (phonème, ex : /p/), puis qu'un groupe de lettres peut référer à un seul phonème (ex : « an » → /ã/), et enfin, qu'un graphème peut renvoyer à différents phonèmes en fonction de son contexte d'apparition (ex : « g » → /g/, /ʒ/). Grâce à cette étape, l'enfant pourra lire de nouveaux mots, comme des mots réguliers qu'il n'a jamais rencontrés antérieurement.

Comme nous l'avons vu précédemment, la lecture est une activité qui nécessite à la fois de porter son attention sur la reconnaissance des mots et sur la compréhension de l'énoncé. Au tout début de l'apprentissage du décodage, l'attention de l'enfant est principalement dirigée vers la reconnaissance des lettres et des mots au détriment de la compréhension. Au fur et à

mesure, l'enfant maîtrisera le décodage mais cette stratégie utilise tout de même un certain nombre de ressources attentionnelles au dépend de celles mobilisées pour la compréhension des énoncés (Høien et Lundberg, 1988). Au final, l'enfant tient compte des caractéristiques structurales des mots écrits et perçoit la disposition sérielle des lettres qui les composent (Berninger, 1987).

3) L'étape orthographique

La dernière étape, fait référence à l'identification immédiate des mots écrits, sans passer par la médiation phonologique. En effet, l'enfant traite de manière instantanée l'entièreté de la séquence de lettres qui constitue le mot écrit comme une configuration unifiée. Il construit donc une représentation abstraite du mot écrit qui est stockée dans le lexique orthographique interne (stock des représentations orthographiques des mots connus en mémoire). L'élaboration de cette représentation du mot se réalise à la suite de la rencontre fréquente de l'association entre la forme écrite et orale du mot. Selon l'étude de Høien et Lundberg (1988), la stratégie alphabétique est maîtrisée lorsque l'enfant est capable de lire convenablement des mots irréguliers (ex : monsieur) et des mots réguliers (ex : papa) enregistrés dans le lexique orthographique interne, sans passer par le décodage grapho-phonémique. Dans cette dernière étape, on inclut également une stratégie de lecture par analogie, reposant sur l'idée que la lecture de mots non familiers est possible en s'appuyant sur la ressemblance orthographique des mots connus. Selon Frith (1985), les morphèmes sont des unités orthographiques que nous pouvons manipuler et combiner afin d'identifier de nouveaux mots. Un morphème est défini comme une unité minimale de signification et un mot peut être composé de plusieurs morphèmes. On distingue les morphèmes lexicaux (ex : noms, verbes et etc.) et les morphèmes grammaticaux (ex : déterminants, prépositions et etc.). Les morphèmes non autonomes peuvent se détacher de la racine du mot (exemple, les affixes : préfixes et suffixes). Par exemple, le mot « imbuvable » est composé du préfixe « im », du radical « buv » et du suffixe « able ».

La remise en question du modèle

Ce modèle repose sur certains postulats qui sont remis en question : la filiation entre les stratégies, l'hypothèse de stades séquentiels bien distincts et l'existence du stade logographique.

1) La notion de filiation

La notion de filiation fait référence à la succession des différents stades lors de l'apprentissage de la lecture. Le modèle de Frith (1985) soutient cette notion de filiation car les trois étapes se succèdent les unes après les autres en suivant un ordre sériel strict et chaque stratégie tire un bénéfice de la précédente. Le concept de filiation entre les stratégies logographique et alphabétique est remis en cause car l'identification des mots dans le stade logographique repose sur des indices visuels partiels qui ne sont pas forcément liés au traitement du langage écrit (ex : matériel graphique ou pictural). Dans les représentations internes du stade logographique et dans les mécanismes permettant son accès, les relations entre les parties de la forme orale et de la forme écrite d'un mot ne sont pas prises en compte. De ce fait, il est difficile de concevoir que la stratégie logographique puisse promouvoir le développement de la stratégie alphabétique, basée sur le décodage phonologique. L'étude de Masonheimer, Drum et Ehri (1984) a montré que les capacités de lecture n'étaient pas influencées par les compétences logographiques.

Par ailleurs, il existe des liens entre le stade alphabétique et l'étape orthographique mais ils n'entretiennent pas une relation de filiation puisque ces deux stratégies possèdent des processus différents d'identification de mots. En effet, l'identification correcte d'un mot écrit lors de sa première rencontre aura à la fois deux conséquences sur le long terme : le renforcement du système de correspondance entre les graphèmes et les phonèmes permettant son automatiser, ainsi que la création d'un code orthographique dans le but de faciliter l'accès d'un mot spécifique lors des futures rencontres (Jorm et Share, 1983).

2) Le développement séquentiel des stades

On a également contesté l'idée selon laquelle les stratégies suivent un ordre strict de succession à différentes périodes du développement. Par ailleurs, on se questionne même sur l'existence d'une telle succession, ou bien qu'une stratégie supplante la stratégie précédente qui s'était développée. Seymour (1996) a élaboré un modèle à « double fondation », basé sur le développement de l'orthographe. Il stipule une coexistence des stratégies logographique et alphabétique au commencement de l'apprentissage de la lecture et de l'écriture, servant de base au développement de la stratégie orthographique. D'autre part, Goswami et Bryant (1990) contestent l'idée que les enfants abordent d'abord les mots écrits comme des

enchaînements de petites unités telles que des lettres mais qu'on devrait plutôt les appréhender à partir d'unités plus larges comme les morphèmes dans le stade alphabétique.

3) L'existence de l'étape logographique

L'existence de l'étape logographique pose également question. Précédemment, nous avons abordé la notion de filiation entre le stade logographique et le stade alphabétique. Il en découle que la stratégie logographique est perçue comme une attitude précoce lorsqu'on est confronté au langage écrit et qu'elle ne possède pas de lien direct avec l'apprentissage de la lecture.

Cette stratégie se manifeste dans certaines conditions en fonction des spécificités orthographiques des systèmes de l'écriture, des méthodes d'enseignement et des variables individuelles. Par conséquent, il est possible d'observer son absence dans les langues où l'orthographe est transparente (les relations de correspondance entre les graphèmes et les phonèmes sont univoques et sans ambiguïté). La langue française est considérée comme « opaque », car elle possède des mots (ex: irréguliers) ne pouvant pas être lus par la voie de conversion grapho-phonémique et certaines règles de cette conversion sont complexes et ambiguës. Toutefois, elle comporte peu de mots irréguliers et une bonne maîtrise des règles de conversion grapho-phonémique simples et complexes permet de lire un nombre élevé de mots (Sprenger-Charolles, Spiegel & Bonnet, 1998). D'autre part, l'apparition de cette stratégie est facilitée dans les méthodes d'enseignement global de la lecture, où les mots sont mémorisés en entier sans avoir été décomposés en syllabes et en phonèmes. Et enfin, les enfants possédant des capacités phonologiques correctes développent moins cette stratégie. Sprenger-Charolles (1991) considère plutôt la stratégie logographique comme une aide qui compenserait les difficultés rencontrées par les autres stratégies de lecture au lieu de la considérer comme la première étape d'apprentissage de la lecture. On retrouve son utilisation chez les enfants dyslexiques de 10 ans.

Pour conclure, ces différentes données permettent d'affirmer que l'apprentissage de la lecture ne commence pas forcément par l'étape logographique et que la stratégie orthographique ne suit pas de manière stricte la stratégie alphabétique.

Le recodage phonologique et l'accès aux représentations lexicales

A la suite de la remise en question du modèle en stades, le développement de la lecture est abordé à partir du recodage phonologique et de l'accès au sens du mot écrit. L'apprentissage du recodage phonologique fait intervenir la conscience phonologique (étant les capacités d'analyse consciente des sons de la langue) et la connaissance des lettres (Tunmer, Herriman & Nesdale, 1988). Pour Share (1995), l'usage du recodage phonologique est primordial afin d'élaborer des représentations orthographiques. En effet, un code orthographique est conçu de manière progressive afin d'accéder directement aux représentations sémantiques et phonologiques des mots écrits. Ces deux stratégies s'entretiennent mutuellement et évoluent de manière simultanée. Le recodage phonologique a son importance car il est perçu comme un mécanisme d'auto-apprentissage permettant le décodage des suites de lettres régulières et irrégulières vues pour la première fois, et la création de nouvelles représentations orthographiques.

B. Le modèle à double voies de lecture (Coltheart, 1978)

Les différents processus impliqués dans l'identification des mots écrits sont abordés à partir du modèle à deux voies de Coltheart (1978), le plus fréquemment utilisé comme modèle de référence dans la littérature scientifique et en logopédie clinique. Ce dernier intègre deux procédures de lecture dont le but est la prononciation des mots écrits.

Ce qui est commun aux deux procédures, lorsque la lecture d'un mot écrit débute, est que le système visuel détecte d'abord les différents traits graphiques qui composent une lettre spécifique. Ce phénomène active sa représentation abstraite (indépendamment de la police d'écriture, de sa taille, de son orientation...) et conduit à sa reconnaissance.

Toutefois, les deux voies de lecture se distinguent par les processus utilisés et les types d'items lus (mots et non-mots).

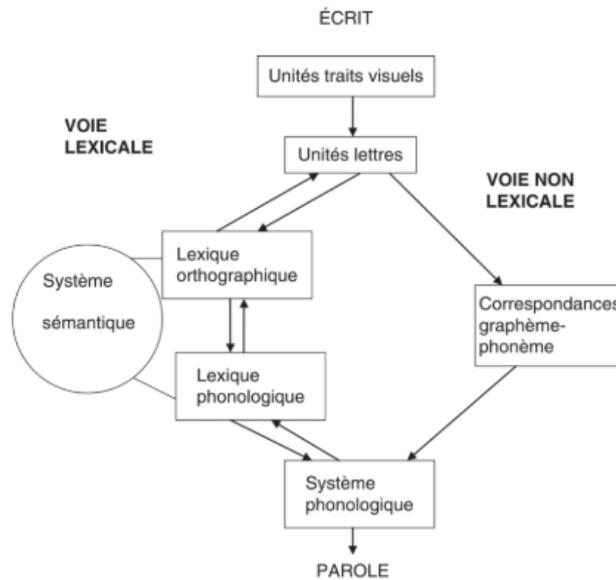


Figure 1 : Le modèle à double voie de lecture, selon Coltheart (1978)

Schéma extrait du livre : « Prise en charge des troubles du langage écrit chez l'enfant » (Casalis, Leloup & Bois Parriaud, 2013)

1) La voie lexicale

D'une part, « la voie lexicale », également appelée « voie d'adressage » est constituée de différents composants que nous allons définir :

- Le **lexique orthographique d'entrée** : constitue le stock des représentations orthographiques des mots écrits (composés d'une séquence de graphèmes) déjà rencontrés, comme les mots familiers ;
- Le **système sémantique** : regroupe l'ensemble des informations sémantiques (le sens) activées à la suite de la présentation d'un mot écrit ;
- Le **lexique phonologique** : comporte le stock des représentations phonologiques (suites de sons) des mots écrits déjà rencontrés.

Par ailleurs, la voie lexicale se décompose en deux parties : la voie lexicale sémantique et la voie lexicale non sémantique :

- Pour la **voie lexicale sémantique** : la lecture du mot écrit active sa représentation orthographique dans le lexique orthographique d'entrée (ex : « armoire »). Par la suite, le lecteur accède à la signification du mot (ex : meuble dans lequel on range les vêtements), puis la forme phonologique du mot est activée dans le lexique phonologique et le sujet prononce oralement le mot (ex : /armoire/) ;

- Pour la **voie lexicale non-sémantique** : le principe est le même à la différence que le sujet n'accède pas aux informations sémantiques du mot car il ne passe pas par le système sémantique. Le mot écrit, reconnu dans le lexique orthographique d'entrée, active directement sa représentation phonologique dans le lexique phonologique. Par conséquent, un enfant peut lire des mots sans les comprendre.

Finalement, cette voie donne uniquement accès à la reconnaissance des mots familiers, tels que les mots réguliers et irréguliers.

2) La voie sous-lexicale (ou non lexicale)

D'autre part, le fonctionnement de la « voie sous-lexicale » (ou « voie d'assemblage ») est décomposé par une succession de trois étapes qui permet le décodage des mots écrits à partir de la reconnaissance des graphèmes :

- La segmentation : le mot écrit est segmenté en graphèmes
ex : « montre » → « m/on/t/r/e
- La conversion grapho-phonémique : les graphèmes sont convertis en phonèmes
ex : « m/on/t/r/e » → [m] [ɔ̃] [t] [r]
- Assemblage : les phonèmes sont assemblés pour former la représentation du mot oral
ex : [m ɔ̃ t r]

Cette procédure permet d'identifier des formes orthographiques familières ou non, à condition qu'elles respectent les règles de correspondance entre les graphèmes et les phonèmes de la langue. Ainsi, la lecture des mots réguliers ou des non-mots est réalisée à travers cette voie. Les non-mots sont des séquences de lettres ressemblant à des mots car ils respectent les règles de conversion de la langue mais sont dénués de sens. Le sujet utilise les règles de conversion graphème-phonème de la langue car n'ayant jamais rencontré les non-mots auparavant, il est dans l'impossibilité d'en récupérer la forme orthographique. En revanche, la lecture des mots irréguliers est impossible car ils ne respectent pas les règles de correspondances grapho-phonémique.

Dans la version du modèle à deux voies de lecture de Coltheart (1978), les différents traitements se réalisent de façon séquentielle et unidirectionnelle. L'analyse visuelle du mot donne accès à la représentation orthographique qui active ensuite la représentation sémantique (pas systématiquement) et la forme phonologique du mot.

Le modèle de lecture à deux voies en cascade

Coltheart et ses collaborateurs ont aussi présenté une version améliorée de ce modèle qui est « le modèle de lecture à deux voies en cascade » (Dual Route Cascaded – DRC) (Coltheart, Curtis, Atkins & Haller, 1993). Le modèle garde son architecture fonctionnelle originelle avec la particularité que les différents traitements sont interactifs. Ainsi, chaque niveau de traitement inhibe ou active l'étape suivante ou l'étape précédente du traitement. Par exemple, des représentations sémantiques peuvent activer des représentations orthographiques. Par ailleurs, il n'est pas obligatoire de parvenir au seuil d'activation d'une représentation d'un traitement pour que l'activation se répande aux représentations associées aux traitements voisins.

L'acquisition des deux voies dans l'apprentissage de la lecture

Finalement, les voies lexicale et sous-lexicale interviennent toutes les deux dans l'acquisition de la lecture.

Au tout début de l'apprentissage de la lecture, l'enfant ne maîtrise pas encore les deux voies de lecture. En effet, il utilise d'abord la voie d'assemblage pour décoder les mots et apprendre les correspondances entre les lettres et les sons. Avec la répétition des expositions, l'enfant verra les mots plusieurs fois et progressivement, il va enregistrer en mémoire la forme phonologique et la représentation orthographique des mots qui lui sont familiers dans son stock lexical. Par conséquent, il utilisera principalement la voie d'adressage pour la lecture de mots familiers et la voie d'assemblage pour la lecture de non-mots et de nouveaux mots qu'il rencontrera.

C. Les compétences associées au développement du langage écrit

Après avoir énoncé les différents modèles et les traitements impliqués dans l'apprentissage et dans l'identification des mots écrits, nous aborderons dans cette partie les prérequis qui sous-tendent l'apprentissage du langage écrit. Nous nous focaliserons sur la conscience phonologique, la mémoire phonologique à court terme, la dénomination rapide automatisée

et l'empan visuo-attentionnel. Ces compétences sont liées à l'apprentissage de la lecture et peuvent être altérées chez l'enfant dyslexique.

1. La conscience phonologique

Pour Morais (1994), la conscience phonologique regroupe plusieurs compétences qui s'influencent mutuellement et qui se distinguent en quatre niveaux : la conscience des chaînes phonologiques, la conscience des rimes, la conscience syllabique et la conscience phonémique. Selon Gombert (1990), la conscience phonologique se caractérise par la capacité à identifier des petites entités de la parole (phonèmes, syllabes et rimes) et à les manipuler à travers des exercices de fusion, de suppression, d'inversion et d'ajout de ces entités.

La conscience des segments plus larges, tels que la syllabe et la rime, se développe vers 4 ans alors que la conscience phonémique se manifeste lorsque l'enfant débute l'apprentissage de la lecture vers 5-6 ans. En évaluant ces compétences dès la 3^{ème} Maternelle, on peut prédire les capacités futures en langage écrit des enfants (Caravolas, Hulme & Snowling, 2001).

Il est admis qu'une exposition au système alphabétique influence le développement de la conscience phonémique chez le pré-lecteur (Liberman, 1973). Durant les premières années en primaire, le développement de la conscience phonémique et des compétences en lecture sont liées donc nous pouvons parler d'un rapport de « facilitation mutuelle » entre ces deux éléments. En effet, l'enfant développera une conscience phonémique qui facilitera en retour l'acquisition de la stratégie de recodage phonologique s'il est exposé à la structure phonémique d'un mot (Gathercole & Baddeley, 1993). La conscience phonémique intervient dans la voie d'assemblage car l'enfant doit prendre conscience de l'existence des phonèmes et se les représenter de manière explicite. De bonnes compétences en conscience phonémique lors du décodage sont essentielles afin de combiner correctement les unités phonémiques de la production orale aux unités graphémiques de la forme écrite du mot et inversement lors de la lecture et de l'écriture.

Etant donné l'implication de la conscience phonologique dans l'apprentissage de la lecture, il est généralement admis qu'un déficit de celle-ci entraîne des troubles dans l'acquisition de la lecture. Plusieurs études ont révélé que les enfants dyslexiques ont une conscience

phonologique moins développée par rapport aux enfants de même âge chronologique ou du même âge de lecture (Olson, Wise, Connors, Rack & Fuller, 1989 ; Swan & Goswami, 1997). Les enfants dyslexiques ont davantage de difficultés pour les tâches de conscience de phonèmes que pour les tâches de conscience de rimes et de syllabes. Un faible développement de la conscience phonémique lors de l'identification et de la segmentation des phonèmes chez les enfants dyslexiques pourrait contribuer à des difficultés lors de l'élaboration de la voie d'assemblage en lecture (Melby-Lervag, Lyster et Hulme, 2012). Aussi, un développement insuffisant de la conscience phonémique pourrait lui-même résulter d'une altération des représentations phonologiques ou de leur accès (Gathercole & Baddeley, 1993 ; Snowling, 2000).

2. La mémoire phonologique à court terme

La mémoire phonologique (ou verbale) à court terme est un système mnésique permettant de stocker temporairement des informations verbales. Elle possède une capacité limitée et le matériel verbal n'est retenu que pendant 4 secondes environ lors d'une tâche de rappel (Baddeley, 1990). Les informations sont enregistrées sous l'aspect d'un code phonologique. On la mesure via différentes tâches en augmentant progressivement la longueur des items comme l'empan de chiffres, de lettres, de mots, de non-mots et de phrases ainsi que la répétition de non-mots.

La mémoire à court terme verbale (MCT) est composée de deux types d'informations (Majerus, 2008) :

- L'information « **item** » : réfère aux caractéristiques phonologiques et sémantiques des stimuli verbaux ;
- L'information « **ordre** » : fait référence à l'ordre séquentiel d'apparition des items que le sujet doit mémoriser.

L'étude de Martinez Perez, Majerus, Mahot et Poncelet (2012) montrent que les capacités pour l'information « ordre » et pour l'information « item » sont plus affectées chez les enfants dyslexiques par rapport aux enfants de même âge chronologique. Les enfants dyslexiques ont une détérioration de la mémoire à court terme « item » car elle fait intervenir des processus

phonologiques, qui sont généralement atteints dans la dyslexie. Le déficit de la MCT « item » est expliqué par une altération des représentations phonologiques qui entrave la rétention temporaire de la représentation des informations verbales. Par ailleurs, les capacités de la MCT « ordre » chez des enfants en maternelle sont considérées comme de bons prédicteurs dans l'apprentissage du décodage en lecture un an après. Lorsque l'enfant rencontre un nouveau mot, il convertit chaque graphème en phonème puis maintient de manière temporaire la séquence ordonnée de sons et les assemble dans le but d'établir la forme phonologique du mot. Par conséquent, la MCT « ordre » participe à l'élaboration des nouvelles représentations des mots écrits et à leur encodage sur le long terme si les nouveaux mots sont lus de manière répétitive. La mémoire à court terme phonologique a donc des effets sur l'acquisition de la stratégie de recodage phonologique en lecture (Gathercole et Baddeley, 1993) et une atteinte de celle-ci provoqueraient des difficultés dans le décodage des mots.

3. La dénomination rapide automatisée

La dénomination rapide automatisée (RAN : Rapid Automated Naming) est la capacité à dénommer rapidement des séquences d'items très familiers comme des objets, des lettres, des chiffres et des couleurs (Denckla et Rudel, 1976). Les compétences en dénomination rapide chez les pré-lecteurs prédisent les performances ultérieures en lecture, principalement pour la vitesse de lecture, le niveau de lecture par la voie d'adressage et la compréhension écrite (Compton, 2003). Plus spécifiquement, Badian (1993) considère que la dénomination rapide de lettres est un bon prédicteur pour l'identification des mots et que la dénomination rapide d'images prédit correctement les compétences en compréhension de textes.

Toutefois, il a été montré que des personnes présentant des difficultés dans ces tâches ont souvent aussi des troubles en lecture (Bowers & Wolf, 1993). La dénomination est plus lente chez les enfants dyslexiques par rapport aux enfants normo-lecteurs de même âge chronologique (Wolf & Bowers, 1999). Il existe donc un lien entre la lecture et la dénomination rapide. Différentes hypothèses portant sur des facteurs articulatoires, visuo-attentionnels, phonologiques ou liés à l'automatisation ont tenté d'expliquer cette relation.

Concernant les processus articulatoires, des auteurs ont trouvé que c'est le temps de pause entre chaque item qui différencie les personnes lentes des personnes plus rapides dans la

tâche de dénomination rapide, et que cela n'est pas dû à la durée de l'articulation des items (Wolf et Obregón, 1992). Par ailleurs, Neuhaus, Foorman, Francis et Carbon (2001) déclarent l'existence d'une corrélation entre la durée des pauses entre les items et le niveau de lecture, et qu'il existe peu de relation entre le temps mis pour l'articulation des items et la lecture.

L'implication de certains processus visuo-attentionnels peut expliquer la relation entre la lecture et la dénomination rapide automatisée. En effet, nous retrouvons des processus de balayage visuel, de contrôle oculaire ou d'attention focalisée dans la tâche de dénomination rapide automatisée. Par ailleurs, le fait de dénommer un item parmi les autres qui sont autour peut aussi faire intervenir l'effet d'encombrement visuel (Pernet, Valdois, Celsis & Démonet, 2006). L'ensemble de ces processus visuo-attentionnels sont aussi impliqués lors de la lecture et peuvent expliquer le lien entre la lecture et la dénomination rapide automatisée.

La lecture et la dénomination rapide automatisée sont fondées sur des capacités phonologiques. Certains auteurs considèrent même la dénomination rapide automatisée comme une sous-composante phonologique (Wagner, Torgesen, Laughon, Simmons & Rashotte, 1993). Pour Swan et Goswami (1997), la dénomination rapide automatisée évalue l'accès aux représentations phonologiques. Selon la théorie du « double déficit », Wolf et Bowers (1999) proposent l'existence de deux déficits phonologiques différents : un déficit de la dénomination rapide ainsi qu'un déficit de la conscience phonologique. En tenant compte de cette double dissociation, ils ont classé les enfants dyslexiques dans trois groupes en fonction de leurs performances dans ces tâches phonologiques :

- 1) Des enfants avec un déficit de la conscience phonologique ;
- 2) Des enfants avec un déficit de la dénomination rapide ;
- 3) Des enfants avec un déficit dans les 2 tâches.

Par ailleurs, certains auteurs énoncent une indépendance de la dénomination rapide par rapport aux autres prédicteurs de la lecture tels que la conscience et la mémoire phonologique (McBride-Chang & Manis, 1996).

L'automatisation des compétences cognitives contribue également à expliquer le lien entre la dénomination rapide et la lecture. L'automatisation se définit comme un processus qui permet à une habileté d'avoir moins recours à des efforts si elle est pratiquée régulièrement (Shiffrin & Schneider, 1977). Par exemple, la lecture est une habileté dont les sous-

composants deviennent automatisés lorsqu'elle est souvent exercée (Laberge & Samuels, 1974). Nicolson et Fawcett (1990) suggèrent que les enfants dyslexiques rencontrent des troubles lors de la reconnaissance des mots écrits et que ceci est expliqué par un déficit général de l'automatisation. L'absence d'automatisation de certaines habiletés pourrait donc expliquer la relation entre la dénomination rapide et la lecture.

4. Empan visuo-attentionnel

Définition

De manière générale, l'empan visuo-attentionnel fait référence à la distinction d'un certain nombre d'éléments visuels pouvant être traités simultanément dans un ensemble de plusieurs éléments (Bosse, Tainturier & Valdois, 2007). Nous pouvons retrouver ce phénomène dans le cadre de la lecture, qui renvoie à la distinction d'un nombre d'unités orthographiques traités simultanément dans une succession de lettres.

Le modèle multi-traces de lecture

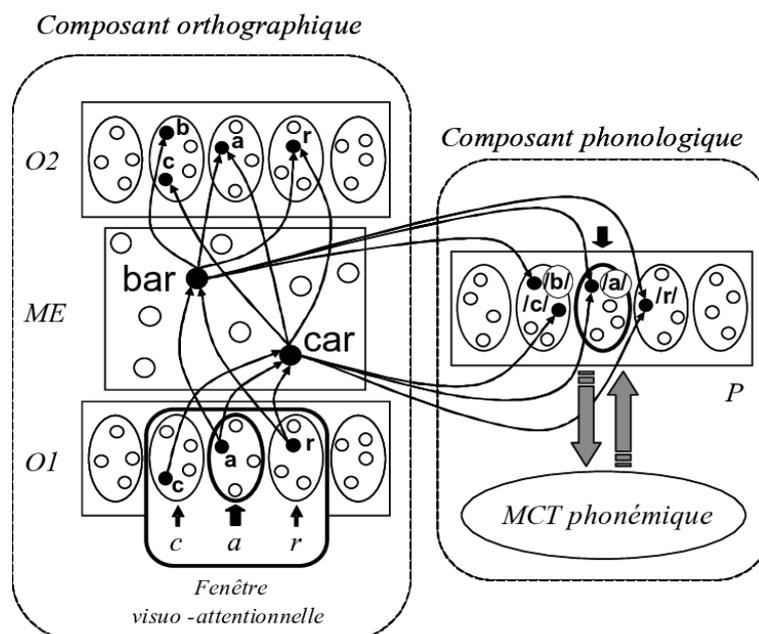


Figure 2 : Le modèle multi-traces de lecture de Ans, Carbonnel et Valdois (1998)

Ans, Carbonnel et Valdois (1988) ont développé le modèle multi-traces de lecture de mots polysyllabiques. Ce modèle suppose que les dyslexies développementales résulteraient de

deux types de dysfonctionnement cognitifs, pouvant toucher la composante phonologique et la composante visuo-attentionnelle.

Comme dans le modèle de Coltheart (1978), le modèle multi-traces de lecture est composé de deux procédures de lecture : la première est globale et permet la lecture de mots familiers, tandis que la deuxième est analytique et assure la lecture de non-mots ou de mots inconnus. Tout d'abord, le traitement de la séquence du mot débute avec le mode global mais si celui-ci échoue, la séquence sera traitée avec le mode analytique. Ce modèle postule l'existence d'une seule voie de lecture, les deux procédures intervenant dans le traitement de manière successive. Ce modèle se différencie de celui de Coltheart (1978) qui propose deux voies de lecture.

La composante visuo-attentionnelle est abordée ici par la notion de la « fenêtre visuo-attentionnelle ». Elle détermine pour chaque étape de lecture la quantité d'information orthographique pouvant être traitée. Elle a comme caractéristique d'être « mobile » quand les yeux du lecteur se déplacent lors de la lecture d'un texte. Sa taille varie en fonction de la procédure de lecture utilisée. Lors du traitement global, la fenêtre est de grande taille, pouvant ainsi traiter la globalité du mot. Et lors du traitement analytique, la fenêtre est de petite taille pour analyser des portions de mots (des unités infralexicales) comme la syllabe ou le graphème et requiert l'intervention de la mémoire de travail phonologique.

Ce modèle est constitué de quatre couches d'unités simples : deux couches orthographiques (O1 et O2), une couche centrale (ME : mémoire épisodique), une couche phonologique de sortie (P), ainsi qu'une mémoire temporaire phonologique (MTP ou « buffer phonologique »).

Le modèle fonctionne de manière sérielle. La fenêtre attentionnelle de la couche orthographique O1 perçoit la séquence de lettres (étant un mot familier, inconnu ou un non-mot) qui est soumise à un traitement global. L'activation se répand à la couche ME, où se réalise une comparaison entre la séquence de lettres et les mots déjà appris par le lecteur, puis mène à la création simultanée de deux patterns d'activation sur les couches O2 et P. Par la suite, il existe deux situations :

- Si le modèle d'activation sur O2 est identique à celui de O1, la séquence orthographique a été reconnue en mode global comme un mot familier. Le modèle d'activation est

recréé sur la couche phonologique (P) et donne lieu à sa forme phonologique, qui est acceptée comme réponse du système ;

- Si le modèle d'activation sur O2 n'est pas identique à celui de O1 (exemples d'items : mots inconnus ou non-mots), nous sommes face à un échec du traitement global qui fait basculer le système en mode analytique. Dès lors, la fenêtre attentionnelle se réduit pour inclure une séquence plus petite de l'item (telle que la syllabe ou le graphème) et active uniquement dans O1 les unités qui y correspondent. Dès que la syllabe est identifiée, elle est enregistrée dans la mémoire phonologique à court terme. Puis la fenêtre attentionnelle se déplace et s'empare de la syllabe qui suit. Ce processus se réalise jusqu'au traitement complet de l'item. Une fois que les syllabes sont formées, elles sont ensuite fusionnées et nous observons une activation de la forme phonologique de l'item dans la couche phonologique de sortie (P). Et enfin, on crée une trace mnésique de l'item inconnu afin de le traiter en mode global lors de sa prochaine rencontre.

Tous les nouveaux mots (réguliers et irréguliers) appris passent par le mode global et analytique. Concernant le mode global, la création de traces mnésiques est possible lorsque l'ensemble de la séquence orthographique d'entrée et de la séquence phonologique de sortie des mots ont bien été identifiées. Les mots doivent d'ailleurs être rencontrés plusieurs fois pour consolider la trace dans la mémoire à long terme. Il est nécessaire que toutes les lettres composant la séquence d'entrée du mot soient identifiées précisément dans toutes les positions. D'un autre côté, le mode analytique permet également de construire une trace mnésique des mots quand l'ensemble de la chaîne phonologique des lettres est maintenu dans la mémoire à court terme (Valdois et al., 2004)

La lecture de non-mots et de mots réguliers non connus se réalise avec le mode analytique. Lors de ce traitement, des traces codant les relations entre les segments sous-lexicaux orthographiques (CH-A-P-EAU) et phonologiques (/ʃ/-/a/-/p/-/o/) sont créées et enregistrées en mémoire (Bosse et al., 2007). Les traces de ces segments sous-lexicaux sont acquises quand les sujets sont capables de les identifier correctement dans la séquence de lettres qui composent le mot et à la suite d'une exposition répétitive (Valdois et al., 2004)

Finalement, ces deux procédures permettent la lecture efficace de tous les mots de la langue, comme le modèle à deux voies de lecture de Coltheart (1978). L'efficacité repose sur la présence :

- De bonnes capacités **phonologiques** : quand l'information phonologique conçue dans le traitement analytique est maintenue dans la mémoire phonologique à court terme ;
- D'une **fenêtre attentionnelle** large : pour capter le plus de lettres possibles en une seule fixation dans le traitement global. La taille de la fenêtre attentionnelle fait varier la vitesse de lecture. La procédure globale dépend de l'empan perceptif qui doit être assez grand pour capter tous les graphèmes d'un mot de manière simultanée.

Concernant l'implication des capacités d'empan visuo-attentionnel dans la lecture, Bosse et Valdois (2009) l'ont étudié chez 417 enfants typiques de première, troisième et cinquième année. Ils ont administré des tâches de lecture, de conscience phonologique et d'empan visuo-attentionnel. Ils montrent que l'empan visuo-attentionnel a un pouvoir prédictif sur les compétences de lecture. En première année, il existe une corrélation entre l'empan visuo-attentionnel et les performances (précision et taux) de lecture de mots et de non-mots. Ils remarquent une diminution de l'influence de l'empan visuo-attentionnel sur la lecture de non-mots et de mots réguliers de la première à la troisième année. Cependant, l'implication de l'empan visuo-attentionnel perdure à travers les niveaux en primaire pour la lecture de mots irréguliers. Ils soulignent donc la contribution de l'empan visuo-attentionnel dès le début de l'apprentissage de la lecture au stade d'alphabétisation mais également sur le long terme lors de l'acquisition des connaissances orthographiques spécifiques.

Pour conclure, une atteinte spécifique de la composante phonologique ou de la composante visuo-attentionnelle peut entraîner un trouble de la lecture et provoquer différentes formes de dyslexies que nous aborderons dans le chapitre de l'empan visuo-attentionnel.

D. La fluence et la compréhension

Une lecture fluente est définie comme une lecture précise, rapide, dénuée d'effort et avec une prosodie adéquate, permettant de focaliser son attention sur la compréhension (Wolf & Katzir-Cohen, 2001). Le lecteur expert lit en moyenne 200 mots par minute, en utilisant des textes qui ne pose pas de soucis de compréhension (ex : textes documentaires ou littéraires).

Pour Kuhn et al. (2010), la fluence possède différentes caractéristiques qui sont la précision, l'automatisme et la prosodie :

- La précision est liée à l'automatisme. Cette dernière se définit comme la mise en œuvre précise, rapide et sans effort des traitements utilisés lors de la lecture de texte. La pratique répétitive de la lecture développe sa précision et son automatisme. En effet, l'enfant apprend d'abord les correspondances entre les graphèmes et les phonèmes puis lira les syllabes, les morphèmes, et enfin les mots. L'entraînement de cette succession d'étapes permet à la lecture de devenir rapide et précise.
- La prosodie est composée de la hauteur (fréquence fondamentale), de l'intensité (amplitude) et des pauses entre les mots (marquant le rythme et le flux de la lecture). Le développement de la prosodie s'effectue lorsque le décodage est automatique et que l'enfant sait reconnaître les mots correctement (Schwanenflugel et al., 2004).

Chez les faibles lecteurs ou les enfants dyslexiques, nous retrouvons des difficultés de fluence caractérisées par une lecture lente, hésitante et laborieuse.

Par ailleurs, il est également admis que la fluidité influence les compétences en compréhension car une lecture précise, rapide, automatique et expressive permet de libérer des ressources attentionnelles pour construire le sens du texte.

La compréhension en lecture de texte dépend de plusieurs éléments tels que les capacités de décodage, de vitesse et de la fluence de lecture. Si ces composants sont altérés, la compréhension sera difficile.

Dans ce mémoire, nous nous intéresserons à la fluence lors de la lecture de texte mais nous n'aborderons pas la compréhension.

E. Les mécanismes physiologiques de la lecture

1. La physiologie de l'œil

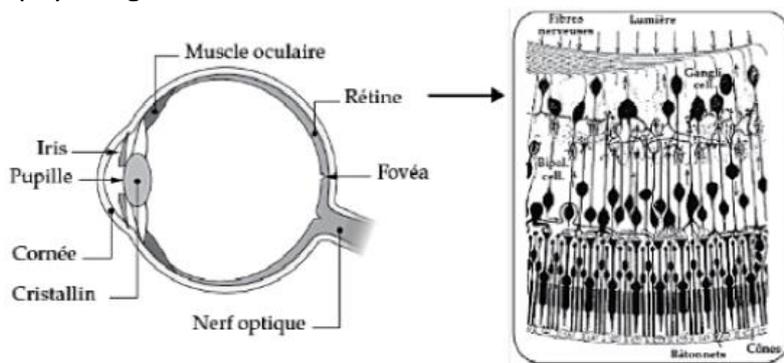


Figure 3 : Schéma de l'œil et coupe transversale de la rétine montrant les cônes et les bâtonnets (Adapté de Gregory, 1990)

Schéma tiré du livre « La lecture numérique » (Baccino et Draï-Zerbib, 2015)

La lumière entre dans l'œil par la pupille dont l'ouverture est contrôlée par l'iris en fonction de la quantité de lumière captée. Derrière l'iris se trouve le cristallin qui a une fonction d'accommodation, c'est-à-dire qu'il ajuste la vue par rapport à la distance de l'objet. La lumière arrivant à la rétine (la couche de tissu la plus interne de l'œil) va transférer au système nerveux des informations par le nerf optique. Parmi les différents types de cellules nerveuses inclus dans la rétine, on distingue deux types de récepteurs : les bâtonnets et les cônes. Ces cellules réceptrices sont sensibles à l'énergie lumineuse et vont la convertir en impulsions électriques. Par la suite, ces informations codées vont être transmises aux aires occipitales par le nerf optique. Ces récepteurs ont des degrés différents de sensibilité à la lumière :

- Les **cônes** (se trouvant dans la fovéa, au centre de la rétine) : sont moins sensibles aux variations de luminosité mais ils sont utilisés pour la vision des couleurs et de jour. Le champ récepteur est donc limité mais précis ;
- Les **bâtonnets** (situés en périphérie de la rétine) : sont plus sensibles aux variations de luminosité et sont davantage utilisés la nuit car ils captent les nuances de gris. Ainsi, le champ récepteur est plus large donc la précision diminue.

Hubel et Wiesel (1979) ont montré l'existence de neurones « détecteurs de traits » qui répondent à des propriétés spatiales d'une information visuelle, comme le mouvement ou la direction de mouvement. Dans les couches inférieures des aires visuelles, certains traits de l'image sont sélectionnés par les cellules neuronales. Ensuite, on observe une convergence de

l'information visuelle, c'est-à-dire que les traits se combinent dans les couches supérieures pour former une image unique. Pour la lecture, la reconnaissance de lettres alphabétiques est basée sur la détection des traits qui les constituent (traits horizontaux, verticaux, obliques) (Baccino et Draï-Zerbib, 2015). Ces différents traits sont stockés en mémoire et sont activés dans la lecture dans le but de reconnaître les différentes lettres qui composent le mot.

Les informations visuelles de la rétine sont transmises au cortex par deux voies spécifiques. La séparation des informations visuelles commence à la rétine mais elle se réalise principalement au niveau du noyau géniculé latéral qui est constitué d'une couche ventrale (magnocellules : grandes cellules) et d'une couche dorsale (parvocellules : petites cellules). Les informations visuelles sont donc traitées à partir des systèmes magnocellulaires et parvo-cellulaires :

- Le **système magnocellulaire** s'occupe du mouvement, des informations de faible fréquence spatiale et des informations de haute fréquence temporelle. Il possède une sensibilité à traiter l'apparition soudaine de stimuli durant une courte période (ex : clignotement) et leur déplacement (vitesse de mouvement), particulièrement pour les stimuli de faibles contrastes. De même, le traitement des informations se réalise principalement en vision périphérique ;
- Le **système parvo-cellulaire** s'occupe des stimuli stables en vision centrale et est sensible aux fréquences spatiales élevées et aux fréquences temporelles basses. Il traite certaines caractéristiques des objets (ex : la forme, la texture, la couleur) dans le but de les identifier.

Ainsi, le système parvo-cellulaire répond de manière tonique (continue) aux stimulations tandis que le système magnocellulaire y répond de manière phasique (brève) (Baccino et Draï-Zerbib, 2015 ; Casalis et al., 2018). Dans ce mémoire, nous nous intéresserons au système magnocellulaire car il peut être atteint chez certaines personnes dyslexiques.

Il existe un lien entre les déficits du système magnocellulaire et les difficultés en lecture. Lors de la lecture, les capacités visuelles sont d'abord sollicitées. Les capacités du système magnocellulaire, intervenant dans le traitement rapide des stimuli visuels brefs, influencent la mobilité des images rétiniennes des mots et l'enchaînement rapide des informations visuelles lors de la lecture. Les enfants dyslexiques peuvent avoir un dysfonctionnement du système magnocellulaire, altérant la détection des stimuli rapides (Martin & Lovegrove, 1987). On

observe également une diminution de la sensibilité aux faibles contrastes possédant une haute fréquence temporelle ou une faible fréquence spatiale, et au mouvement (Boden et Giaschi, 2007). Stein et Folwer (1981) énoncent que les fixations oculaires deviennent instables et provoquent des difficultés lors de la lecture. Des confusions visuelles pourraient survenir à la suite de cette déficience (Stein, Richardson, & Fowler, 2000). Au niveau anatomique, on remarque que la taille des neurones au niveau des couches magnocellulaires du noyau géniculé latéral est diminuée de plus de 20% (Livingstone, Rosen, Drislane, & Galaburda, 1991). En revanche, le traitement des stimuli visuels statiques par le système parvo-cellulaire n'est pas atteint chez les enfants dyslexiques. Ces données soutiennent donc l'hypothèse de la théorie magnocellulaire.

En définitive, une sous-population de personnes dyslexiques présenterait un trouble visuel magnocellulaire. Selon les estimations des différents auteurs, le pourcentage varie de 12% (Ramus et al., 2003) à 75% (Lovegrove et al., 1986).

2. Le mouvement des yeux

Les mouvements oculaires sont importants dans la lecture d'un texte car ils permettent au lecteur de saisir des informations et d'activer les traitements cognitifs liés à la compréhension du texte. Le mouvement des yeux est permanent. En effet, même si nos yeux fixent une image ou un point, ils effectuent des micro-mouvements oculaires appelés « nystagmus ». Ces micro-saccades ont pour rôle une réactivation régulière de l'image sur les récepteurs rétiniens afin de ne pas suspendre l'émission des signaux lumineux vers le cerveau (Baccino et Draiz-Zerbib, 2015). Par ailleurs, le clignement des yeux est un mouvement inconscient, comme les micro-saccades. Ces deux derniers ont la capacité de restaurer l'image visuelle (Martinez-Conde, MacKnick & Hubel, 2000).

Dans la lecture, le déplacement des yeux se réalise par des « saccades » et est marqué par des « fixations ». Les saccades oculaires sont définies comme des petits sauts (ou mouvements des yeux) très rapides et ayant une courte durée. En moyenne, les saccades avec un angle visuel de 2° durent 30 ms (Abrams, Meyer & Kornblum, 1989). D'un autre côté, les fixations sont des pauses entre les saccades et durent en moyenne 200 à 300 ms. Comme nous l'avons vu précédemment, la fovéa (au centre de la rétine) est composée principalement de

cônes et elle est définie par une forte acuité visuelle permettant la perception des détails et des couleurs. Les saccades ont pour fonction de déplacer rapidement la fovéa sur de nouveaux stimuli visuels. L'acuité visuelle diminue dans la région périphérique de la rétine et ne permet pas une discrimination fine des objets ou une reconnaissance précise des lettres et des mots (Baccino et Draï-Zerbib, 2015). Néanmoins, cette zone est utile pour le guidage attentionnel du regard et le pré-traitement des mots (Kennedy, 2000). La vision fovéale a une sensibilité à la lumière plus importante et la vision fovéale est caractérisée par une acuité visuelle plus fine.

3. Empan visuel

Comme nous l'avons vu précédemment, notre système visuel a la capacité de percevoir les caractéristiques physiques des lettres mais il est aussi capable d'extraire une information visuelle lors de chaque fixation. La position des caractères sur la rétine va influencer notre compétence à reconnaître des lettres et des mots. En effet, les lettres sont mieux reconnues lorsqu'elles sont situées au niveau de la fovéa car cette zone possède une bonne acuité visuelle. Cependant, lorsqu'on s'éloigne du centre de la rétine, la détection des lettres diminue. Il est donc intéressant de se questionner sur la quantité d'informations pouvant être captée en une seule fixation (Baccino et Draï-Zerbib, 2015).

La notion d'« empan visuel » fait référence à la région du champ visuel (se trouvant autour du point de fixation) à l'intérieur de laquelle s'effectue la reconnaissance des lettres; (O'Regan, 1990). Cela renvoie donc au nombre de lettres que le lecteur peut percevoir en une fixation oculaire. Le mécanisme oculomoteur de la lecture est constitué d'une succession de saccades qui sont coupées par des périodes de fixations, durant lesquelles on extrait l'information visuelle (Baccino et Draï-Zerbib, 2015). Selon Rayner (1998), la taille moyenne d'une saccade pour la lecture silencieuse est de 8 caractères et de 6 caractères pour la lecture orale. La région fovéale peut percevoir 4 caractères et la région parafovéale (périphérique) 7 caractères. La région périphérique de la fovéa peut distinguer plus de lettres même si l'acuité visuelle est moins précise.

Lors de la lecture, les normo-lecteurs effectuent des saccades courtes de gauche à droite, entrecoupées de fixations, et parfois des régressions de droite à gauche (Olitsky et Nelson, 2003). En revanche, les enfants dyslexiques réalisent un nombre élevé de saccades oculaires,

des fixations plus longues et un nombre plus important de régressions par rapport aux enfants normo-lecteurs (Bellocchi et al., 2013). L'étude de Rello et Baeza-Yates (2017), qui a comparé des enfants et des adultes dyslexiques à des normo-lecteurs espagnols, a montré des temps de lecture et des durées de fixation plus longs pour les enfants dyslexiques. En revanche, on observe des temps de fixation plus court lorsqu'on augmente la taille de la police d'écriture.

II. La dyslexie développementale

A. Définition

Selon le DSM-V (Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders), la dyslexie développementale est définie comme un trouble spécifique de l'apprentissage du langage écrit, affectant la capacité à reconnaître des mots de façon précise et rapide. Elle se manifeste chez des enfants ne présentant pas de déficience intellectuelle ($QI > 85$) et de déficit neurologique ou sensoriel (auditif ou visuel) associés. Elle ne résulte pas non plus d'un trouble psychoaffectif, d'un manque d'opportunité éducative, de motivation ou d'intérêt. Les critères diagnostiques stipulent que l'enfant doit présenter au moins un retard de 18 mois dans les compétences de lecture lors de l'évaluation via des tests standardisés, interférant de manière significative la réussite et les activités de la vie quotidienne. Ce trouble aurait une base neurobiologique (Ramus, 2004 ; Lyon et al., 2003) et serait sous-tendu par un déficit de nature phonologique (Snowling, 2000 ; Ramus, 2003).

La dyslexie peut avoir des conséquences secondaires comme des difficultés en compréhension écrite ainsi qu'un développement insuffisant du vocabulaire et des connaissances à la suite d'une limitation des expériences de lecture (Lyon et al., 2003). En effet, lorsqu'un enfant débute l'apprentissage de la lecture (6 ans), il augmente son vocabulaire et ses connaissances sur le monde. Toutefois, ce développement est altéré si l'enfant possède de faibles compétences en lecture. Par ailleurs, Shaywitz (2003) montre que le temps de lecture par jour est plus élevé chez les bons lecteurs par rapport aux faibles lecteurs donc ils lisent un plus grand nombre de mots, créant un décalage entre ces deux populations.

Ce trouble touche 6 à 8% des enfants francophones (Sprenger-Charolles & Collé, 2003). Il persiste dans le temps et nous retrouvons ces difficultés à l'âge adulte.

Il est important de remarquer que des enfants ayant des difficultés lors de l'acquisition de la lecture peuvent être des enfants dyslexiques ou de mauvais lecteurs. Ils se distinguent par leur origine : les enfants dyslexiques ont un trouble neurologique tandis que les difficultés rencontrées par les mauvais lecteurs sont dues à des facteurs sociologiques ou linguistiques (ex : une faible maîtrise de la langue due à un contexte de bilinguisme, un environnement social défavorisé et peu stimulant, une scolarisation non régulière) (Casalis et al., 2018).

B. Les théories explicatives de la dyslexie

La dyslexie développementale est un trouble qui se manifeste par différents déficits. Plusieurs théories se sont développées ces dernières années afin d'apporter des explications sur ce trouble de la lecture, telles que la théorie auditive, phonologique, magnocellulaire et cérébelleuse. Néanmoins, la dyslexie est expliquée principalement par la théorie phonologique et la théorie magnocellulaire générale à l'heure actuelle.

Dans cette partie, nous aborderons d'abord les différents types de dyslexies. Puis nous nous focaliserons sur les théories phonologique et magnocellulaire. Et enfin, nous remettrons en question ces deux théories et nous présenterons le modèle phonologique intégratif de Ramus.

1. Le modèle de lecture à double voies de lecture (Coltheart, 1978)

Rappelons que le modèle de lecture à deux voies est composé de deux procédures de lecture : la voie d'adressage pour la lecture de mots familiers (mots réguliers et irréguliers), ainsi que la voie d'assemblage pour la lecture de mots réguliers et de non-mots.

En cas de dysfonctionnement de ces procédures de lecture, les troubles sont dissociés car les difficultés sont spécifiques à chaque voie de lecture. Nous distinguons la dyslexie de surface, la dyslexie phonologique et la dyslexie profonde :

- 1) La « **dyslexie phonologique** » (Beauvois et Derouesné, 1979) : est une atteinte spécifique de la voie d'assemblage. Le sujet a des difficultés à lire les non-mots car les mécanismes permettant la correspondance entre les graphèmes et les phonèmes ne

sont pas efficaces. Néanmoins, la lecture des mots familiers (réguliers ou irréguliers) est possible par la voie d'adressage. Le sujet réalisera des erreurs de lexicalisation, c'est-à-dire que la représentation orthographique d'un mot sera activée à cause de sa ressemblance visuelle avec le non-mot (ex : « cricon » lu « citron »).

- 2) La « **dyslexie de surface** » (Marshall et Newcombe, 1973) : est une atteinte spécifique de la voie d'adressage. La lecture des mots irréguliers ne sera pas possible mais le sujet sera capable de lire les non-mots et les mots réguliers par la voie d'assemblage. Le sujet réalisera des erreurs de régularisation pour les mots irréguliers. Il les lira en considérant que leur orthographe est régulière et appliquera les règles de conversion graphème-phonème (ex : « monsieur » dont le « on » et le « ieur » sont prononcés).
- 3) La « **dyslexie profonde** » (Marshall et Newcombe, 1973) : est une atteinte simultanée des deux voies de lecture. Nous observons une combinaison des troubles de ces procédures : des lexicalisations et des régularisations. La lecture de non-mots et de mots irréguliers sera donc difficile.

2. La théorie phonologique

D'après la théorie phonologique, la dyslexie serait causée par un déficit cognitif touchant la représentation et le traitement des sons de la parole. Par conséquent, les difficultés d'acquisition de la lecture dans la dyslexie seraient dues à un dysfonctionnement des représentations phonologiques, qui affectent l'apprentissage et la manipulation des correspondances entre les graphèmes et les phonèmes (Sprenger-Charolles & Colé, 2013). Le faible développement des capacités lors du traitement phonologique a donc des répercussions sur l'apprentissage de la lecture car il altère les capacités de décodage et la construction du lexique orthographique (Norton, Beach, & Gabrieli, 2015).

La théorie phonologique explique la dyslexie à travers trois niveaux (voir le modèle ci-dessous) :

- Au niveau **biologique** : des facteurs génétiques provoqueraient une migration anormale des cellules nerveuses dans les zones corticales périsylviennes gauches, suscitant la création d'anomalies (ectopies, microgyries) (Kaufmann et Galaburda, 1989). Ainsi, cette perturbation provoquerait une interférence au niveau des connexions des neurones et entraverait le développement adéquat des fonctions telles que la lecture.
- Au niveau **cognitif** : ces anomalies engendreraient des déficits phonologiques, en particulier lors de l'établissement des correspondances entre les graphèmes et les phonèmes.
- Au niveau **comportemental** :
 - Les difficultés de correspondance entre les phonèmes et les graphèmes provoqueraient des difficultés d'apprentissage de la lecture ;
 - Les déficits phonologiques entraîneraient de faibles habiletés dans le traitement phonologique pour la dénomination rapide (dénomination lente), mémoire à court terme (faible empan de chiffres), conscience phonologique (contrepèteries difficiles).

Par ailleurs, cette approche de la dyslexie considère les autres déficits (ex : auditifs, visuels, moteurs) souvent décrits dans la dyslexie comme de simples « marqueurs » comorbides, en l'absence de liens causaux avec les troubles de la lecture.

Finalement, cette théorie repose principalement sur des déficits phonologiques mais il serait intéressant d'aborder les autres déficits présents de la dyslexie, comme ceux de la théorie magnocellulaire générale.

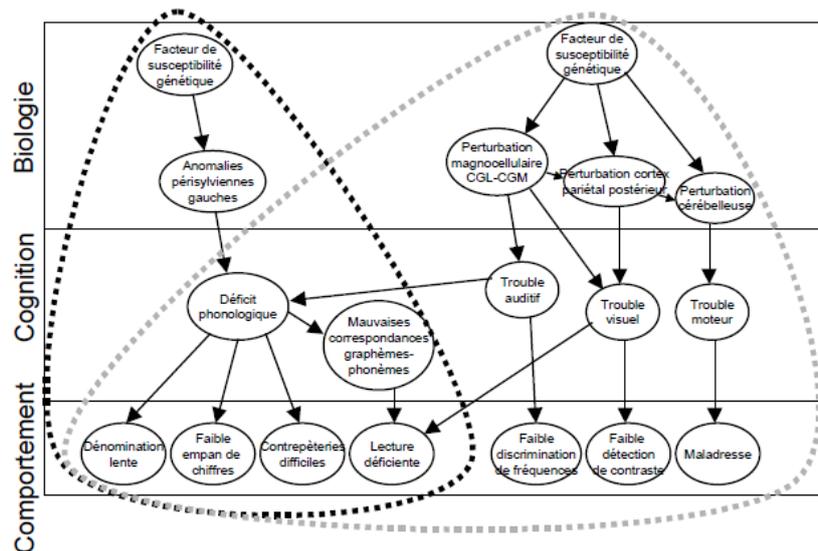


Figure 4: La théorie phonologique (à gauche) et la théorie magnocellulaire générale (à droite)

Schéma extrait de Ramus (2007)

3. La théorie magnocellulaire générale

Cette théorie fusionne différentes théories qui expliquent que la dyslexie serait due à un déficit auditif (Tallal, 1980), à un dysfonctionnement magnocellulaire visuel (Lovegrove et al., 1980) et à un dysfonctionnement cérébelleux/moteur (Nicolson et al., 2001). De manière générale, cette théorie stipule que les troubles d'apprentissage du langage écrit sont principalement causés par des déficits phonologiques et des déficits visuels.

La théorie magnocellulaire générale est basée sur trois niveaux (voir le schéma ci-dessus) :

- Au niveau **biologique** : des facteurs génétiques provoqueraient des altérations magnocellulaires. On relève des anomalies cellulaires au niveau du thalamus chez les sujets dyslexiques dans les couches magnocellulaires du corps genouillé latéral (CGL) et dans le corps genouillé médial (CGM) (Habib, 1997). Par ailleurs, on observe qu'une perturbation magnocellulaire provoque aussi une perturbation du cortex pariétal postérieur, qui à son tour altère les régions cérébelleuses.
- Au niveau **cognitif** : ces anomalies biologiques engendrent des déficits auditifs (dus à une atteinte du CGM), visuels (dus à une atteinte du CGL ou du cortex pariétal

postérieur) et moteurs (dus à une altération cérébelleuse). En revanche, les déficits phonologiques sont secondaires à une atteinte auditive plus générale, contrairement à la théorie phonologique.

- Au niveau **comportemental** :

→ Les déficits visuels altèrent directement l'acquisition de la lecture et sont responsables des difficultés dans des tâches visuelles comme la détection de contraste.

→ Les déficits phonologiques, secondaires à une atteinte auditive, provoquent des difficultés lors de l'établissement des relations entre les graphèmes et les phonèmes, entraînant donc des difficultés d'apprentissage de la lecture.

→ Les déficits phonologiques sont également responsables de faibles habiletés phonologiques (touchant la dénomination rapide, la conscience phonologique et la mémoire à court terme phonologique), comme décrits dans la théorie phonologique.

→ Les déficits moteurs causent quant à eux de faibles habiletés motrices comme la maladresse.

En conclusion, la théorie phonologique stipule que des anomalies périsylvienne gauches seraient à l'origine de déficits phonologiques (reconnaissance et traitement des sons). Tandis que pour la théorie magnocellulaire générale, la dyslexie serait considérée comme un syndrome sensori-moteur général, avec des déficits phonologiques secondaires à une détérioration auditive plus générale. Cependant, ces théories sont critiquables parce que la théorie phonologique n'explique pas la présence fréquente des troubles auditifs, visuels et moteurs chez les sujets dyslexiques même s'ils n'ont pas un lien causal avec la dyslexie. D'un autre côté, la théorie magnocellulaire générale ne montre pas que les enfants dyslexiques puissent avoir des déficits phonologiques en l'absence de déficits visuels, auditifs ou moteurs associés. Par conséquent, il est important de prendre en compte les troubles sensoriels et moteurs car ils sont souvent présents chez les dyslexiques mais leur manifestation est variable d'un individu à l'autre.

Dans la prochaine partie, nous aborderons le modèle intégratif phonologique de Ramus (2004), qui présente une autre approche théorique de la dyslexie et qui prend en compte les différentes remarques citées au-dessus. Il intègre à la fois la théorie phonologique et la théorie magnocellulaire générale dans son modèle.

4. Le modèle phonologique intégratif de Ramus

Selon le modèle de Ramus, la présence des dysfonctionnements magnocellulaires au niveau cérébral chez les sujets dyslexiques pourrait survenir à la suite d'anomalies corticales (Galaburda et al., 1985) et engendrerait directement des altérations phonologiques. D'après la théorie magnocellulaire, les anomalies thalamiques induiraient des ectopies et des microgyries dans les aires corticales. Toutefois, les expériences ci-après montrent plutôt la situation inverse dans certaines circonstances. En effet, des études réalisées sur des rats ont montré que des anomalies corticales (microgyries et ectopies) pouvaient conduire à des anomalies thalamiques, elles-mêmes responsables de déficits sensoriels (Herman, Galaburda, Fitch, Carter & Rosen, 1997). On observe aussi que certaines conditions hormonales (ex : injections de testostérone) conditionnent l'apparition d'anomalies thalamiques et des déficits qui en découlent chez les rats et souris femelles. De plus, on remarque des troubles d'apprentissage chez les rats ayant des anomalies corticales, qu'elles soient génétiquement présentes ou induites chirurgicalement (Balogh, Sherman, Hyde & Denenberg, 1998). Le modèle de Ramus extrapole ces observations à la dyslexie pour expliquer que la présence de ces déficits sensoriels (déficits visuels, auditifs, moteurs) serait indirectement inférée par des anomalies corticales, responsables des déficits phonologiques.

Ramus et al. (2003) ont évalué les capacités phonologiques, visuels, cérébelleuses et auditives de 16 sujets dyslexiques adultes. Les résultats de cette étude montrent des performances déficitaires dans les tâches phonologiques pour tous sujets. Or, les performances dans les autres tâches (non phonologiques) n'étaient pas altérées pour tous les sujets. Par conséquent, ces auteurs estiment que la dyslexie est causée principalement par des déficits phonologiques et qu'elle peut être accompagnée ou non de déficits auditifs, visuels et cérébelleux.

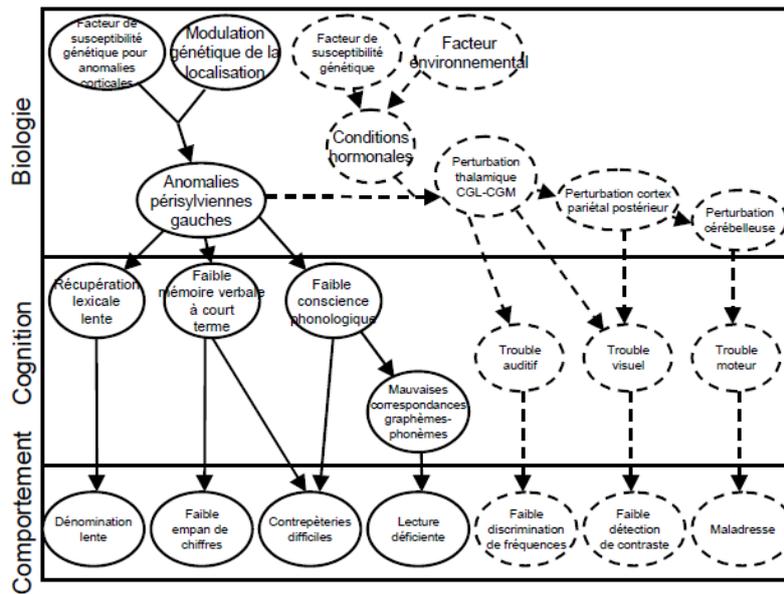


Figure 5 : Modèle phonologique intégratif de Ramus

Schéma tiré de Ramus (2007)

Ce modèle présente trois niveaux :

- Au niveau **biologique** : le modèle s'appuie sur des études neuroanatomiques, comme dans la théorie phonologique, montrant une migration anormale des cellules nerveuses dans les régions périsylvienne gauches due à des facteurs génétiques, et suscitant la formation d'anomalies corticales (microgyries et ectopies) dans ces régions chez les sujets dyslexiques. Ces anomalies corticales peuvent provoquer des anomalies thalamiques dans certaines circonstances hormonales (comme vu précédemment avec la testostérone chez les rats).
- Au niveau **cognitif** : les anomalies corticales engendreraient des déficits phonologiques (lenteur de la récupération lexicale, faible mémoire à court terme, faible conscience phonologique). L'apparition de déficits sensoriels supplémentaires (auditifs, visuels et moteurs) est possible si on observe la présence d'un déficit thalamique. Ce dernier n'est pas présent de manière systématique chez tous les sujets dyslexiques. Ce modèle n'attache pas d'importance au fait qu'une perturbation thalamique soit magnocellulaire ou non. Une perturbation thalamique (du CGL et du CGM) provoquerait des troubles auditifs et visuels. Par ailleurs, le trouble magnocellulaire peut perturber le cortex pariétal postérieur qui à son tour altère le cervelet, expliquant la présence de troubles visuo-spatiaux et moteurs chez certains dyslexiques.

- Au niveau **comportemental** : les conséquences sont semblables à celles proposées dans les théories magnocellulaire et phonologique :
 - Une récupération lexicale lente entrainera une lenteur dans la dénomination.
 - Des faiblesses en mémoire à court terme verbale causeront un faible empan de chiffres et des difficultés pour les contrepèteries.
 - Des faiblesses en conscience phonologique provoqueront aussi des difficultés pour les contrepèteries ainsi qu'une mauvaise correspondance entre les graphèmes et les phonèmes, conduisant à une lecture déficiente.
 - Quant aux troubles sensoriels, chacun d'entre eux mènera à un trouble spécifique : le trouble auditif à des faiblesses en discrimination de fréquences, le trouble visuel à des faiblesses de détection de contrastes et le trouble moteur à une maladresse.

Ce modèle envisage la présence de différents troubles phonologiques (affectant la conscience phonologique, la mémoire à court terme verbale ou la dénomination rapide) et de la variabilité de leurs manifestations en fonction de la localisation ou de la répartition des anomalies corticales. Ces compétences phonologiques activent chacune des zones partielles des réseaux corticaux. De plus, l'existence d'une cooccurrence des troubles est expliquée par la présence des migrations anormales des neurones dans les substrats cérébraux d'une ou de plusieurs fonctions.

III. La lisibilité

A. Définition

Le terme de « lisibilité » (« legibility » en anglais) est employé pour la première fois par Tinker (1964) et réfère aux différents facteurs visuels d'un document pouvant altérer la reconnaissance des mots. Ces facteurs visuels sont : la taille des caractères, la typographie, le contraste des lettres en correspondance avec le fond, l'organisation spatiale des éléments dans un document et le rôle des affichages dynamiques (Baccino et Draï-Zerbib, 2015).

La lisibilité se rapporte donc à la qualité visuelle des lettres et des mots qui influence la reconnaissance des mots. Elle est importante lors de la lecture car la forme graphique du mot est transformée en une représentation lexicale qui permet l'identification du mot. Par ailleurs, la lisibilité fait aussi référence au positionnement des lettres à l'intérieur d'un document et a des effets sur le guidage du regard et l'orientation de l'attention. (Baccino & Draï Zerbib, 2015).

La notion de lisibilité a deux sens et la langue anglaise utilise deux termes pour les différencier : « legibility » et « readability ». La « readability » (Klare, 1969) est une notion plus large de la lisibilité qui intègre les processus de la compréhension, faisant référence aux facteurs stylistiques, à la sélection du vocabulaire et à la compréhension d'un texte lors du rappel des informations lues (Miller & Kintsch, 1980).

Dans ce mémoire, nous n'aborderons pas la compréhension mais nous porterons notre attention sur certains facteurs visuels de la lisibilité : la taille des caractères, les polices d'écriture et l'espacement.

B. L'évaluation d'une lisibilité optimale

Bouma (1980) définit trois critères d'évaluation de la lisibilité optimale :

- 1) **L'acceptabilité** repose sur la comparaison entre la forme de la lettre perçue et la représentation interne de la lettre que le lecteur s'est créée ; le but étant de déterminer si les deux formes correspondent afin de reconnaître la lettre ;
- 2) **La discriminabilité** correspond à la capacité du lecteur à distinguer la lettre du fond du support et fait intervenir la notion de contraste ;
- 3) **La distinctivité** se rapporte à la capacité de différencier les caractères les uns par rapport aux autres selon leur ressemblance visuelle (ex : S-5) et la présence de parties communes (ex : h/n, b/d). Lors de la lecture de phrases, la distinction des lettres est moins importante car la reconnaissance se produit au niveau des mots et non au niveau de la lettre (tiré du livre Baccino et Draï-Zerbib, 2015).

Dans les prochaines parties, nous allons aborder différentes notions : la taille des caractères, l'espacement inter-lettres et inter-lignes ainsi que les polices d'écriture standard et développées pour les enfants dyslexiques.

C. La taille des caractères

Une police d'écriture est constituée de plusieurs éléments :

- Une ligne de base : ligne sur laquelle s'alignent tous les caractères ;
- Une hauteur X : hauteur de l'élément central d'une lettre minuscule (x) ;
- Une ligne ascendante : partie de la lettre minuscule dépassant la hauteur X (b) ;
- Une ligne descendante : partie de la lettre minuscule en dessous de la ligne de base (q) ;
- Une taille du corps : taille entière d'une lettre, distance de la ligne ascendante à la ligne descendante.



Figure 6 : anatomie d'une police d'écriture

Schéma tiré de Legge et Bigelow (2011)

La lisibilité d'une police est meilleure lorsque la hauteur X est élevée que lorsqu'elle est petite (Bernard et al., 2002; Legge & Bigelow, 2011, tiré de Kuster et al. 2017).

Concernant la notion de taille, les typographes font référence à la taille physique d'écriture (exprimée en points) et les chercheurs en science de la vision utilisent plutôt la taille angulaire qui s'exprime en degrés. La mesure de l'angle prend en compte la taille physique de l'écriture ainsi que la distance de visualisation entre le sujet et la cible. En mesurant la taille physique, on peut déterminer le nombre de caractères à placer sur une ligne, une colonne, une page et estimer la taille angulaire des caractères à une certaine distance de visualisation.

La taille de police critique fait référence à la plus petite taille de police permettant une vitesse de lecture maximale chez le lecteur (Legge & Bigelow, 2011). La taille de la hauteur X doit être comprise entre 0,2 à 2° d'angle visuel, mais en dessous de cette marge la vitesse diminue. Les tailles de police les plus adaptées pour les enfants dyslexiques et normo-lecteurs sont de 12 à 14 points car elles sont plus lisibles (Martinet, 2010 ; Bernard et al., 2002).

En diminuant la taille des lettres, l'espacement interlettres devient trop étroit et provoque un effet de crowding (encombrement visuel, notion que nous développerons au point suivant) (Legge & Bigelow, 2011). Ce phénomène entraîne une diminution de la taille de l'empan visuel et augmente le temps d'identification des lettres. Pour rappel, l'empan visuel est la région du champ visuel se trouvant autour du point de fixation et à l'intérieure de laquelle s'effectue la reconnaissance des lettres. Il est important de noter que la taille de l'empan visuel influence la vitesse de lecture et que l'encombrement visuel est un déterminant primaire de la taille de l'empan visuel.

O'Brien, Mansfield et Legge (2005) ont réalisé une étude sur la taille de police critique chez des enfants dyslexiques et non dyslexiques lors d'une tâche de lecture de phrases. Ils ont fait varier 13 niveaux de tailles de police. Cette étude montre que les enfants dyslexiques ont besoin d'une taille de police critique plus élevée que les normo-lecteurs. Les lettres peuvent être mieux reconnues lorsqu'on augmente la taille d'impression des lettres. Toutefois, cette étude ne prend pas en compte l'augmentation de l'espacement interlettres lorsqu'on augmente la taille d'impression.

D. L'espacement inter-lettres

En lecture, les mots sont constitués d'une succession de lettres les unes à côté des autres. L'espacement inter-lettres fait référence à l'espace entre deux graphèmes adjacents (Van den Boer et Hakvoort, 2015).

L'encombrement visuel (« crowding ») est défini comme une altération de la reconnaissance d'une lettre cible en raison de l'interférence des caractéristiques des lettres voisines dans le champ visuel périphérique. L'identification d'une lettre est plus difficile quand les lettres voisines sont proches (Martelli et al. 2009). Ce phénomène perceptuel peut être observé entre

les lettres d'un mot, entre les mots d'une phrase et entre les lignes d'un texte, dû à la proximité des lettres (Casalis et al, 2018). A cause de l'encombrement visuel, les lettres centrales sont moins bien identifiées précisément que les lettres initiales et finales dans une séquence de lettres (Casalis et al. 2018). Afin de réduire ce dernier, une augmentation de l'espacement inter-lettres est conseillée et cela permettrait d'améliorer la vitesse de lecture (Martelli et al. 2009).

Toutefois, l'étude de Yu, Cheung, Legge et Chung (2007) montre qu'un espacement inter-lettres supérieur à un espacement standard diminue la vitesse de lecture chez des personnes tout-venant. Une augmentation de l'espacement inter-lettres a pour effet d'étendre plus loin le texte dans la vision périphérique. Ce phénomène réduit donc l'acuité visuelle et la taille de l'empan visuel (nombre de lettres reconnues avec précision à fixation), entraînant une réduction de la longueur moyenne d'une saccade. Par conséquent, le nombre de lettres reconnues par fixation est moins important et la vitesse de lecture diminue. Ces auteurs affirment que la taille de l'empan visuel et la vitesse de lecture dépendent de l'espacement inter-lettres. De plus, ils soutiennent que l'effet des lettres espacées sur la vitesse de lecture et sur la taille de l'empan visuel est plus important quand la taille des lettres est petite.

Par rapport aux observations précédentes, Chung (2002) propose une explication selon laquelle une augmentation de l'espacement inter-lettres améliore la vitesse de lecture mais ce bénéfice n'est plus observé au-delà d'un certain point critique d'espacement. En effet, un espacement inter-lettres trop agrandi réduit la taille de l'empan visuel et par conséquent diminue la vitesse de lecture. Une augmentation trop importante va réduire l'effet de crowding mais n'améliore cependant pas la vitesse de lecture. Il est donc important de sélectionner un espacement inter-lettres adéquat afin de diminuer l'effet de crowding sans trop réduire la taille de l'empan visuel.

Par ailleurs, l'étude de Van den Boer et Hakvoort (2015) a comparé différents degrés d'espacement inter-lettres (-0.5, 0, 0.5, 1, 1.5, 2 points) sur la précision et la vitesse de lecture chez des lecteurs débutants (2^{ème} année) et plus avancés (4^{ème} année). Ils ont proposé une tâche de lecture de mots unisyllabiques et bisyllabiques, présentés dans la police « *Times New Roman* » en taille 14. Ils ont également évalué l'effet de l'espacement dans un sous-échantillon composé de faibles lecteurs. Les résultats de cette étude ne révèlent aucun bénéfice de l'augmentation de l'espacement sur les performances de lecture chez les lecteurs

débutants et avancés. En revanche, ils ont noté une réduction de la fluidité de lecture lorsque l'espacement inter-lettres est inférieur à 0 point (espacement par défaut). Cette observation est expliquée par un effet d'encombrement visuel. Le groupe des faibles lecteurs a montré des résultats similaires par rapport aux deux autres groupes. Ces auteurs concluent donc qu'un espacement inter-lettres augmenté n'a pas d'effets positifs sur la fluidité de la dénomination de mots.

Ces études réalisées chez les normo-lecteurs montrent des résultats divergents qui peuvent être expliqués par l'adoption d'une méthodologie différente pour chaque étude. L'augmentation de l'espacement inter-lettres n'a pas d'effet voire même altère la fluence de la lecture chez les normo-lecteurs, ce qui n'est pas le cas chez les enfants dyslexiques. En effet, les enfants dyslexiques sont affectés par l'effet d'encombrement visuel lors de la lecture (Martelli et al., 2009) et une augmentation de l'espacement améliorerait leurs performances. Perea et al. (2012) montrent que le temps d'identification des mots est plus court lorsqu'on augmente légèrement l'espacement inter-lettres (+1.2) chez les enfants normo-lecteurs de 2^{ème} et de 4^{ème} année ainsi que chez les enfants dyslexiques. Aussi, la vitesse de lecture d'un texte est améliorée une augmentation légère de l'espace entre les lettres chez les lecteurs dyslexiques (Perea et al., 2012). Augmenter l'espace entre les lettres diminue l'effet d'encombrement et optimise le processus de codage de la position des lettres (Perea et Lupker, 2004), ce qui améliore l'accès lexical.

Zorzi et al. (2012) ont mené une étude portant sur l'impact de la manipulation des espacements inter-lettres sur les performances de lecture. Ils ont sélectionné 34 enfants dyslexiques italiens, 40 enfants dyslexiques français âgés de 8 à 14 ans et un groupe contrôle d'enfants italiens. La tâche proposée est une lecture d'un texte de 24 phrases sur un support papier. Le texte est justifié à gauche, la police utilisée est « *Times New Roman* » et la taille des caractères est de 14 points. Les mots sont séparés de 3 espaces et l'espacement inter-ligne est doublé afin d'assurer la proportionnalité de l'apparence globale du texte. Lors de cette étude, les auteurs ont fait varier l'espacement inter-lettres en créant une condition « normale » (espacement standard) et une condition « espacée » (espacement augmenté de 2,5 points). Cette étude nous fait part de plusieurs résultats :

- Une amélioration des performances de lecture est remarquée dans la condition espacée pour la précision et la rapidité de lecture chez les sujets dyslexiques français

et italiens. Toutefois, les enfants avec un développement typique n'ont pas bénéficié d'une amélioration de leurs performances de lecture.

- Par ailleurs, les performances de lecture des sujets dyslexiques italiens ont également été comparées avec celles des sujets normo-lecteurs plus jeunes dont le niveau de lecture est équivalent. Les résultats révèlent que seuls les sujets dyslexiques italiens ont bénéficié de l'impact de l'espacement. Afin de confirmer l'efficacité de la manipulation de l'espacement, des sujets dyslexiques italiens ont été retestés deux mois plus tard et les résultats se maintiennent dans le temps.
- Les auteurs ont réalisé une seconde expérience avec un nouveau groupe de sujets dyslexiques italiens et ont utilisé deux textes appariés parfaitement (sur le nombre de mots, le nombre de syllabes, la fréquence des mots et la classe grammaticale) afin d'éviter un effet de répétition. Ils ont également doublé l'espacement inter-lignes dans la condition « normale » et dans la condition « espacée ». De nouveau, les sujets dyslexiques réalisent moins d'erreurs et la vitesse de lecture augmente dans la condition « espacée ». Ce résultat montre que l'effet bénéfique de l'espacement est dû à l'augmentation de l'espacement inter-lettres et non à un espacement inter-lignes augmenté.

Notons toutefois que la seconde expérience n'a pas inclus de groupe contrôle, elle comportait uniquement des sujets dyslexiques. De plus, seuls des sujets italiens (et non français) ont été sélectionnés quand leurs performances ont été comparées à celles des sujets plus jeunes de même niveau de lecture et lors de la seconde expérience.

Masulli et al. (2018) ont étudié l'impact de l'espacement et de la taille des caractères sur les mouvements des yeux dans des tâches de lecture de textes. Ils ont comparé un groupe d'enfants dyslexiques âgés de 7 à 12 ans à deux groupes d'enfants normo-lecteurs (l'un apparié sur l'âge de lecture et l'autre sur l'âge chronologique). Les résultats montrent qu'une augmentation de la taille de la police et de l'espacement (2,5 points) diminue la durée des fixations et augmente le nombre et l'amplitude des prosaccades (de gauche à droite) pour tous les groupes d'enfants. Le temps de lecture ne change pas car les enfants réalisent plus de saccades d'une plus grande amplitude. Par ailleurs, les enfants dyslexiques ont une durée de fixation équivalente aux normo-lecteurs dans les conditions où la taille et les caractères sont espacés.

Finalement, l'encombrement visuel est un phénomène altérant la reconnaissance des lettres et menant à des difficultés de lecture. Il affecte davantage les enfants dyslexiques par rapport aux enfants normo-lecteurs de même âge chronologique (Zorzi et al., 2012 ; Martelli et al., 2009). Comme le montrent les études précédentes, une augmentation de l'espacement inter-lettres permettrait d'améliorer les performances de lecture des enfants dyslexiques.

E. L'espacement inter-lignes

Dans la littérature scientifique, peu d'études se sont intéressées aux effets de l'espacement inter-lignes (entre les lignes). Selon Bentley (1921), la lecture d'un texte est plus rapide lorsque l'inter-ligne est supérieure au corps (hauteur de la police) que lorsque l'inter-ligne est équivalente au corps. En augmentant la hauteur de l'inter-ligne, il a observé un gain de vitesse jusqu'à une limite de 8 points, au-delà duquel l'effet s'inversait. Paterson et Tinker (1929) ont obtenu des conclusions similaires mais avec une limite de 4 points au-dessus du corps. Ces observations anciennes ont aidé à construire les recommandations actuelles. En effet, Ambrose et Harris (2008) soutiennent l'importance de paramétrer correctement les inter-lignes et conseillent d'utiliser une inter-ligne légèrement supérieure à la hauteur de la police afin d'améliorer la lisibilité du texte. Le texte semble tassé lorsque l'inter-ligne est au-dessous de la hauteur de la police. Tandis que le texte paraît plus aéré lorsque l'inter-ligne est au-dessus de la hauteur de la police mais l'œil du lecteur est perturbé car il doit faire un saut d'une ligne à l'autre. Des aménagements pédagogiques pour les enfants dyslexiques sont proposés par Martinet (2010). Elle conseille l'utilisation de polices sans empattements (ex : « *Arial* », « *Comic sans MS* »), de taille suffisamment grande (12 ou 14 points) et des inter-lignes pas trop rapprochées (1,5 voire 2 points).

F. Les polices d'écriture standards

Les polices de caractères ont chacune leurs spécificités et varient en fonction de la hauteur, de la largeur et de la courbe des lettres.

1. La présence d'empatement

Les polices d'écriture standards se différencient par la présence d'empatement (sérif). L'empatement fait référence aux petits traits (strokes) situés aux extrémités des lettres.

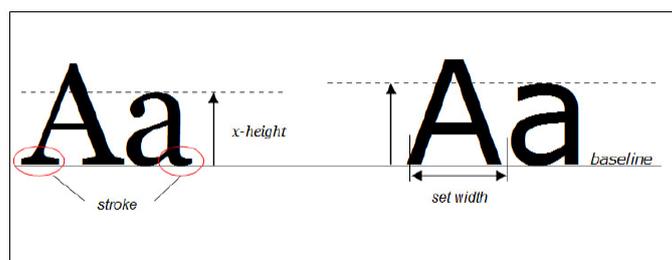


Figure 7 : A) Police avec empattements à gauche B) Police sans empatement à droite

Schéma tiré d'Ali et al. (2013)

Exemples de polices avec empattements	Exemples de polices sans empatement
Times New Roman Cambria Courier New	Arial Calibri Comic Sans MS

L'étude de Bernard, Chaparro, Mills et Halcomb (2002) a comparé les performances et les préférences de lecture de deux polices avec empatement (« *Times New Roman* », « *Courier New* ») et de deux polices sans empatement (« *Arial* », « *Comic Sans ms* ») chez des enfants en primaire. Ils montrent que les polices sans empatement, c'est-à-dire sans enrichissement graphique, sont plus lisibles que les polices avec un empatement car les lettres sont mieux identifiées. De même, Martinet (2010) conseille des polices sans empatement (ex : *Arial*) pour les personnes dyslexiques. L'utilisation d'une police avec un empatement trop large, trop épais ou peu habituel diminue la lisibilité (Baccino et Draï-Zerbib, 2015). Les enfants préfèrent également les polices sans empatement (« *Arial* » et « *Comic Sans ms* ») aux polices avec empattements (« *Times New Roman* » et « *Courier New* ») (Bernard et al. 2002).

2. Polices à espacement fixe ou proportionnel

On différencie aussi les polices par rapport au type d'espacement des caractères. Une police avec un espacement fixe (ex : « *Courier* ») a des caractères qui occupent la même quantité d'espace à l'horizontal. Tandis que dans une police proportionnelle (ex : « *Arial* », « *Times New Roman* »), les espacements ont des largeurs différentes selon les lettres (par exemple : la lettre « m » est environ trois fois plus large que la lettre « i » dans la police « *Times New Roman* ») (Legge & Bigelow, 2011).

3. Polices romaines ou italiques

Les polices romaines ont des caractères droits (ex : « *Arial* »). Les polices italiques ont des caractères inclinés vers la droite (ex : « *Arial It* »).

Rello et Baeza-Yates (2013) ont évalué l'impact de 12 polices d'écriture sur les performances de lecture de textes (temps de lecture et durée des fixations) chez des sujets dyslexiques âgés de 11 à 50 ans avec l'utilisation de « l'eye-tracking » (suivi de l'œil). Ils recommandent l'utilisation des polices monospaces, sans empattement et romaines pour les personnes dyslexiques. En effet, ils observent des durées de fixations significativement plus courtes mais ne remarquent pas de différences significatives pour le temps de lecture. Toutefois, la durée de lecture pour les polices en italique est plus longue que pour les polices romaines, montrant que la lecture des lettres cursives est plus difficile pour les sujets dyslexiques. Ils concluent donc que les polices monospaces, sans empattement et romaines améliorent les performances de lecture.

G. Les polices d'écriture développées pour les personnes dyslexiques

Dans cette partie, nous aborderons différentes polices qui ont été conçues spécifiquement pour les personnes dyslexiques : « *Opendyslexic* », « *Easyreading* » et « *Dyslexie* ». Selon les concepteurs de ces polices, les caractères ont une forme spécifique qui permettrait de diminuer les confusions et les inversions de lettres lors de la lecture chez les sujets

dyslexiques. Dans le cas où ces polices amélioreraient les performances de lecture chez les enfants dyslexiques, elles pourraient être proposées comme aménagement.

1. La police « *Opendyslexic* »

La police « *Opendyslexic* » a été créée par Gonzalez en 2012. Elle est gratuite et libre d'accès sur internet. On observe : une épaisseur plus importante au bas des lettres, un espacement interlettres un peu plus large, une inclinaison ainsi qu'une forme unique pour chaque lettre. Ces différentes caractéristiques ont été développées pour augmenter la distinction et l'identification des lettres. Par exemple, les lettres « b » et « d » sont des lettres miroirs qui possèdent la même forme mais la police « *Opendyslexic* » va accentuer la discrimination de ces deux lettres.

Exemple en taille 18 points : (*Arial*) **b d** vs **b d** (*Opendyslexic*)



Figure 8 : Police « *Opendyslexic* »

Plusieurs études ont testé l'utilisation de cette police lors de la lecture :

- Rello et Baeza-Yates (2013) ont comparé 12 polices différentes dont « *Opendyslexic* » et « *Opendyslexic Italic* » chez des personnes dyslexiques de 11 à 50 ans avec une tâche de lecture de textes. Ces deux polices n'ont pas amélioré la vitesse de lecture de manière significative. Elles n'ont pas d'effets négatifs ou positifs sur la lisibilité.
- L'étude de Zikl et al. (2015) a comparé les polices « *Opendyslexic* » et « *Arial* » lors d'une lecture de texte chez des enfants dyslexiques et normo-lecteurs de République Tchèque. Les résultats montrent que les élèves dyslexiques lisent moins rapidement et réalisent plus d'erreurs que les enfants typiques, indépendamment de la police utilisée. De plus, la police « *Opendyslexic* » n'a pas amélioré de manière significative la vitesse de lecture et le taux d'erreurs chez les enfants dyslexiques même si on observe

de légers progrès. Certains élèves ont préféré la lisibilité de la police « *Opendyslexic* » à celle d'« *Arial* ». De ce fait, il est probable que ces personnes trouvent cette police plus adaptée pour eux.

- Dans l'étude de Wery et Diliberto (2017), la police « *Opendyslexic* » a été comparée aux polices « *Arial* » et « *Times New Roman* » dans des tâches de lecture (de lettres, de mots et de non-mots) chez des enfants dyslexiques américains. Les résultats ont montré que l'utilisation de la police « *Opendyslexic* » n'apportait pas d'amélioration de la précision et de la vitesse de lecture chez les dyslexiques par rapport aux polices « *Arial* » et « *Times New Roman* ». De plus, ils ont également observé qu'il n'y avait pas de différence significative entre les polices « *Arial* » et « *Times New Roman* ».

Pour conclure, les résultats de ces études montrent que l'utilisation de la police « *Opendyslexic* » n'améliore ni la rapidité ni la précision de lecture.

2. La police « *Dyslexie* »

Boer (2008) a créé la police « *Dyslexie* » dans le but de faciliter la distinction des lettres (Marinus et al., 2016). Contrairement à la police « *Opendyslexic* », cette police est payante. Elle est caractérisée par une épaisseur supplémentaire au bas des lettres, des formes différentes pour chaque lettre, une ouverture élargie des lettres, des espacements entre les lettres et les mots plus larges, une inclinaison des lettres, une hauteur plus grande et variée des lettres, une hauteur X plus haute.



Figure 10 : La police « *Dyslexie* »

Plusieurs études ont évalué l'impact de cette police sur les performances de lecture. En effet, De Leeuw (2010) a comparé la police « *Dyslexie* » à la police « *Arial* » chez des enfants dyslexiques et normo-lecteurs. Les résultats montrent que la police « *Dyslexie* » n'améliore ni la précision ni la rapidité de lecture de manière significative chez les enfants dyslexiques lors de la lecture de mots et de non-mots. De même, Kuster, van Weerdenburg, Gompel, Bosman (2017) ont comparé dans leur étude 3 polices : « *Arial* », « *Times New Roman* » et « *Dyslexie* »

chez des enfants dyslexiques et normo-lecteurs. Les résultats montrent que la précision et la rapidité lors de la lecture de mots et de textes ne sont pas meilleures, quelle que soit la police utilisée chez les enfants possédant ou non une dyslexie. De plus, la police « *Arial* » était préférée à la police « *Dyslexie* » pour la lecture de texte chez les personnes dyslexiques et la police « *Dyslexie* » a été la moins appréciée au niveau de la lecture des mots pour les enfants avec ou sans dyslexie.

Gianotten (2014a, 2015) stipule que la hauteur X de la police « *Dyslexie* » n'est pas plus grande que celles des autres polices (« *Arial* » et « *Times New Roman* »), ce qui explique que la lecture avec cette police n'est pas forcément plus rapide ou plus précise qu'avec la police « *Arial* ». (tiré de Kuster et al., 2017).

Marinus et al. (2016) ont évalué la fluence de lecture (à partir de textes) chez des faibles lecteurs (« *low-progress readers* ») en faisant varier l'espacement de la police « *Arial* » par rapport à la police « *Dyslexie* ». Le nombre de mots correctement lus par minute est plus élevé avec la police « *Dyslexie* » dans la condition où les deux polices sont appariées uniquement sur la taille. Puis, lorsqu'on apparie les paramètres d'espacement (inter-lettres et inter-mots) des deux polices, on remarque que la lecture avec la police « *Dyslexie* » n'est pas plus rapide que la lecture avec la police « *Arial* ». Ils concluent donc que l'effet bénéfique de la police « *Dyslexie* » est dû à ses paramètres d'espacement et non à la forme spécifique des lettres.

Boer (2015) affirme que les lettres de la police « *Dyslexie* » sont davantage différentes les unes des autres que celles des autres polices existantes. L'utilisation d'une police où les lettres sont distinctes peut être bénéfique pour les enfants débutant la lecture ou pour les enfants dyslexiques (Pohlen, 2009). Rappelons que selon la théorie du déficit phonologique, les lecteurs avec de faibles compétences en lecture ont des difficultés lors de l'acquisition des relations entre les lettres et les sons (Snowling, 2000). Si on présente des lettres bien distinctes visuellement, l'apprentissage des relations graphèmes-phonèmes sera plus rapide. De plus, la précision de lecture est meilleure chez des lecteurs novices avec l'utilisation de lettres bien distinctes (Wilkins, Cleave, Grayson et Wilson, 2009). Cependant, des polices nécessitant davantage d'attention ne rendent pas forcément le texte plus lisible, car le lecteur doit focaliser son attention à la fois sur le contenu du texte et la forme des lettres (Williams, 2001). Marinus et al. (2016) affirment que les lettres de la police « *Dyslexie* » sont moins distinctes visuellement que les lettres de la police « *Arial* ». Ceci est expliqué par la présence d'une

épaisseur plus importante au bas des lettres de la police « *Dyslexie* » alors que l'épaisseur des lettres est uniformisée pour la police « *Arial* ».

3. La police « *EasyReading* »

La police « *EasyReading* » a été conçue par Manzoni (Bachmann & Mengheri, 2018) et est caractérisée par un design simple. Certains caractères comportent des empattements afin de mieux discerner des lettres qui ont des formes similaires, alors que d'autres lettres n'en possèdent pas car il n'y a pas de confusion possible avec d'autres lettres. Aussi, on observe que les espacements entre les lettres et entre les mots sont larges.



Figure 9 : Police « *EasyReading* »

L'étude de Bachmann et Mengheri (2018) a comparé l'utilisation des polices « *EasyReading* » et « *Times New Roman* » sur les performances de lecture (texte, mots et non-mots) chez des enfants dyslexiques, des enfants normo-lecteurs, des enfants avec des difficultés de lecture et des enfants avec des difficultés cognitives italiens. Les résultats montrent une amélioration de la fluence et de la précision de lecture pour tous les groupes d'enfants avec la police « *EasyReading* ». Toutefois, cette police est comparée avec une police possédant des empattements, réduisant donc l'espace entre les lettres. Nous ne savons donc pas si son effet bénéfique est dû à sa forme et/ou à son espacement plus grand que « *Times New Roman* ». Il aurait été intéressant d'inclure des polices sans empattement (ex : « *Arial* ») et de faire varier l'espacement de différentes polices. Il faut donc considérer cette étude et ces résultats avec prudence.

L'étude plus récente de Galliussi et al. (2020) n'a pas obtenu les mêmes résultats que Marinus et al. (2016). Ils ont comparé les performances de lecture de texte chez des enfants dyslexiques et normo-lecteurs italiens en secondaire. Ils ont utilisé une police standard (ressemblant à « *Verdana* ») et une police créée pour l'étude qui possède les

caractéristiques d'une police pour les enfants dyslexiques (similaire à « *EasyReading* »). Dans cette étude, les espacements inter-lettres et inter-mots ont été examinés indépendamment. Ils ont utilisé deux types d'espacement : un espacement par défaut et un espacement élargi (0.98 points entre les lettres et 3.78 points entre les mots). Les résultats montrent que la forme de la police n'a pas eu d'impact sur les performances de lecture. On observe aussi une diminution de la vitesse de lecture pour les deux groupes dans la condition avec un espacement inter-lettres augmenté et un espacement inter-mots par défaut car il est difficile de segmenter la phrase en mots. Par ailleurs, les espacements élargis n'ont pas amélioré les performances de lecture. Cette absence d'effet peut être expliquée par l'utilisation d'un espacement insuffisamment grand et par l'âge des enfants (étant en secondaire). Pour rappel, Zorzi et al. (2012) ont sélectionné des enfants en primaire dans leur étude. Ils ont aussi utilisé un espacement inter-lettres plus grand (2,5 points) que celui de Galliussi et al. (2020). L'effet bénéfique de l'espacement interviendrait uniquement chez les enfants en primaire lors de l'acquisition de la lecture et ne serait plus utile en secondaire (Bachmann, 2013, tiré de Galliussi et al, 2020).

Finalement, les polices « *Opendyslexic* », « *Dyslexie* » et « *EasyReading* », initialement créées pour les enfants dyslexiques, ont la particularité d'avoir des formes spécifiques mais elles n'améliorent ni la précision ni la rapidité de lecture des enfants dyslexiques. Comme le soulignent Marinus et al. (2016), il est davantage conseillé d'augmenter les espacements entre les lettres et entre les mots pour améliorer les performances de lecture des enfants dyslexiques.

IV. L'empan visuo-attentionnel

A. Evaluation

Pour évaluer l'empan visuo-attentionnel, on emploie généralement des tâches de report global et partiel des lettres. Un point de fixation est affiché au centre de l'écran pendant une seconde et est suivi par un écran blanc d'une durée de 500ms ; ensuite une séquence de consonnes apparaît durant un temps très court (égal ou inférieur à 200ms) au centre de l'écran, pour éviter les mouvements oculaires.

Dans le cas du report global, on demande à l'enfant de nommer toutes les lettres de la séquence présentées rapidement au centre de l'écran, selon l'ordre de son choix. Cette épreuve a pour but de mesurer la quantité d'informations extraites durant une exposition visuelle rapide et perçues dans la mémoire visuelle à court terme.

Concernant l'épreuve de report partiel, l'enfant ne doit nommer qu'une seule lettre de la séquence dont la position est indiquée par un indice visuel (ex : une barre) apparaissant après que la séquence a disparu. Cette tâche mesure les capacités de traitement des informations avant de les perdre en mémoire iconique. La tâche de report partiel implique qu'une seule lettre soit nommée et cette épreuve est proposée car elle fait moins intervenir les capacités de mémoire à court phonologique par rapport à l'épreuve de report global.

Afin d'éviter le phénomène d'encombrement visuel, les stimuli présents dans les séquences sont assez espacés. L'épreuve de report global est peu affectée par la mémoire à court terme verbale (Scarborough, 1972). Les types d'erreurs dans ces deux tâches se rapportent davantage à des confusions visuelles que verbales (Wolford, 1975). Une forte corrélation est observée entre les tâches de report global et partiel (Lassus-Sangosse, N'Guyen-Morel et Valdois, 2008). Par conséquent, ces deux épreuves évaluent l'aptitude de traiter plusieurs éléments d'une séquence de manière simultanée. Elles sont également utilisées pour mesurer la fenêtre visuo-attentionnelle (Lassus-Sangosse et al., 2008 ; Prado et al., 2007).

Ces deux épreuves sont complétées par une épreuve d'identification de lettres isolées, afin d'exclure la possibilité d'un trouble de la reconnaissance des stimuli isolés. On peut diagnostiquer un déficit de l'empan visuo-attentionnel si on observe des résultats anormalement faibles dans les deux épreuves de reports, nécessitant un traitement simultané de toutes les lettres, et des résultats dans la norme pour l'épreuve d'identification de lettres isolées. Les épreuves sont adaptées en fonction de l'âge des enfants en modifiant le nombre de stimuli à traiter (Valdois, Guinet, Embs, 2014). Une variation de la taille de l'empan visuo-attentionnel s'observe de la maternelle à l'âge adulte mais n'excède pas quatre ou cinq items bien identifiés simultanément dans le meilleur des cas.

Les performances de report global et partiel font intervenir l'identification rapide des lettres individuelles et la répartition de l'attention visuelle sur la séquence de lettres. Mais des

difficultés au niveau de l'empan visuo-attentionnel conduisent à un faible niveau de lecture et ne dépendent pas de la capacité à traiter des lettres individuelles.

B. Dissociation des troubles de l'empan visuo-attentionnel et phonologiques

Il a longtemps été admis que la dyslexie développementale résulte principalement d'un trouble phonologique (Ramus et al., 2003). Cependant, la population dyslexique est hétérogène et certains individus ne présentent pas de déficit phonologique.

On retrouve une dissociation fréquente entre les capacités d'empan visuo-attentionnel et les compétences phonologiques. En effet, certains enfants dyslexiques ont un trouble de l'empan visuo-attentionnel en l'absence de trouble phonologique (Valdois et al., 2003 ; Valdois et al., 2011). Alors que d'autres ont le profil inverse : un trouble phonologique sans trouble de l'empan visuo-attentionnel (Lallier et al., 2010 ; Valdois et al., 2003).

Bosse, Tainturier et Valdois (2007) ont réalisé deux études, la première avec 68 enfants dyslexiques francophones et 55 enfants normo-lecteurs (appariés sur l'âge chronologique) et la deuxième avec 29 dyslexiques anglophones et 23 enfants normo-lecteurs (appariés eux aussi sur l'âge chronologique). Ils devaient réaliser des tâches de lecture (mots réguliers, irréguliers et de non-mots), de conscience phonologique et visuo-attentionnel (report global et partiel de lettres). Ces deux études mettent en avant l'indépendance des deux troubles. On remarque la présence d'un trouble isolé (phonologique ou visuo-attentionnel) ou d'un double déficit chez les enfants dyslexiques francophones et anglophones. Ils ont montré que les performances de lecture sont corrélées aux capacités d'empan visuo-attentionnel, indépendamment des compétences phonologiques. Ils supposent qu'un déficit phonologique ou visuo-attentionnel contribue de manière indépendante au profil de la dyslexie développementale.

La dissociation de ces deux troubles s'explique également au niveau neurobiologique. En effet, Lobier et al. (2013) ont relevé une sous-activation bilatérale des régions pariétales supérieures chez des adultes dyslexiques ayant un trouble de l'empan visuo-attentionnel. Ces régions sont impliquées dans les traitements attentionnels et ils observent une altération lors du traitement simultané d'éléments visuels verbalisables et non verbalisables. Par ailleurs, Peyrin

et al. (2012) ont réalisé une étude avec deux adultes dyslexiques. Ils ont montré que celui ayant uniquement un trouble de l'empan visuo-attentionnel a une sous-activation des régions pariétales supérieures, alors que celui possédant uniquement un trouble phonologique a une sous-activation des régions périsylviennes gauches. L'activation différente de ces régions corticales démontre une indépendance de ces deux troubles.

C. Une réduction de la fenêtre visuo-attentionnelle

Selon le modèle MTM (Ans, Carbonnel et Valdois, 1998), plus la fenêtre attentionnelle est grande, plus le nombre de lettres pouvant être traitées simultanément augmente. Ainsi, il est possible de traiter des unités orthographiques plus grandes que la lettre, comme les graphèmes ou les syllabes (Bosse et al., 2007; Valdois et al., 2004).

Chez certains enfants dyslexiques, une diminution de la fenêtre visuo-attentionnelle est observée en l'absence de troubles phonologiques (Dubois et al., 2010). Ce trouble de l'empan visuo-attentionnel entraîne une diminution du nombre de lettres pouvant être reconnues en parallèle. Prado, Dubois & Valdois (2007) ont montré une augmentation du nombre de fixations oculaires chez des enfants dyslexiques français lorsque les capacités d'empan visuo-attentionnel sont diminuées. On relève différents profils de troubles en fonction du degré d'atteinte de la fenêtre visuo-attentionnelle (Valdois et al., 2004 ; Bosse et al., 2007):

- Une **dyslexie développementale de surface** : une diminution modérée de la fenêtre visuo-attentionnelle altère la création des traces des mots dans la mémoire à long terme. Par conséquent, le traitement global de la lecture est affecté. La lecture de mots irréguliers est altérée au niveau de la précision (ex : erreurs de régularisation) et de la vitesse de lecture. En effet, il est nécessaire de répandre l'attention sur toute la séquence orthographique des mots irréguliers pour enlever leur prononciation ambiguë. Néanmoins, la lecture de mots réguliers et de non-mots ne devrait pas être affectée car l'empan visuo-attentionnel reste assez grand pour le traitement parallèle des lettres de la majorité des graphèmes.

- Une **dyslexie développementale mixte** : une altération de l'empan visuo-attentionnel assez sévère affecte le traitement analytique car le nombre de lettres reconnues est réduit et le déplacement d'une unité orthographique à une autre est altérée. L'acquisition des traces des segments sous-lexicaux en mémoire est entravée. Par exemple, une fenêtre à une seule lettre affecte le traitement des digraphes (« CH ») ou des trigraphes (« EAU ») et entraîne des erreurs de segmentation graphémique (ex : « teau » lu « té/o) (Zoubrinetzky et al., 2014). Par conséquent, la lecture des mots réguliers et irréguliers ainsi que des non-mots se révèle être difficile.

Le modèle MTM (Ans, Carbonnel et Valdois, 1998) prend également en compte l'influence des compétences phonologiques sur le traitement analytique. De ce fait, un déficit phonologique, altérant l'apprentissage des connaissances sous-lexicales et/ou le maintien des informations phonologiques en mémoire à court terme verbale, peut entraver le bon fonctionnement du traitement analytique. La lecture de non-mots est donc endommagée et on observe un profil de **dyslexie développementale phonologique**.

Objectifs et Hypothèses

Ce projet de recherche constitue la continuité de deux mémoires réalisés en 2019. Le premier porte sur « L'impact des polices de caractères pour dyslexiques sur la fluence en lecture », rédigé par Tiffany Regnier (2019). Il met en évidence que les polices développées pour les personnes dyslexiques n'améliorent ni la précision ni la rapidité de lecture chez les personnes dyslexiques. Le second mémoire porte sur « L'Etude des effets des espacements inter-lignes et inter-lettres sur la qualité de la lecture sur écran chez les enfants dyslexiques et normo-lecteurs », réalisé par Juliette Rivoire (2019). Ce dernier met en évidence que ni la vitesse ni la précision de lecture ne sont influencées par une modification de l'espacement inter-lignes et inter-lettres que ce soit chez des enfants dyslexiques et normo-lecteurs. En résumé, ces deux mémoires ont montré une absence d'amélioration des performances de lecture en manipulant la police d'écriture ainsi que les espacements inter-lettres et inter-lignes. Dans le prolongement de la discussion amorcée au terme de ces deux mémoires, nous nous sommes posés la question de savoir si cette absence d'effet pouvait être liée à une charge inattendue sur l'empan visuo-attentionnel. En d'autres termes, l'augmentation de l'espacement entre les caractères peut-elle réduire la taille de l'empan visuel et gêner les lecteurs plus que de les aider ?

Masulli et al. (2018) évoque l'existence d'un lien éventuel entre l'effet de l'encombrement visuel et les faibles capacités attentionnelles chez des enfants dyslexiques. Les capacités d'attention visuelle peuvent influencer le décodage phonologique. Une diminution de l'effet de l'encombrement peut s'observer avec les capacités d'attention lorsqu'on améliore la précision de l'identification de la cible. Toutefois, des enfants dyslexiques peuvent posséder de faibles capacités d'attention (Facoetti et al., 2003), affectant la bonne identification des mots. Nous pouvons supposer qu'une augmentation de l'espacement inter-lettres est certainement insuffisante pour compenser entièrement un trouble de l'empan visuo-attentionnel, même si elle permet une réduction de l'encombrement visuel.

Des aménagements tels qu'une police d'écriture spécifique ou l'augmentation de l'espacement inter-lettres, peuvent-ils améliorer les performances de lecture (rapidité et précision) de mots et de textes chez des enfants mauvais lecteurs et dyslexiques possédant ou non un trouble de l'empan visuo-attentionnel ?

A la suite de la crise sanitaire « Covid-19 », les testings commencés ont dû être interrompus. Ainsi, ce mémoire a été réorienté en une revue de question avec une proposition de deux méthodologies. Nous présenterons par la suite les objectifs et les hypothèses propre à chaque méthodologie.

A) Méthodologie 1

Cette première étude a pour objectif d'étudier l'impact de la manipulation des espacements inter-lettres et des polices d'écriture sur la précision et la rapidité de lecture (de mots, non-mots et textes), en prenant en compte la variable de l'empan visuo-attentionnel.

Rappelons que les enfants dyslexiques sont souvent impactés par l'encombrement visuel, ce qui provoque une altération de la reconnaissance des lettres lorsque les lettres voisines sont proches. (Martelli et al, 2009). Zorzi et al. (2012) ont montré une amélioration de la précision et de la rapidité lors de la lecture de texte avec un espacement inter-lettres de 2,5 points chez les enfants dyslexiques, réduisant ainsi l'effet d'encombrement visuel. Ils ont employé une police de taille 14 et ont justifié le texte à gauche. Ils ont également fait attention à ce que l'espacement inter-lignes des textes soit les mêmes. Martinet (2010) conseille même une inter-ligne de 1,5 à 2 points.

Concernant les polices d'écriture, il est recommandé d'utiliser des polices sans empattement (ex : « *Arial* ») pour les enfants dyslexiques car elles sont plus lisibles, contrairement aux polices avec empattements (Martinet, 2010). Des polices spécifiques pour les enfants dyslexiques ont été conçues. Gonzalez (2012) a créé la police « *Opendyslexic* » dans le but de diminuer les confusions et les inversions de lettres des enfants dyslexiques. Elle est gratuite et libre d'accès par rapport aux autres polices pour les enfants dyslexiques (ex : « *Dyslexie* », « *EasyReading* »).

Dans la littérature scientifique, des études se sont intéressées à l'encombrement visuel et ont évalué l'impact de la police d'écriture et de l'espacement inter-lettres sur les performances de lecture des enfants dyslexiques. Toutefois, elles n'ont pas pris en compte les capacités d'empan visuo-attentionnel. Pourtant, il est possible de rencontrer des enfants dyslexiques avec un trouble de l'empan visuo-attentionnel. Il serait intéressant de voir s'ils sont également

impactés par l'encombrement visuel et s'ils peuvent tirer profit ou non d'une police d'écriture spécifique et d'un espacement inter-lettres augmenté.

L'étude de Bosse, Tainturier et Valdois (2007) montre l'indépendance des troubles phonologiques et des déficits visuo-attentionnels. Ils ont observé chez les enfants dyslexiques la présence d'un trouble phonologique isolé, d'un trouble de l'empan visuo-attentionnel isolé et d'un double déficit (phonologique et de l'empan visuo-attentionnel). Les enfants dyslexiques présentant un trouble de l'empan visuo-attentionnel ont une fenêtre visuo-attentionnelle réduite, provoquant une diminution du nombre de lettres pouvant être reconnues en parallèle. Chez ces enfants, une augmentation de l'espacement inter-lettres pourrait altérer la reconnaissance des mots. Le nombre de lettres identifiées en parallèle est déjà réduit à la base et les lettres constituant les mots seraient davantage étendues dans la vision périphérique. Il est donc possible que seuls les enfants dyslexiques avec un trouble phonologique isolé puissent tirer profit d'un espacement inter-lettres augmenté.

Concernant les enfants normo-lecteurs, Yu, Cheung, Legge et Chung (2007) ont mis en évidence qu'une augmentation trop importante de l'espacement inter-lettres pouvait diminuer la vitesse de lecture car les mots sont étendus plus loin dans la vision périphérique. L'acuité visuelle et l'empan visuel sont donc diminués.

Zikl, Bartošová, Víšková et al (2015) ont montré que la police « Opendyslexic » n'impactait pas les performances de lecture des enfants normo-lecteurs.

Nous souhaitons tester plusieurs hypothèses :

1. L'augmentation de l'espacement inter-lettres et l'utilisation de la police spécifique pour enfants dyslexiques (« *Opendyslexic* ») amélioreront la rapidité et la précision de lecture de mots et de textes chez les enfants mauvais lecteurs et dyslexiques présentant un trouble phonologique isolé. Nous supposons que ces enfants bénéficieront davantage de l'espacement inter-lettres de 2,5 points sauf entre les digraphes que de l'espacement inter-lettres de 2,5 points pour tous les graphèmes.
2. L'augmentation de l'espacement inter-lettres et l'utilisation de la police spécifique pour enfants dyslexiques (« *Opendyslexic* ») impacteront négativement la rapidité et la précision de lecture de mots et de textes chez les enfants mauvais lecteurs et

dyslexiques présentant uniquement des difficultés d'empan visuo-attentionnel. Nous supposons qu'un espacement inter-lettres de 2,5 points sauf entre les digraphes donnera de meilleurs résultats que l'espacement inter-lettres de 2,5 points pour tous les graphèmes, même si cela n'est pas significatif.

3. L'augmentation de l'espacement inter-lettres et l'utilisation de police spécifique pour enfants dyslexiques (« *Opendyslexic* ») impacteront négativement la rapidité et la précision de lecture de mots et de textes chez les enfants mauvais lecteurs et dyslexiques présentant un double déficit (empan visuo-attentionnel et phonologique). Nous supposons qu'un espacement inter-lettres de 2,5 points sauf entre les digraphes donnera de meilleurs résultats que l'espacement inter-lettres de 2,5 points pour tous les graphèmes, même si cela n'est pas significatif.
4. L'augmentation de l'espacement inter-lettres et l'utilisation de la police spécifique pour enfants dyslexiques (« *Opendyslexic* ») n'amélioreront ni la rapidité ni la précision de lecture de mots et de textes des enfants tout-venant. Les résultats resteront inchangés et nous n'observerons pas de différences dans les performances avec l'utilisation de la police « *Opendyslexic* ». Il est possible d'observer deux effets au niveau de la vitesse de lecture: soit une vitesse non impactée, soit une vitesse diminuée dans les deux conditions où l'espacement inter-lettres est augmenté.

B) Méthodologie 2

Cette deuxième étude a pour objectif de déterminer si une modification de l'espacement inter-lettres peut améliorer ou impacter la précision et la rapidité de lecture de mots et de textes chez des enfants mauvais lecteurs et dyslexiques présentant ou non un trouble de l'empan visuo-attentionnel.

Les enfants dyslexiques sont souvent impactés par l'effet d'encombrement visuel, engendrant une altération de la reconnaissance des lettres lorsque les lettres voisines sont trop proches (Martelli et al, 2009). Cependant, de légères augmentations de l'espacement inter-lettres permettent d'améliorer le temps d'identification des mots des enfants dyslexiques et des enfants normo-lecteurs en 4^{ème} année, comme vu précédemment dans l'étude de Perea et al.

(2012). De même, la précision et la rapidité de lecture sont améliorées chez les enfants dyslexiques avec un espacement de 2,5 points entre les lettres (Zorzi et al. 2012).

Cependant, Yu, Cheung, Legge et Chung (2007) ont relevé une diminution de la vitesse de lecture avec l'utilisation d'un espacement inter-lettres trop augmenté chez les enfants normo-lecteurs. Les lettres espacées se répandent plus loin dans le champ visuel périphérique, diminuant l'acuité visuelle et le nombre de lettres reconnues à chaque fixation. L'espacement inter-lettres influence donc la taille de l'empan visuel et la vitesse de lecture. Chung (2002) énonce également qu'au-delà d'un certain point critique d'espacement, les enfants ne tirent plus profit des bénéfices d'un espacement augmenté même si l'effet d'encombrement visuel est diminué.

La notion d'encombrement visuel et l'impact de l'augmentation de l'espacement inter-lettres sur les performances de lecture des enfants dyslexiques ont fait l'objet de nombreuses études. Or, ces études n'ont pas mesuré les capacités visuo-attentionnelles de ces enfants alors qu'il est possible de rencontrer des enfants dyslexiques avec un trouble de l'empan visuo-attentionnel. D'où l'intérêt d'étudier l'impact de l'encombrement visuel ainsi que des polices d'écriture et de l'espacement inter-lettres sur les performances de lecture de ces enfants.

Selon Bosse, Tainturier et Valdois (2007), les troubles phonologiques se dissocient des troubles d'empan visuo-attentionnel. Chez les enfants dyslexiques, ils observent différents déficits : un trouble phonologique isolé, un trouble de l'empan visuo-attentionnel isolé et un double déficit (phonologique et de l'empan visuo-attentionnel). Le trouble d'empan visuo-attentionnel est caractérisé par une diminution de la fenêtre visuo-attentionnelle. Un espacement inter-lettres trop important pourrait nuire à l'identification des mots. En effet, le nombre de lettres reconnues en parallèle est déjà diminuée et les lettres composant les mots seraient davantage étendues dans le champ visuel périphérique.

Finalement, il serait donc intéressant de faire varier différents espacements inter-lettres, afin de déterminer celui qui est le mieux adapté pour les enfants dyslexiques présentant ou non un trouble de l'empan visuo-attentionnel. La conception de cette méthodologie s'est basée sur les études de Van den Boer et Hakvoort (2015) et de Zorzi et al. (2012), que nous détaillerons plus précisément dans la partie « Méthodologie 2 ». Il est possible que de légères augmentations de l'espacement inter-lettres diminuent l'encombrement visuel chez les

enfants dyslexiques avec un trouble de l'empan visuo-attentionnel et améliorent leurs performances de lecture. Toutefois, un espacement inter-lettres de 2,5 points pourrait être bénéfique uniquement pour les enfants dyslexiques avec un trouble phonologique isolé.

Nous souhaitons tester plusieurs hypothèses :

- 1) De petites augmentations de l'espacement inter-lettres et un espacement de 2,5 points amélioreront la précision et la rapidité de lecture de mots et de textes chez les enfants mauvais lecteurs et dyslexiques présentant uniquement un trouble phonologique isolé.
- 2) De petites augmentations de l'espacement inter-lettres et un espacement de 2,5 points auront des effets différents sur la précision et la rapidité de lecture de mots et de textes chez les enfants mauvais lecteurs et dyslexiques présentant uniquement un trouble de l'empan visuo-attentionnel. Il est possible que de petites augmentations de l'espacement inter-lettres puissent améliorer les performances de lecture alors qu'un espacement inter-lettres de 2,5 points altère les performances de lecture.
- 3) De petites augmentations de l'espacement inter-lettres et un espacement de 2,5 points auront des effets différents sur la précision et la rapidité de lecture de mots et de textes chez les enfants mauvais lecteurs et dyslexiques présentant un double déficit (phonologique et de l'empan visuo-attentionnel). Il est possible que de petites augmentations de l'espacement inter-lettres puissent améliorer les performances de lecture alors qu'un espacement inter-lettres de 2,5 points altère les performances de lecture.
- 4) De petites augmentations de l'espacement inter-lettres et un espacement de 2,5 auront des effets différents sur la précision et la rapidité de lecture de mots et de textes chez les enfants normo-lecteurs. Une augmentation légère de l'espacement inter-lettres pourraient améliorer le temps de lecture alors qu'un espacement inter-lettres de 2,5 points pourrait diminuer le temps de lecture.

Méthodologie

Dans cette partie, nous détaillerons les critères de sélection des participants et le matériel choisi. Puis nous présenterons les deux méthodologies :

- la première, que j'avais construite initialement, porte sur la manipulation de la police d'écriture et de l'espacement entre les lettres
- la seconde repose uniquement sur la manipulation de l'espacement inter-lettres.

Les deux méthodologies ne se succèdent pas et sont indépendantes l'une de l'autre. Elles ne doivent pas nécessairement être réalisées avec les mêmes enfants car nous utilisons les mêmes épreuves.

La population et les types d'épreuves sont les mêmes pour les deux méthodologies.

I. Les participants

A) La constitution des groupes

Dans ces études expérimentales, nous avons sélectionné des enfants scolarisés en 4^{ème} Primaire/ CM1 issus de différents milieux socio-économiques, dans le but d'obtenir un échantillon hétérogène. En fonction des résultats obtenus aux tests, nous espérons obtenir 4 groupes de sujets, que nous détaillerons par la suite.

Chaque groupe comporte au minimum 20 sujets afin d'assurer une validité statistique.

B) Les critères de sélection

L'appariement des groupes a été effectué sur la base des scores obtenus aux épreuves préliminaires :

- De lecture de texte pour connaître le niveau de lecture (Alouette-R, Lefavrais, 2005)
- D'empan visuo-attentionnel (EVADYS, 2014)
- De conscience phonologique (B.A.L.E, Jacquier-Roux et al., 2010)
- De mémoire à court terme phonologique (B.A.L.E, Jacquier-Roux et al., 2010)
- De dénomination rapide automatisée (B.A.L.E, Jacquier-Roux et al., 2010)
- De comparaison de séquences de lettres (B.A.L.E, Jacquier-Roux et al., 2010)

Ces différentes épreuves sont décrites ci-après dans la partie « matériel ».

Bosse, Tainturier et Valdois (2007) ont mis en évidence l'indépendance des troubles phonologique et de l'empan visuo-attentionnel. Nous souhaitons donc former quatre groupes :

- « TP » : enfants faibles lecteurs et dyslexiques avec un trouble phonologique isolé
- « TE » : enfants faibles lecteurs et dyslexiques présentant un trouble de l'empan visuo-attentionnel isolé
- « DD » : enfants faibles lecteurs et dyslexiques avec un double déficit (empan visuo-attentionnel et phonologique)
- « NL » : enfants normo-lecteurs

Nous avons sélectionné le terme d'enfants « dyslexiques et de faibles lecteurs » sachant que tous les enfants n'ont pas reçu un diagnostic de dyslexie par une logopède.

Concernant l'épreuve de l'Alouette-R (Lefavrais, 2005), les enfants dyslexiques doivent obtenir un niveau de lecture de 2^{ème} Primaire (CE1), les faibles lecteurs un niveau de lecture de 3^{ème} Primaire (CE2) et les normo-lecteurs un niveau de lecture de 4^{ème} Primaire (CM1).

Pour les épreuves d'empan visuo-attentionnel (report global et report partiel), les enfants dyslexiques des groupes « TE » et « DD » doivent obtenir des scores déficitaires pour ces deux épreuves, et les faibles lecteurs des scores faibles. Les enfants des groupes « TP » et « NL » doivent avoir des scores dans la norme.

Concernant les épreuves de conscience phonologique, les enfants dyslexiques des groupes « TP » et « DD » doivent obtenir des scores déficitaires, mais nous tolérons un score faible. Les faibles lecteurs de ces derniers groupes doivent obtenir des scores faibles. Les enfants des groupes « TE » et « NL » doivent avoir des scores dans la norme.

Pour les épreuves de la mémoire à court terme verbale, les enfants dyslexiques des groupes « TP » et « DD » doivent obtenir des scores déficitaires, mais nous tolérons un score faible. Les faibles lecteurs de ces deux derniers groupes doivent obtenir des scores faibles. Les enfants des groupes « TE » et « NL » doivent avoir des scores dans la norme.

En ce qui concerne les épreuves de dénomination rapide automatisée, les enfants dyslexiques des groupes « TP », « TE » et « DD » doivent obtenir des scores déficitaires, mais nous tolérons

un score faible. Les faibles lecteurs de ces derniers groupes doivent obtenir des scores faibles. Les enfants du groupe « NL » doivent avoir des scores dans la norme.

Concernant l'épreuve de comparaison de séquences de lettres, les enfants dyslexiques des groupes « TP », « TE » et « DD » doivent obtenir un score déficitaire ou faible. Les faibles lecteurs de ces derniers groupes doivent obtenir des scores faibles. Les enfants des groupes « NL » doivent avoir des scores dans la norme.

C) Le recrutement des sujets

Plusieurs modalités de recrutement des participants ont été prévues. En effet, nous avons eu l'autorisation de publier des annonces sur les réseaux sociaux, de contacter des logopèdes par mail ou par téléphone, de faire du bouche à oreille dans notre entourage et de contacter les directeurs des écoles primaires ordinaires par mail et par téléphone. Nous pouvons également recruter des enfants en France et en Belgique. Le recrutement de la majorité des enfants se réalise principalement dans les écoles primaires car il est plus facile de trouver des participants par cette modalité de recrutement. Avec l'accord du directeur, les documents du comité d'éthique sont distribués dans les classes de 4^{ème} primaire et sont transmis aux parents par les enfants. Ces documents comprennent une lettre d'information expliquant les objectifs de l'étude, un formulaire d'information au volontaire, une anamnèse à remplir, et un formulaire de consentement que le parent doit remplir afin d'approuver la participation de son enfant à l'étude. Les enfants doivent également remplir un formulaire de consentement. Pour les logopèdes, les démarches sont les mêmes que pour les directeurs.

D) Les critères d'inclusion et d'exclusion

Pour les groupes d'enfants dyslexiques et des faibles lecteurs :

Critères d'inclusion	Critères d'exclusion
-un diagnostic de dyslexie pour les enfants dyslexiques	-avoir des scores supérieurs à -1 ET dans les différentes épreuves préliminaires
-un suivi ou non par une logopède	-un quotient intellectuel en-dessous de la norme
-être scolarisé en 4 ^{ème} Primaire	-la présence d'un trouble du langage oral
-avoir une vision correcte ou corrigée qui n'altère pas la lecture.	-un contexte de bilinguisme

Pour les enfants normo-lecteurs :

Critères d'inclusion	Critères d'exclusion
-ne pas être suivi par une logopède -être un scolarisé en 4 ^{ème} Primaire -avoir une vision correcte ou corrigée n'altérant pas la lecture.	-des scores inférieurs à -1 ET dans les différentes épreuves préliminaires -un quotient intellectuel en-dessous de la norme -la présence d'un trouble du langage oral -un contexte de bilinguisme

II. Le matériel

Dans une première partie, nous détaillerons les épreuves standardisées, évaluant le niveau de lecture (Alouette-R) et les prérequis du langage écrit (la conscience phonologique, la dénomination rapide automatisée, la mémoire à court terme et l'empan visuo-attentionnel). Par la suite, nous présenterons les épreuves expérimentales, composées de tâches de lecture (de mots réguliers, irréguliers, de non-mots et de textes) et d'un questionnaire. Dans ces différentes épreuves, nous avons fait varier les espacements inter-lettres et la police d'écriture. L'ensemble de ces différentes épreuves doivent être administrer de manière aléatoire.

A) Les épreuves standardisées

1) Le niveau de lecture : Alouette -R

L'Alouette-R (Lefavrais, 2005) est une épreuve de lecture de texte à voix haute et chronométrée qui permet de déterminer le niveau de lecture des enfants. On demande à l'enfant de lire un texte de 265 mots en un temps maximal de 3 minutes. Ce texte est dénué de sens et comporte certains mots assez rares, incitant l'enfant à utiliser la voie d'assemblage pour les décoder. Les résultats sont comparés à des normes pour établir le niveau de lecture de l'enfant. On mesure la vitesse et la précision de lecture. On prend en compte le nombre total de mots lus ainsi que le nombre de mots correctement lus. Un score en dessous de -2 écarts-types fait référence à la population dyslexique, un score entre -1 et -2 écarts-types aux faibles lecteurs, et un score supérieur à -1 écart-type aux normo-lecteurs.

2) Les tests prédicteurs de lecture

La dénomination rapide automatisée

La dénomination rapide automatisée est mesurée avec la dénomination rapide d'images et la dénomination rapide de voyelles de la B.A.L.E (Batterie Analytique du Langage Ecrit, Jacquier-Roux et al., 2010).

- Dans l'épreuve de **dénomination rapide d'images**, on présente à l'enfant une feuille avec 25 images successives réparties sur 5 lignes. Après s'être assuré que l'enfant connaît le nom des images en lui présentant les 5 premières (Raison-Chapeau-Couteau-Lapin-Ciseau), on lui demande de nommer le plus vite possible les images suivantes en suivant le sens de la lecture. On enregistre le temps et on relève les éventuelles erreurs.
- Pour l'épreuve de **dénomination rapide de voyelles**, le principe est le même. On présente à l'enfant une feuille avec 25 voyelles successives réparties sur 5 lignes. Après s'être assuré que l'enfant connaît le nom des cinq premières voyelles (A-I-U-O-E), on lui demande de nommer le plus vite possible les voyelles suivantes en suivant le sens de lecture. On relève le temps de lecture ainsi que les éventuelles erreurs.

Les épreuves de conscience phonologique

La conscience phonologique est évaluée à travers différentes épreuves : les rimes, la suppression syllabique, la segmentation phonémique et la suppression de phonème initial et final. Ces épreuves sont issues de la Batterie Analytique du Langage Ecrit (B.A.L.E, Jacquier-Roux et al., 2010).

- Dans l'épreuve de **rimes**, on explique d'abord à l'enfant que la rime est le dernier son qu'on entend à la fin du mot. Puis on énonce deux mots et on lui demande s'ils riment ensemble ou pas. Par exemple : « Hamac et Tabac, est-ce que ça rime ? ». Cette tâche est composée de 16 items. On attribue 1 point par item réussi.
- Dans l'épreuve de **suppression syllabique**, on énonce un mot puis on demande à l'enfant de supprimer une syllabe dans le mot (la 1^{ère}, la 2^{ème} ou la 3^{ème} syllabe) et de nous dire ce qu'il reste (par exemple : pour « patinoire », si tu enlèves « ti », il reste ?). Cette tâche est constituée de 12 items dont 1 point est accordé par item réussi.

- Pour l'épreuve de **segmentation phonémique**, on énonce un mot à l'enfant puis on lui demande de découper un mot en nous disant tous les petits sons qu'il entend (exemple : Jouet = J-OU-ET). Cette tâche comporte 8 items et on attribue 1 point par item réussi.
- Pour l'épreuve de **suppression de phonème initial ou final**, on énonce un mot à l'enfant, puis on lui demande de supprimer le premier ou le dernier son et de dire ce qu'il reste (exemple : pour « cane », si on enlève « c », il reste ?). Cette tâche comporte 20 items, dont 10 items où il supprime le premier son et 10 items où il supprime le dernier son. On accorde 1 point par item réussi.

Ces quatre épreuves permettent d'évaluer la capacité de l'enfant à identifier et à manipuler des sons (= phonèmes), des syllabes et des rimes de la langue française.

La mémoire à court terme

La mémoire à court terme est évaluée à travers trois épreuves : l'empan de chiffres endroit, l'empan de chiffres envers et l'empan de mots de la B.A.L.E (Batterie Analytique du Langage Ecrit, Jacquier-Roux et al., 2010).

- Pour l'épreuve d'**empan de chiffres endroit**, on énonce des suites croissantes de chiffres (2 à 7 chiffres) et l'enfant doit les répéter dans le même ordre. On arrête la tâche lorsque l'enfant échoue à deux suites différentes du même nombre de chiffres. On relève le nombre de chiffres de la plus longue suite énoncée par l'enfant.
- Pour l'épreuve d'**empan de chiffres envers**, on énonce des suites croissantes de chiffres (2 à 7 chiffres) et l'enfant doit répéter la suite de chiffres à l'envers. On arrête la tâche lorsque l'enfant échoue à deux suites différentes du même nombre de chiffres. On relève le nombre de chiffres de la plus longue suite énoncée par l'enfant.
- Pour l'épreuve d'**empan de mots**, on énonce des séries croissantes de mots (2 à 4 mots) et on demande à l'enfant de répéter ces séries de mots dans le même ordre. On relève le nombre de mots de la plus longue suite énoncée par l'enfant.

L'épreuve visuelle

- Dans l'épreuve de **comparaison de séquences de lettres**, on présente deux suites de lettres et l'enfant doit nous dire si elles sont pareilles ou différentes. Cette épreuve comporte 20 séquences de 2 suites et on accorde 1 point pour chaque séquence réussie. Le temps est également relevé.

Les épreuves d'empan visuo-attentionnel :

Les compétences d'empan visuo-attentionnel sont évaluées avec trois épreuves de l'EVADYS (Evaluation de l'empan visuo-attentionnel en contexte dyslexique, 2014) : le report global de lettres, le report partiel de lettres et l'identification de lettres

- Pour l'épreuve de **report global**, un point de fixation est tout d'abord affiché au centre de l'écran. Ensuite, une séquence de cinq consonnes apparaît à l'écran puis disparaît très rapidement (ex : PSFHT). L'enfant doit nommer toutes les lettres qu'il a vues après qu'elles ont disparu. Cette tâche est constituée de 20 séquences de 5 lettres (100 lettres au total). Pour le score, on reprend le nombre total de lettres correctement identifiées, indépendamment de la position.
- Pour l'épreuve de **report partiel**, un point de fixation est d'abord affiché au centre de l'écran. Par la suite, une séquence de cinq lettres apparaît au centre de l'écran et disparaît rapidement pour laisser place à une barre verticale en-dessous de l'une des lettres. L'enfant doit nommer la lettre qui se trouvait au-dessus de la barre. Cette tâche comprend 50 essais successifs. Le score reprend le nombre total de lettres (n=50) bien identifiées par barre sur 50 essais.
- Dans l'épreuve d'**identification de lettres**, un point de fixation s'affiche d'abord sur l'écran. Par la suite, une consonne est présentée au centre de l'écran pendant 33 à 100ms. Cette lettre est suivie d'un masque (3 flocons de neige) restant 150 ms à l'écran. L'enfant doit nommer la consonne après la disparition masque. Dans cette tâche, 50 consonnes sont présentées à des temps différents et on relève le temps minimal d'affichage pour lequel l'enfant a obtenu plus de 80% de bonnes réponse.

B) Le matériel expérimental

Le matériel expérimental est composé de tâches de lecture de mots réguliers, de mots irréguliers, de non-mots et de textes.

• Lecture de mots et de non-mots

Nous avons construit les tâches de lecture en sélectionnant 24 mots dans la base de données Manulex (normes CE2-CM2), incluant 12 mots réguliers et 12 mots irréguliers. Manulex est une base de données lexicales, regroupant les fréquences d'occurrence d'1,9 millions de mots pour trois niveaux (CP, CE1, CE2-CM2). Par ailleurs, nous avons choisi 12 non-mots provenant de la B.A.L.E (Batterie Analytique du Langage Ecrit, Jacquier-Roux et al., 2010).

Les mots irréguliers ont été appariés avec les mots réguliers et les non-mots par rapport à :

- la fréquence (fréquents, peu fréquents)
- la longueur (nombre de syllabes : 1 ou 2 syllabes)
- la présence de digraphes (avec digraphes, sans digraphe)

Mots et non-mots fréquents :

	Mots irréguliers	Mots réguliers	Non-mots
Avec digraphes	Compter (485)	Pousser (485)	Bondeuse
	Doigt (307)	Prince (317)	Sande
	Automne (108)	Courage (111)	Taubage
Sans digraphe	Femme (477)	Patte (441)	Sule
	Hiver (268)	Départ (245)	Givor
	Corps (215)	Sable (214)	Trane

Mots et non-mots peu fréquents :

	Mots irréguliers	Mots réguliers	Non-mots
Avec digraphes	Poêle (50)	Poire (52)	Plour
	Orchestre (46)	Contact (46)	Rigende
	Soixante (21)	Rocheux (21)	Aivron
Sans digraphe	Galop (40)	Total (38)	Torac
	Porc (33)	Litre (33)	Stipe
	Tabac (22)	Pétale (22)	Pisal

Les fréquences des mots réguliers et irréguliers, relevées dans la base de données Manulex, sont indiquées entre parenthèse. Dans la B.A.L.E, les non-mots sont classifiés dans deux tableaux : les non-mots fréquents et les non-mots peu fréquents. Nous avons regroupé les

mots et les non-mots afin de créer deux catégories : les mots et les non-mots fréquents ainsi que les mots et les non-mots peu fréquents.

Nous avons donc trois listes : celle des mots réguliers, celle des mots irréguliers et celle des non-mots. (Voir Annexe 1)

Cotation : Pour chaque liste de mots et de non-mots, nous déterminerons :

- **Le score total** : 1 point est accordé pour chaque item bien lu. Chaque liste est composée de 12 items.
- **Le temps de lecture** : le chronomètre est déclenché lorsque l'enfant commence à lire une liste de mots ou de non-mots.

Cette notation permet d'obtenir des informations sur la précision et la rapidité de lecture des mots et des non-mots.

- **Lecture de textes**

Nous avons repris les 4 textes créés pour le mémoire de Juliette Rivoire (2019). Elle s'est inspirée des textes du matériel « Rééducation cognitive de la lecture 2 » (Bois Parriaud, 2010) et les a modifiés afin qu'ils aient un niveau de complexité semblable. Ces récits ont été appariés au niveau :

- De la consistance graphème-phonème des mots : qui fait référence au pourcentage de transparence des mots dans la lecture et qui dépend des graphies qui les constituent. Elle est supérieure à 80% pour chaque texte et a été contrôlé avec la base de données « Manulex »
- Du nombre de mots et de phrases : chaque texte contient 138 mots et 11 phrases. Le nombre de mots par phrase a également été vérifié
- Du nombre de répétitions de mots : le pourcentage de répétitions de mots dans chaque texte est plus ou moins le même. Exemple de mots répétés : verbes, mots fonctionnels (déterminants, pronoms)

Cotation : pour chaque texte, on mesure la précision, la vitesse de lecture et la fluence :

- **La précision** : fait référence au nombre de mots correctement lus (**MCL**). Elle est calculée en enlevant le nombre d'erreurs ou d'omissions au nombre total de mots lus (**ML**). On ne tient pas compte du temps de lecture.
- **La vitesse** : prend en compte le nombre total de mots lus et le temps de lecture. Elle est calculée par la formule : **(ML x 60)/TL**. Dans ce calcul, on ne tient pas compte des erreurs. On mesure le nombre de mots lus par minute.
- **Le nombre de mots correctement lus par minute (MCLM)**: mesure la précision et la vitesse de lecture. Elle est mesurée avec la formule : **(MCL x 60)/TL**. Ce calcul tient compte des erreurs mais également de la vitesse en rapportant le nombre de mots bien lus par minute.

- **Questionnaire**

Dans le questionnaire, on demande à l'enfant d'évaluer sur une échelle de 1 à 10 ses préférences et le niveau de facilité de lecture des mots et des textes, dans les quatre conditions proposées par chaque méthodologie :

- Méthodologie 1 : « *Arial* » et espacement inter-lettres par défaut ; « *Arial* » et espacement inter-lettres de 2,5 points ; « *Arial* » et espacement inter-lettres de 2,5 points sauf pour les digraphes ; « *Opendyslexic* » et espacement inter-lettres par défaut
- Méthodologie 2 (avec « *Arial* »): Espacement inter-lettres par défaut, Espacement inter-lettres d' 1 point, Espacement inter-lettres de 2 points, Espacement inter-lettres de 2,5 points.

III. Méthodologie 1

A) Elaboration des tâches expérimentales

Toutes les tâches énoncées dans la partie « Matériel » seront administrées.

Nous discuterons ci-dessous de l'élaboration des tâches expérimentales (lecture de mots, de non-mots et de textes).

Dans notre étude, nous avons donc intégré pour la lecture de mots (réguliers, irréguliers) de non-mots et de textes, les critères suivants :

- Un espacement inter-lettres de 2,5 points,
- Une taille de caractères de 14 points
- Les polices : « Arial » et « Opendyslexic »
- Une interligne de 1,5 points et une justification à gauche (uniquement pour les textes)

Par ailleurs, nous avons voulu contrôler la présence de digraphes dans toutes les tâches expérimentales. Pour rappel, un digraphe est composé d'un assemblage de deux graphèmes, qui ne forment qu'un seul phonème (=son). Cependant, leur lecture est parfois altérée chez les enfants dyslexiques présentant un trouble phonologique ou un trouble de l'empan visuo-attentionnel. Par conséquent, nous avons créé une condition dans laquelle l'espacement entre les digraphes est normal afin de déterminer si cela améliore leur reconnaissance. En effet, en rapprochant l'espacement des deux graphèmes, l'enfant pourrait comprendre qu'ils ne forment qu'une seule entité phonémique.

Nous avons créé quatre conditions, qui seront repris pour toutes les tâches expérimentales :

- Condition 1 : Police Arial, espacement par défaut (=normal)
- Condition 2 : Police Arial, espacement inter-lettres de 2,5 points pour toutes les graphies
- Condition 3 : Police Arial, espacement inter-lettres de 2,5 points sauf entre les digraphes (espacement par défaut)
- Condition 4 : Police Opendyslexic, espacement inter-lettres par défaut

Concernant la lecture de mots réguliers, irréguliers et de non-mots, chaque liste sera lue dans les quatre conditions. Par conséquent, nous obtenons 12 listes. Afin que les listes soient le moins impactées par l'effet de répétition, nous espacerons le temps de leur exposition. L'enfant pourra lire uniquement une liste de mots réguliers, une liste de mots irréguliers et une liste de non-mots par semaine. Par conséquent, il faut prévoir quatre semaines. L'attribution de ces listes sera aléatoire (Voir Annexe 2)

Voici un exemple :

	Mots irréguliers	Mots réguliers	Non-mots
Condition 1	Compter	Pousser	Bondeuse
Condition 2	Compter	Pousser	Bondeuse
Condition 3	Compter	Pousser	Bondeuse
Condition 4	Compter	Pousser	Bondeuse

Par rapport à la lecture de texte, chaque texte sera lu qu'une fois étant donné qu'ils ont été appariés ensemble et qu'ils possèdent le même niveau de complexité. Par conséquent, quatre textes seront lus et seront administrés de manière aléatoire. (Voir Annexe 3)

B) Analyse statistique des résultats

Dans cette partie nous parlerons de 3 variables indépendantes :

- Type de polices : Condition 1 (Arial, espacement par défaut) et Condition 4 (Opendyslexic, espacement par défaut)
- Type d'espacements : Condition 1 (Arial, espacement par défaut), Condition 2 (Arial, espacement de 2,5 points), Condition 3 (Arial, espacement de 2,5 points sauf pour les digraphes (espacement par défaut))
- Type de profils : TP, TE, DD, NL

- **Lecture de mots**

Tableau récapitulatif :

	Mots réguliers	Mots irréguliers	Non-mots
Vitesse	-V1 : type de polices	-V1 : type de polices	-V1 : type de polices
	-V2 : profil des sujets	-V2 : profil des sujets	-V2 : profil des sujets
Précision	-V1 : type d'espacements	-V1 : type d'espacements	-V1 : type d'espacements
	-V2 : profil des sujets	-V2 : profil des sujets	-V2 : profil des sujets
Vitesse	-V1 : type de polices	-V1 : type de polices	-V1 : type de polices
	-V2 : profil des sujets	-V2 : profil des sujets	-V2 : profil des sujets
Précision	-V1 : type d'espacements	-V1 : type d'espacements	-V1 : type d'espacements
	-V2 : profil des sujets	-V2 : profil des sujets	-V2 : profil des sujets

Pour chaque case du tableau, nous réaliserons :

- Des ANOVA mixtes
- Des effets simples
- Le test Dunn-Bonferroni

Tout d'abord, on utilisera plusieurs ANOVA mixtes pour tester :

- l'effet du type de polices sur la vitesse et la précision de lecture de mots réguliers, irréguliers et de non-mots selon le profil du lecteur.
- l'effet du type d'espacements sur la vitesse et la précision de lecture de mots réguliers, irréguliers et de non-mots selon le profil du lecteur.

Par exemple, on souhaite tester l'effet du type de polices sur la vitesse (en secondes) de lecture des mots réguliers selon le profil :

- Variable indépendante 1 : types de polices (Condition 1 : Arial et Condition 4 : Opendyslexic) → intra-sujets
- Variable indépendante 2 : profil du lecteur (TP, TE, DD, NL). → inter-sujets
- Variable dépendante : vitesse

L'objectif est de trouver un effet principal significatif (du type de polices et du type de profils) et/ou un effet d'interaction.

Par la suite, on souhaite tester l'effet simple de chacune des modalités, on évaluera :

- Deux groupes de sujets (NL et les enfants dyslexiques) et les deux polices (Arial et Opendyslexic) : ANOVA double
- le type de polices sur le profil TP : ANOVA à mesures répétées
- le type de polices sur le profil TE : ANOVA à mesures répétées
- le type de polices sur le profil DD : ANOVA à mesures répétées
- le type de polices sur profil NL : ANOVA à mesures répétées

En enfin, nous souhaitons réaliser une comparaison avec le test Dunn-Bonferroni sur le plan mixte. Par exemple : comparer les deux types de polices pour chaque profil de sujets, afin de savoir si les polices d'écriture sont significativement différentes pour chaque profil.

- **Lecture de textes :**

Pour rappel, les quatre textes ont été appariés. Par conséquent, chaque texte sera lu dans une condition d'espacement ou de police différente, dont l'attribution est aléatoire.

Tableau récapitulatif :

	Vitesse	MCL	MCLM
Textes	-V1 : type de polices	-V1 : type de polices	-V1 : type de polices
	-V2 : profil des sujets	-V2 : profil des sujets	-V2 : profil des sujets
	-V1 : type d'espacements	-V1 : type d'espacements	-V1 : type d'espacements
	-V2 : profil des sujets	-V2 : profil des sujets	-V2 : profil des sujets

Pour chaque case du tableau, nous réaliserons :

- Des ANOVA mixtes
- Des effets simples
- Le test Dunn-Bonferroni

Tout d'abord, on utilisera plusieurs ANOVA mixtes pour tester :

- l'effet du type de polices sur la vitesse, le nombre de mots correctement lus (MCL) et le nombre de mots correctement lus par minute (MCLM) au niveau de la lecture de textes selon le profil du lecteur.
- l'effet du type d'espacements sur la vitesse, le nombre de mots correctement lus (MCL) et le nombre de mots correctement lus par minute (MCLM) au niveau de la lecture de textes selon le profil du lecteur.

Par exemple, on souhaite tester l'effet du type d'espacements sur la vitesse (en secondes) de lecture de textes selon le profil de lecture:

- Variable indépendante 1 : types de d'espacement (Condition 1, Condition 2, Condition 3) → intra-sujets
- Variable indépendante 2 : profil du lecteur (TP, TE, DD, NL). → inter-sujets
- Variable dépendante : vitesse

L'objectif est de trouver un effet principal significatif (du type d'espacements et du type de profils) et/ou un effet d'interaction.

Par la suite, on souhaite tester l'effet simple de chacune des modalités, on évaluera :

- Deux groupes de sujets (NL et enfants dyslexiques) et les trois types d'espacement (Conditions 1,2,3) : ANOVA double (2x3)
- le type d'espacements sur le profil TP : ANOVA à mesures répétées
- le type d'espacements sur le profil TE : ANOVA à mesures répétées
- le type d'espacements sur le profil DD : ANOVA à mesures répétées
- le type d'espacements sur le profil NL : ANOVA à mesures répétées

En enfin, nous souhaitons réaliser une comparaison avec le test Dunn-Bonferroni sur le plan mixte. Par exemple : comparer les trois types d'espacements pour chaque profil de sujets, afin de savoir si les types d'espacement sont significativement différents pour chaque profil.

- **Questionnaires**

Pour rappel, le questionnaire évalue pour :

- les mots : les préférences des conditions
- les mots : le niveau de facilité des conditions
- les textes : la préférence des conditions
- les textes : le niveau de facilité des conditions

Nous réaliserons donc quatre :

- ANOVA 1 à mesures répétées : pour vérifier par exemple la préférence d'une condition dans toute la population
- ANOVA mixtes : pour vérifier par exemple la préférence d'une condition selon le profil de sujets

IV. Méthodologie 2

A) Elaboration des tâches expérimentales

Toutes les tâches énoncées dans la partie « Matériel » seront administrées.

Nous discuterons ci-dessous de la conception des tâches expérimentales (lecture de mots, de non-mots et de textes).

Pour la conception de cette deuxième méthodologie, nous nous sommes inspirés de l'étude de Van den Boer et Hakvoort (2015) dans laquelle différents types d'espacement inter-lettres (-0.5, 0, 0.5, 1, 1.5, 2 points) ont été comparés chez des normo-lecteurs mais il n'y a pas eu d'impact positif sur leur lecture. Il serait intéressant d'étudier ces espacements chez des enfants dyslexiques. Nous intégrerons également dans cette étude un espacement inter-lettres de 2,5 points (Zorzi et al., 2012).

Dans notre étude, nous comparerons quatre conditions d'espacement inter-lettres :

- Espacement par défaut (= 0 point)
- Espacement d'1 point
- Espacement de 2 points
- Espacement de 2,5 points

Pour toutes les tâches expérimentales, nous utiliserons :

- Uniquement la police « Arial » car la lisibilité est meilleure avec une police sans empattement (Martinet, 2010).
- Une taille de police de 14 points, conseillé par Martinet (2010)

Nous emploierons aussi un espacement inter-lignes de 1,5 points pour la lecture de chaque texte (conseillé par Martinet, 2010). Les textes seront justifiés à gauche.

Par rapport à la lecture de mots réguliers, irréguliers et de non-mots, chaque liste sera lue dans les quatre conditions. Par conséquent, nous obtenons 12 listes. Afin que les listes soient le moins impactées par l'effet de répétition, nous espacerons le temps de leur exposition. L'enfant pourra lire uniquement une liste de mots réguliers, une liste de mots irréguliers et

une liste de non-mots par semaine. Par conséquent, il faut prévoir quatre semaines. L'attribution de ces listes sera aléatoire. (Voir Annexe 4)

Voici un exemple :

	Mots irréguliers	Mots réguliers	Non-mots
Espacement par défaut	Compter	Pousser	Bondeuse
Espacement 1 point	Compter	Pousser	Bondeuse
Espacement 2 points	Compter	Pousser	Bondeuse
Espacement 2,5 points	Compter	Pousser	Bondeuse

Concernant la lecture de texte, chaque texte sera lu qu'une fois étant donné qu'ils ont été appariés ensemble et qu'ils possèdent le même niveau de complexité. Par conséquent, quatre textes seront lus et seront administrés de manière aléatoire. (Voir annexe 5)

B) Analyse statistique des résultats

Dans cette partie nous allons parler de 2 variables indépendantes :

- Type d'espacements : Condition 1 (Arial, espacement par défaut), Condition 2 (Arial, espacement d'1 point), Condition 3 (Arial, espacement de 2 points), Condition 4 (Arial, espacement de 2,5 points)
- Type de profils : TP, TE, DD, NL

- **Lecture de mots**

Tableau récapitulatif :

	Mots réguliers	Mots irréguliers	Non-mots
Vitesse	-V1 : type d'espacements	-V1 : type d'espacements	-V1 : type d'espacements
	-V2 : profil des sujets	-V2 : profil des sujets	-V2 : profil des sujets
Précision	-V1 : type d'espacements	-V1 : type d'espacements	-V1 : type d'espacements
	-V2 : profil des sujets	-V2 : profil des sujets	-V2 : profil des sujets

Pour chaque case du tableau, nous réaliserons :

- Des ANOVA mixtes

- Des effets simples
- Le test Dunn-Bonferroni avec un contraste linéaire

Tout d'abord, on utilisera plusieurs ANOVA mixtes pour tester :

- l'effet du type d'espacements sur la vitesse et la précision de lecture de mots réguliers, irréguliers et de non-mots selon le profil du lecteur.

Par exemple, on souhaite tester l'effet du type d'espacements sur la précision (score) de lecture des mots irréguliers selon le type de profils :

- Variable indépendante 1 : types d'espacement (Condition 1, Conditions 2, Condition 3, Condition 4) → intra-sujets
- Variable indépendante 2 : profil du lecteur (TP, TE, DD, NL). → inter-sujets
- Variable dépendante : précision

L'objectif est de trouver un effet principal significatif (du type d'espacements et du type de profils) et/ou un effet d'interaction.

Par la suite, on souhaite tester l'effet simple de chacune des modalités, on évaluera :

- Deux groupes de sujets (NL et enfants dyslexiques) et quatre types d'espacement (Conditions 1, 2, 3, 4) : ANOVA double (2x4)
- le type d'espacements sur le profil TP : ANOVA à mesures répétées
- le type d'espacements sur le profil TE : ANOVA à mesures répétées
- le type d'espacements sur le profil DD : ANOVA à mesures répétées
- le type d'espacements sur le profil NL : ANOVA à mesures répétées

En enfin, nous souhaitons réaliser une comparaison avec le test Dunn-Bonferroni et un contraste linéaire sur le plan mixte. Par exemple : comparer les quatre types d'espacement pour chaque profil de sujets, afin de savoir si ces types d'espacements sont significativement différents pour chaque profil. Nous pourrions aussi comparer la condition 4 avec les trois autres conditions.

- **Lecture de textes :**

Pour rappel, les quatre textes ont été appariés. Par conséquent, chaque texte sera lu dans une condition d'espacement différente, dont l'attribution est aléatoire.

Tableau récapitulatif :

	Vitesse	MCL	MCLM
Textes	-V1 : type d'espacements	-V1 : type d'espacements	-V1 : type d'espacements
	-V2 : profil des sujets	-V2 : profil des sujets	-V2 : profil des sujets

Pour chaque case du tableau, nous réaliserons :

- Des ANOVA mixtes
- Des effets simples
- Le test Dunn-Bonferroni avec un contraste linéaire

Tout d'abord, on utilisera plusieurs ANOVA mixtes pour tester :

- l'effet du type d'espacements sur la vitesse, le nombre de mots correctement lus (MCL) et le nombre de mots correctement lus par minute (MCLM) au niveau de la lecture de textes selon le profil du lecteur.

Par exemple, on souhaite tester l'effet du type d'espacements sur le nombre de mots correctement lus (MCL) au niveau de la lecture de textes selon le type de profils :

- Variable indépendante 1 : types d'espacement (Condition 1, Condition 2, Condition 3, Condition 4) → intra-sujets
- Variable indépendante 2 : profil du lecteur (TP, TE, DD, NL). → inter-sujets
- Variable dépendante : MCL

L'objectif est de trouver un effet principal significatif (du type d'espacements et du type de profils) et/ou un effet d'interaction.

Par la suite, on souhaite tester l'effet simple de chacune des modalités, on évaluera :

- Deux groupes de sujets (NL et enfants dyslexiques) et quatre types d'espacement (Conditions 1, 2, 3, 4) : ANOVA double (2x4)

- le type d'espacements sur le profil TP : ANOVA à mesures répétées
- le type d'espacements sur le profil TE : ANOVA à mesures répétées
- le type d'espacements sur le profil DD : ANOVA à mesures répétées
- le type d'espacements sur le profil NL : ANOVA à mesures répétées

En enfin, nous souhaitons réaliser une comparaison avec le test Dunn-Bonferroni et le contraste linéaire sur le plan mixte. Par exemple : comparer les quatre types d'espacement pour chaque profil de sujets, afin de savoir si les types d'espacement sont significativement différents pour chaque profil. Nous pourrions aussi comparer la condition 4 avec les trois autres conditions.

- **Questionnaires**

Pour rappel, le questionnaire évalue pour :

- les mots : le niveau de préférence des conditions
- les mots : le niveau de facilité des conditions
- les textes : le niveau de préférence des conditions
- les textes : le niveau de facilité des conditions

Nous réaliserons donc quatre :

- ANOVA 1 à mesures répétées : pour vérifier par exemple la préférence d'une condition dans toute la population
- ANOVA mixtes : pour vérifier par exemple la préférence d'une condition dans chaque profil de sujets

V. Analyse qualitative des deux méthodologies

Il serait également intéressant d'analyser les erreurs à travers les tâches de lecture de mots (réguliers, irréguliers), de non-mots et de textes dans chaque groupe :

1) Pour les enfants avec un trouble phonologique isolé, on peut observer des erreurs de décodage dues à une mauvaise connaissance des relations entre les graphèmes et les phonèmes, des erreurs de lexicalisation, menant à un profil de dyslexie phonologique développementale.

2) Concernant les enfants avec un trouble de l'empan visuo-attentionnel isolé, on peut remarquer différents patterns de trouble en fonction de l'atteinte de la fenêtre visuo-attentionnelle. Si la fenêtre visuo-attentionnelle est modérément réduite, la lecture de mots irréguliers sera affectée, conduisant à une dyslexie développementale de surface. Dans le cas où la fenêtre visuo-attentionnelle est très réduite, le traitement global et analytique seront atteints, ce qui affectera donc la lecture de mots réguliers, irréguliers et de non-mots. Ce pattern de trouble mène à une dyslexie mixte.

3) Les enfants présentant un double déficit (phonologique et de l'empan visuo-attentionnel) auront des difficultés au niveau du décodage impactant la lecture de non-mots et de mots réguliers et au niveau des mots irréguliers.

A la fin de chacune de ces deux études, un questionnaire est proposé. Il est, en effet, intéressant de voir si la préférence et/ou le jugement de facilité de la lecture des quatre conditions proposées sont corrélées aux performances de lecture de mots et de textes. Si une corrélation n'est pas observée mais qu'un groupe d'enfants préfère une police d'écriture ou un espacement spécifique, nous pourrions les proposer comme aménagement.

Discussion

Pour rappel, ce mémoire est la continuité de deux mémoires réalisés en 2019, mettant en avant une absence d'amélioration de la précision et de la vitesse de lecture avec l'utilisation :

- de polices d'écriture conçues pour enfants dyslexiques (Regnier, 2019)
- d'espacements inter-lettres et inter-lignes augmentés (Rivoire, 2019).

Les discussions de ces deux mémoires ont suggéré que ces résultats pouvaient être liés aux capacités d'empan visuo-attentionnel qui n'avaient pas été mesurées.

Un certain nombre d'études dans la littérature scientifique ont étudié l'encombrement visuel et ont examiné l'impact d'une manipulation de la police d'écriture et de l'espacement inter-lettres sur les performances de lecture des enfants dyslexiques. Elles n'ont toutefois pas pris en compte les compétences d'empan visuo-attentionnel alors qu'il existe des enfants dyslexiques avec un trouble de l'empan visuo-attentionnel. L'intérêt de ce mémoire est d'observer la présence éventuelle d'un encombrement visuel et d'évaluer l'effet d'une manipulation de la police et de l'espacement inter-lettres sur les performances de lecture de ces enfants.

Pour rappel, l'empan visuo-attentionnel est un prérequis au développement du langage écrit. Il fait référence à distinction d'un nombre de lettres traités simultanément dans une succession de lettres. Chez certains enfants dyslexiques, les capacités d'empan visuo-attentionnel sont altérées, provoquant une réduction de la fenêtre visuo-attentionnelle. Par conséquent, le nombre de lettres reconnues en parallèle est diminué, ce qui affecte la lecture. Bosse, Tainturier et Valdois (2007) ont mis en évidence l'indépendance des troubles phonologiques et de l'empan visuo-attentionnel chez les personnes dyslexiques. On peut rencontrer des enfants dyslexiques avec un trouble phonologique isolé, un trouble de l'empan visuo-attentionnel isolé ou un double déficit (regroupant les deux troubles).

L'objectif de notre mémoire est de vérifier si des aménagements tels qu'une augmentation de l'espacement inter-lettres ou une police d'écriture spécifique permet d'améliorer les performances (précision et rapidité) de lecture de mots, de non-mots et de textes chez des enfants en 4^{ème} Primaire présentant ou non un trouble de l'empan visuo-attentionnel. Nous avons donc formé quatre groupes en nous appuyant sur l'étude de Bosse, Tainturier et Valdois

(2007). Nous avons sélectionné : des enfants mauvais lecteurs et dyslexiques avec un trouble phonologique isolé, des enfants mauvais lecteurs et dyslexiques avec un trouble de l'empan visuo-attentionnel isolé, des enfants mauvais lecteurs et dyslexiques avec un double déficit et des enfants normo-lecteurs.

Nous avons proposé deux méthodologies qui s'appliquent à ces quatre groupes.

I. Méthodologie 1

Dans cette méthodologie, nous avons fait varier la police d'écriture et l'espacement inter-lettres. Pour rappel, les listes de mots réguliers, irréguliers et de non-mots ainsi que les textes sont lus dans ces quatre conditions :

- Condition 1 : police Arial, espacement inter-lettres par défaut
- Condition 2 : police Arial, espacement inter-lettres de 2,5 points
- Condition 3 : police Arial, espacement inter-lettres de 2,5 points sauf pour les digraphes (espacement par défaut)
- Condition 4 : police Opendyslexic, espacement inter-lettres par défaut.

Résultats attendus

• Polices d'écriture

Concernant la police d'écriture, nous n'attendons pas de différence significative entre l'utilisation des polices « *Arial* » et « *Opendyslexic* » (en comparant la condition 1 et 4) chez les enfants mauvais lecteurs et dyslexiques présentant ou non un trouble de l'empan visuo-attentionnel ainsi que chez les normo-lecteurs. Le mémoire de Tiffany Regnier (2019) et plusieurs études ont mis en évidence que la police « *Opendyslexic* » n'altère pas et n'améliore ni la précision ni la vitesse de lecture chez les enfants dyslexiques et les normo-lecteurs par rapport à d'autres polices standards comme « *Arial* » ou « *Times New Roman* » (Rello et Baeza-Yates, 2013 ; Zikl, Bartošová, Víšková et al., 2015 ; Wery et Diliberto, 2017).

• Espacement inter-lettres

L'encombrement visuel est un phénomène perceptuel souvent rencontré chez les enfants dyslexiques. La reconnaissance des lettres est altérée, due à la proximité des lettres voisines.

Pour diminuer cet effet et améliorer les performances de lecture, il est conseillé d'augmenter l'espacement inter-lettres de 2,5 points chez les enfants dyslexiques (Zorzi et al.,2012).

Chez les enfants dyslexiques et mauvais lecteurs présentant un trouble phonologique isolé, nous attendons une amélioration de la précision et de la rapidité lors de la lecture de mots et de textes dans les conditions 2 et 3. Nous supposons qu'un espacement inter-lettres de 2,5 points (sauf pour les digraphes) serait davantage bénéfique qu'un espacement inter-lettres de 2,5 points pour toutes les graphies. Les digraphes étant rapprochés dans la première situation permettraient d'être mieux identifiés. Les enfants pourraient comprendre qu'ils ne forment qu'une seule entité phonémique.

Une réduction de la taille de la fenêtre visuo-attentionnelle (dû à un trouble de l'empan visuo-attentionnel) diminue le nombre de lettres reconnues en parallèle et une augmentation de l'espacement inter-lettres étend les mots dans le champ visuel périphérique. Par conséquent, nous attendons aucune amélioration significative des performances de lecture (de mots et de textes) en augmentant l'espacement inter-lettres de 2,5 points chez les enfants mauvais lecteurs et dyslexiques présentant un trouble de l'empan visuo-attentionnel isolé ou un double déficit. Nous supposons que la vitesse va diminuer et que la précision de lecture va être impactée. Il est toutefois possible que nous observions de meilleurs résultats (mais non significatifs) dans la condition où l'espacement entre les lettres est de 2,5 points (sauf pour les digraphes) par rapport à un espacement de 2,5 points pour tous les graphèmes. Les digraphes seraient mieux reconnus dans la première situation.

Concernant les enfants normo-lecteurs, Yu, Cheung, Legge et Chung (2007), ont montré qu'un espacement inter-lettres trop augmenté peut réduire la vitesse de lecture. Zorzi et al. (2012) ont toutefois montré qu'un espacement inter-lettres de 2,5 points n'impactent pas la lecture de ces enfants. Il est donc possible d'observer deux effets : une diminution de la vitesse de lecture des mots et des textes dans les conditions 2 et 3 ou bien une vitesse non altérée. Nous supposons que la précision de lecture ne sera pas impactée car ces enfants possèdent un bon niveau de lecture.

II. Méthodologie 2

Dans cette méthodologie, nous avons uniquement fait varier l'espacement inter-lettres. Pour rappel, les listes de mots réguliers, irréguliers et de non-mots ainsi que les textes sont lus dans ces quatre conditions :

- Condition 1 : police Arial, espacement inter-lettres par défaut
- Condition 2 : police Arial, espacement inter-lettres d'1 point
- Condition 3 : police Arial, espacement inter-lettres de 2 points
- Condition 4 : police Opendyslexic, espacement inter-lettres de 2,5 points.

Résultats attendus

Pour rappel, l'encombrement visuel est une altération de la reconnaissance des lettres due aux caractéristiques des lettres voisines, étant souvent rencontré chez les enfants dyslexiques. Différents auteurs conseillent d'augmenter légèrement l'espacement inter-lettres (Perea et al., 2012) ou d'adopter un espacement de 2,5 points (Zorzi et al., 2012) pour diminuer l'effet de l'encombrement visuel.

- **Légères augmentations de l'espacement inter-lettres (1 et 2 points)**

Chez les enfants mauvais lecteurs et dyslexiques présentant un trouble phonologique isolé, nous attendons une amélioration de la vitesse lors de la lecture de mots et de textes avec de petites augmentations de l'espacement inter-lettres, comme démontre l'étude de Perea et al. (2012). Nous espérons également trouver une amélioration de la précision de lecture.

Les enfants avec un trouble de l'empan visuo-attentionnel ont une taille de fenêtre visuo-attentionnelle réduite, affectant le nombre de lettres reconnues en parallèle. De petites augmentations de l'espacement inter-lettres (1 point et 2 points) étendent légèrement les lettres des mots dans le champ de vision et diminuent l'effet d'encombrement visuel. Il est possible que ces deux conditions améliorent légèrement la vitesse et la précision de lecture de mots et de textes si elles ne répandent pas trop loin les mots dans la vision périphérique chez les enfants mauvais lecteurs et dyslexiques présentant un trouble de l'empan visuo-attentionnel isolé ou un double déficit.

Concernant les enfants normo-lecteurs, nous supposons que de légères augmentations de l'espacement inter-lettres (1 et 2 points) amélioreront le temps de lecture de mots et de textes, comme le montrent Perea et al. (2012) avec leur espacement de 1,2 points. La précision ne sera pas impactée car ces enfants possèdent un bon niveau de lecture.

- **Espacement inter-lettres de 2,5 points**

Zorzi et al. (2012) ont montré qu'un espacement inter-lettres de 2,5 points améliore les performances de lecture chez les enfants dyslexiques. Par conséquent, nous attendons une amélioration de la précision et de la vitesse lors de la lecture de mots et de textes chez des enfants mauvais lecteurs et dyslexiques présentant un trouble phonologique isolé. Nous supposons que plus l'espacement est grand, plus l'effet d'encombrement visuel diminuera. Nous attendons à observer : condition 4 > condition 3 > condition 2 > condition 1.

Concernant les enfants mauvais lecteurs et dyslexiques présentant un trouble de l'empan visuo-attentionnel isolé ou un double déficit, nous supposons qu'un espacement de 2,5 points entre les lettres n'améliorera pas voire altèrera la précision et la vitesse de lecture de mots et de textes. Ces enfants éprouvent déjà des difficultés à traiter un certain nombre de lettres en parallèle et un texte trop étendu dans la vision périphérique diminuerait l'acuité visuelle (impactant la reconnaissance des mots) et donc la vitesse de lecture.

En ce qui concerne les enfants normo-lecteurs, il est possible d'observer deux effets. Nous pouvons attendre qu'un espacement de 2,5 points entre les lettres augmente le temps de lecture de mots et de textes car l'information écrite est davantage étendue dans la vision périphérique, réduisant donc l'acuité visuelle et la reconnaissance rapide des lettres (Yu, Cheung, Legge et Chung, 2007). Il est également possible que cet espacement n'altère pas et n'améliore pas la précision et la vitesse de lecture de ces enfants, comme le démontrent Zorzi et al. (2012).

III. Limites des deux méthodologies :

Pour rappel, nous utilisons les mêmes épreuves et la même population dans les deux méthodologies. Dans cette partie, nous exposerons leurs limites.

Dans notre étude, il est indiqué que chaque groupe comporte 20 sujets. Cependant, ces échantillons de petite taille sont peu représentatifs de toute la population et peuvent impacter les résultats et les conclusions obtenus. Des échantillons d'une taille plus importante permettraient de mieux refléter les profils dans la population et auraient plus de poids.

Les tâches de lecture de mots réguliers, irréguliers et de non-mots doivent être administrées chacune dans les quatre conditions pour chaque enfant. Il est possible de rencontrer un effet de test-retest qui pourrait impacter les résultats car l'enfant verra plusieurs fois les mêmes mots même si nous avons prévu de présenter une liste de chaque tâche par semaine. Afin d'éviter cet effet, Van den Boer et Hakvoort (2015) ont administré à chaque sujet des mots différents répartis dans six listes. Un appariement des mots entre ces listes a été réalisé. Dans ce cadre, il serait intéressant de créer 2 à 4 listes de mots réguliers, irréguliers et de non-mots pour éviter l'effet de test-retest. Les listes devraient être appariées en fonction de la fréquence, de la longueur et de la présence de digraphes. D'autre part, nous avons inclus uniquement des digraphes dans les tâches de lecture de mots et de non-mots. Pourtant, les enfants en 4^{ème} Primaire ont déjà vu les graphies simples et complexes (digraphes, trigraphes). Il serait donc intéressant d'ajouter des mots possédant des trigraphes (ex : « eau ») dans ces tâches.

Les textes que nous avons sélectionnés viennent du mémoire de Juliette Rivoire (2019). Ces textes sont des récits qui ont du sens et les enfants peuvent s'aider du contexte pour les lire, ce qui peut avoir un effet sur les résultats dans le cas où les enfants ont un bon niveau de lecture. Zorzi et al. (2012) ont quant à eux proposés des phrases qui n'avaient pas de lien sémantique. Par conséquent, dans le cas où une absence d'amélioration des performances de lecture est observée dans les différentes conditions en raison du niveau de facilité des textes, nous pourrions proposer des phrases ou des textes n'ayant pas de lien sémantique.

Juliette Rivoire (2019) a observé une légère augmentation des sauts de lignes pour la condition espacée (inter-lettres et inter-lignes) chez les enfants dyslexiques et faibles lecteurs en 4^{ème} Primaire. Une variation de l'espacement pourrait entraîner une gêne lors du repérage dans le

texte. Il serait donc intéressant de voir si on relève des sauts de lignes également dans les différentes conditions proposées par chaque méthodologie chez les enfants dyslexiques présentant ou non un trouble de l'empan visuo-attentionnel.

Les enfants, des deux méthodologies, sont tous en 4^{ème} Primaire et sont appariés au niveau de l'âge chronologique. Toutefois, on pourrait envisager de comparer leurs performances avec des enfants de même âge de lecture en 2^{ème} Primaire. L'apprentissage de la lecture des graphèmes complexes (digraphes et trigraphes) étant en cours d'acquisition chez ces derniers, il serait intéressant de savoir si un espacement inter-lettres augmenté sauf pour les digraphes et les trigraphes (espacement par défaut) facilite leur reconnaissance.

Dans la première méthodologie, nous avons comparé uniquement deux polices d'écriture (« *Arial* » et « *Opendyslexic* »). On pourrait prévoir d'étendre cette étude en comparant d'autres polices spécifiques aux enfants dyslexiques, comme « *Dyslexie* » et « *EasyReading* », ou d'autres polices standards (ex : « *Comic Sans MS* »).

Concernant la deuxième méthodologie, nous avons comparé quatre types d'espacement (0, 1, 2 et 2,5 points). Il serait intéressant d'augmenter le nombre d'espacements à comparer afin de déterminer le type d'espacement le plus adapté pour chaque groupe. Par exemple, Van den Boer et Hakvoort (2015) ont proposé six types d'espacement inter-lettres (-0.5, 0, 0.5, 1, 1.5, 2 points). En s'appuyant sur cette étude, on pourrait proposer ces types d'espacements : 0, 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5, 3 points. Selon Chung (2002), un espacement inter-lettres augmenté diminue l'effet d'encombrement visuel et améliore la vitesse de lecture jusqu'à un certain point critique d'espacement au-delà duquel la vitesse de lecture est altérée. Il serait intéressant de vérifier à partir de quel type d'espacement les performances de lecture déclinent chez les enfants mauvais lecteurs et dyslexiques présentant ou non un trouble de l'empan visuo-attentionnel ainsi que chez les normo-lecteurs.

Afin d'affiner notre analyse, il serait également pertinent d'étudier les mouvements oculaires (« eye tracking ») lors de la lecture dans les différents groupes, comme proposé dans l'étude de Masulli et al. (2018). Ces derniers ont proposé des textes de quatre lignes à lire, mais il faudrait plutôt présenter des textes d'une longueur et d'une complexité plus importante. Plusieurs auteurs ont relevé la présence d'un nombre élevé de saccades oculaires, de fixations plus longues et d'un nombre plus grand de régressions (de droite à gauche) chez les enfants

dyslexiques par rapport aux normo-lecteurs (Bellocchi et al., 2013). Le nombre de fixations oculaires vers la droite en lecture est augmenté chez des enfants dyslexiques ayant un empan visuo-attentionnel diminué (Prado, Dubois & Valdois, 2007). Toutefois, Masulli et al. (2018) ont montré une réduction des temps de fixation et augmentation du nombre et de l'amplitude des prosaccades (de gauche à droite) avec une taille de police augmentée et un espacement inter-lettres de 2,5 points pour les groupes d'enfants dyslexiques et non dyslexiques. On pourrait donc envisager d'étudier l'impact de la manipulation des espacements inter-lettres sur les mouvements oculaires. Le but étant de trouver une condition d'espacement qui réduit ces mouvements oculaires atypiques chez les enfants dyslexiques possédant ou non un trouble de l'empan visuo-attentionnel.

Conclusion et perspectives

Dans ce mémoire, nous nous sommes intéressés à la manipulation des polices d'écriture et de l'espacement inter-lettres. L'objectif est d'observer si des aménagements en lien avec ces deux facteurs de la lisibilité permettent d'améliorer la lecture des mots et des textes chez des enfants dyslexiques présentant ou non un trouble de l'empan visuo-attentionnel.

L'indépendance des troubles de l'empan visuo-attentionnel et des troubles phonologiques a été mise en évidence chez les enfants dyslexiques par la distinction des atteintes au niveau cognitif et cérébral (Peyrin et al., 2012). Par conséquent, il est possible de rencontrer des enfants dyslexiques avec : un trouble phonologique isolé, un trouble de l'empan visuo-attentionnel isolé ou un double déficit (empan visuo-attentionnel et phonologique) (Bosse, Tainturier et Valdois, 2007).

La notion d'encombrement visuel ainsi que les effets des polices d'écriture et des espacements inter-lettres sur les performances de lecture ont été étudiés dans de nombreuses recherches chez les enfants dyslexiques. Toutefois, elles n'ont pas mesuré les capacités d'empan visuo-attentionnel. Ainsi, il est nécessaire d'approfondir les connaissances concernant l'impact de l'encombrement visuel, des polices d'écriture et de l'espacement inter-lettres sur les performances de lecture des enfants dyslexiques présentant un trouble de l'empan visuo-attentionnel.

Concernant les polices d'écriture, il est conseillé d'utiliser une police sans empattement (ex : « *Arial* ») qui n'altère pas la lisibilité, contrairement aux polices avec empattements (ex : « *Times New Roman* ») (Martinet al., 2010). D'autre part, des polices d'écriture conçues pour les enfants dyslexiques (« *Opendyslexic* », « *Dyslexie* », « *EasyReading* ») ont la particularité de posséder des formes spécifiques pour chaque lettre. Elles ont été créées dans le but d'améliorer la distinction des lettres et de réduire leurs confusions. Cependant, les études réalisées sur ces polices ne montrent aucune amélioration de la précision et de la vitesse de lecture chez les enfants dyslexiques et les normo-lecteurs (Zinkl, Bartošová, Víšková et al., 2015, ; Kuster, van Weerdenburg, Gompel, Bosman, 2017). Aux vues de ces résultats, il est important de se questionner sur l'intérêt de leur utilisation. En effet, elles n'améliorent pas les performances de lecture et les polices « *Dyslexie* » et « *EasyReading* » sont payantes par rapport à la police « *Opendyslexic* ». Toutefois, si les enfants trouvent ces polices attrayantes

et plus faciles à lire, elles peuvent fournir une motivation lors de la lecture. Comme le suggère *l'Evidence-Based Practice (EBP)*, il est important de tenir compte des préférences des enfants car elles renforcent leur motivation et fournissent un meilleur traitement.

Par rapport aux études réalisées sur l'espacement inter-lettres, de petites augmentations et un espacement de 2,5 points entre les lettres permettent d'améliorer la précision et la vitesse de lecture chez les enfants dyslexiques (Perea et al., 2012 ; Zorzi et al., 2012). Concernant les enfants normo-lecteurs, les résultats divergent. On observe chez certains une amélioration de la vitesse de lecture (Perea et al., 2012) et pour d'autres une absence d'effets (Van den Boer et Hakvoort, 2015). Certains auteurs montrent même qu'une augmentation trop importante de l'espacement diminue la vitesse de lecture (Chung, 2002 ; Yu et al., 2007).

Dans ces études, des différences relevées au niveau des résultats et des conclusions tirées peuvent être expliquées par plusieurs facteurs : l'âge des sujets, le type d'épreuves utilisées et la langue. La majorité des études mentionnées ont été réalisées dans une langue étrangère, autre que le français. Le système d'écriture diffère par exemple au niveau de la transparence ou de l'opacité des langues. L'âge fait également varier les résultats car un enfant jeune n'a pas les mêmes capacités de lecture qu'un enfant plus âgé.

Dans ce mémoire, nous avons proposé deux méthodologies en nous basant sur les données de la littérature scientifique :

- méthodologie 1 : manipulation de la police d'écriture (Arial et OpenDyslexic) et de l'espacement inter-lettres (0 point, 2.5 points, 2.5 points sauf entre les digraphes)
- méthodologie 2 : manipulation de l'espacement inter-lettres (0, 1, 2, 2.5 points)

A l'avenir, il serait intéressant de mettre en pratique ces propositions de méthodologies. Le but est de déterminer si les enfants dyslexiques avec ou non un trouble de l'empan visuo-attentionnel peuvent tirer profit de ces aménagements. On pourrait les intégrer par la suite dans leur quotidien pour faciliter l'apprentissage et améliorer les compétences de lecture.

Aussi, notre étude porte sur la précision, la vitesse et la fluence de lecture. Il serait intéressant dans une future étude d'évaluer l'impact de la police d'écriture et de l'espacement inter-lettres sur la compréhension de lecture des enfants dyslexiques présentant un trouble de l'empan visuo-attentionnel.

Il est intéressant de se questionner sur la relation de causalité entre l'empan visuo-attentionnel et les performances de lecture. Les capacités d'empan visuo-attentionnel prédisent en primaire les compétences en lecture. Son influence diminue lors de la lecture de mots réguliers et de non-mots en 3^{ème} année mais elle persiste pour la lecture de mots irréguliers en primaire (Bosse et Valdois, 2009). D'un autre côté, différentes méthodes d'entraînement de l'empan visuo-attentionnel ont été créées dans le but d'améliorer les performances de lecture. Par exemple, un entraînement avec la méthode COREVA vise à améliorer la taille de l'empan visuo-attentionnel (Valdois, Bosse & Peyrin, 2014). On observe dans une étude de cas une réactivation des régions cérébrales sous-activées (lobules pariétaux supérieurs) et une amélioration de la lecture de mots et de textes (Valdois, Peyrin et al., 2014). Le logiciel MAEVA a aussi fait ses preuves et améliore les capacités d'empan visuo-attentionnel et les performances en lecture (Casalis et al., 2018). Aussi, le lien de causalité entre les capacités d'empan visuo-attentionnel et les performances en lecture pourrait être conforté en réalisant des études longitudinales chez les pré-lecteurs. L'objectif est de montrer que l'empan visuo-attentionnel chez ces enfants en maternelle influence les capacités futures d'apprentissage (Casalis et al. 2018).

Résumé

Différents facteurs de la lisibilité, tels que l'espacement inter-lettres et la police d'écriture ont fait l'objet d'études ces dernières années. Chez les enfants dyslexiques, de légères augmentations de l'espacement inter-lettres et un espacement de 2,5 points entre les lettres améliorent la précision et la vitesse de lecture (Perea et al., 2012 ; Zorzi et al., 2012). Chez les enfants normo-lecteurs, les effets sont différents. Concernant les polices d'écriture, on conseille l'utilisation de polices sans empattement (ex : « *Arial* ») (Martinet, 2010). Des polices pour enfants dyslexiques ont aussi été conçues (« *Opendyslexic* », « *EasyReading* », « *Dyslexie* »).

Deux mémoires réalisés en 2019 ont mis en évidence que la police d'écriture (Regnier, 2019) ainsi que l'espacement inter-lignes et inter-lettres (Rivoire, 2019) n'améliorent ni la précision ni la vitesse de lecture chez les enfants dyslexiques. Les discussions de ces deux mémoires suggèrent l'implication possible des capacités d'empan visuo-attentionnel liées à ces résultats. L'empan visuo-attentionnel est un prérequis au développement du langage écrit. Certains enfants dyslexiques présentent un trouble de l'empan visuo-attentionnel, diminuant le nombre de lettres reconnues en parallèle et impactant la lecture. Aussi, l'indépendance des troubles phonologiques et de l'empan visuo-attentionnel a été démontrée chez les enfants dyslexiques. Notre étude a pour objectif d'étudier l'impact de la police d'écriture et de l'espacement inter-lettres sur la lecture de mots, de non-mots et de textes chez des enfants présentant ou non un trouble de l'empan visuo-attentionnel. Nous avons sélectionné des participants en 4^{ème} primaire, répartis dans quatre groupes : des enfants mauvais lecteurs et dyslexiques avec un trouble phonologique isolé, des enfants mauvais lecteurs et dyslexiques avec un trouble de l'empan visuo-attentionnel isolé, des enfants mauvais lecteurs et dyslexiques avec un double déficit et des enfants normo-lecteurs. Dans ce mémoire, nous proposons deux méthodologies. La première porte sur la manipulation de la police et de l'espacement inter-lettres (Arial et espacement par défaut, Arial et espacement de 2,5 points, Arial et espacement de 2,5 points sauf pour les digraphes, Opendyslexic et espacement par défaut). La deuxième repose sur la manipulation de l'espacement inter-lettres (0, 1, 2, 2.5 points). Le but est de déterminer si une police et/ou un espacement inter-lettres spécifique peuvent améliorer les performances de lecture des enfants dyslexiques présentant ou non un trouble de l'empan visuo-attentionnel.

Bibliographie

- Abrams, R. A., Meyer, D. E., & Kornblum, S. (1989). Speed and accuracy of saccadic eye movements: characteristics of impulse variability in the oculomotor system. *Journal of experimental psychology. Human perception and performance*, 15(3), 529–543.
- Ambrose, G., Harris, P. (2008). *Typographie, l'organisation, le style et l'apparence des caractères typographiques*. Paris, France : Éditions Pyramid.
- American Psychiatric Association, DSM-V (2013) : diagnostic and statistical manual of mental disorders, 5ème édition, Washington, American Psychiatric Association.
- Ans, B., Carbonnel, S. & Valdois, S. (1998). A connectionist multi-trace memory model of polysyllabic word reading. *Psychological Review*, 105, 678-723.
- Baccino, T., & Draï-Zerbib, V. (2015). *La lecture numérique*. Grenoble, France : Presses universitaires de Grenoble.
- Bachmann, C., & Mengheri, L. (2018). Dyslexia and Fonts: Is a Specific Font Useful?. *Brain sciences*, 8(5), 89.
- Baddeley, A. D. (1990). *Human memory*. London, England : Earlbaum.
- Badian, N. A. (1993). Phonemic awareness, naming, visual symbol processing, and reading. *Reading and Writing: An Interdisciplinary Journal*, 5(1), 87–100.
- Balogh, S. A., Sherman, G. F., Hyde, L. A., & Denenberg, V. H. (1998). Effects of neocortical ectopias upon the acquisition and retention of a non-spatial reference memory task in BXSB mice. *Brain research. Developmental brain research*, 111(2), 291–293.
- Beauvois, M. F., & Dérouesné, J. (1979). Phonological alexia: three dissociations. *Journal of neurology, neurosurgery, and psychiatry*, 42(12), 1115–1124.
- Bellocchi, S., Muneaux, M., Bastien-Toniazzo, M., & Ducrot, S. (2013). I can read it in your eyes: what eye movements tell us about visuo-attentional processes in developmental dyslexia. *Research in developmental disabilities*, 34(1), 452–460.
- Bentley, M. (1921) Leading and legibility. *Psychological Monographs* 30, p. 48-61

- Bernard, M. L., Chaparro, B. S., Mills, M. M., & Halcomb, C. G. (2002). Examining children's reading performance and preference for different computer-displayed text. *Behaviour & Information Technology*, 21, 87-96.
- Berninger, V.W. (1987). Global, component, and serial processing of printed words in beginning reading. *Journal of Experimental Child Psychology*, 43, 387-418.
- Boden, C., & Giaschi, D. (2007). M-stream deficits and reading-related visual processes in developmental dyslexia. *Psychological Bulletin*, 133(2), 346–366.
- Boer, C. (2008). Dyslexie font. Retrieved from <https://www.dyslexiefont.com/en/home/>
- Boer, C. (2015). Dyslexie Lettertype. [Dyslexie Font]. Retrieved on January 29, 2015, from <http://www.Dyslexiefont.com/nl/Dyslexie-lettertype/>
- Bosse, M. L., Tainturier, M. J., & Valdois, S. (2007). Developmental dyslexia: the visual attention span deficit hypothesis. *Cognition*, 104(2), 198–230.
- Bosse, M.L. & Valdois, S. (2009). Influence of the visual attention span on child reading performance : a cross-sectional study. *Journal of Research in Reading*, 32, 2, 230-253.
- Bouma, H. (1980). Visual reading processes and the quality of text displays. In E. Grandjean, & E. Vigliani (Eds.), *Ergonomic aspects of visual display terminals*, 101-114. London, England : Taylor and Francis.
- Bowers, P. G., Wolf, M. (1993). Theoretical links among naming speed, precise timing mechanisms and orthographic skill in dyslexia. *Reading and Writing*, 5(1), 69-85.
- Caravolas, M., Hulme, C., & Snowling, M. J. (2001). The foundations of spelling ability: Evidence from a 3-year longitudinal study. *Journal of Memory and Language*, 45, 751-774.
- Casalis, S., Bois Parriaud, F., Cavalli, E., Chaix, Y., Colé, P., Leloup, G., Sprenger-Charolles, L., Szmalec, A., Valdois, S., Zoubrinetzky, R. (2018). *Les dyslexies*. Issy-les-Moulineaux, France : Elsevier Masson.
- Casalis, S., Leloup, G., & Bois Parriaud, F. (2013). *Prise en charge des troubles du langage écrit chez l'enfant*. Issy-les-Moulineaux, France : Masson.
- Chung, S.T.L. (2002). The effect of letter spacing on reading speed in central and peripheral vision. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 43(2). 1270-1276.

- Coltheart, M. (1978). Lexical access in simple reading tasks. In G. Underwood (Eds.), *Strategies of information processing* (pp.151-216). London, England : Academic Press.
- Coltheart, M., Curtis, B., Atkins, P., & Haller, M. (1993). Models of reading aloud : Dual-route and parallel-distributed-processing approaches. *Psychological Review*, *100*, 589-608.
- Coltheart, M., Rastle, K., Perry, C., Langdon, R., & Ziegler, J. (2001). DCR a dual route cascaded model of visual word recognition and reading aloud. *Psychological Review*, *108*(1), 204-256.
- Compton, D. L. (2003). Modeling the relationship between growth in rapid naming speed and growth in decoding skill in firstgrade children. *Journal of Educational Psychology*, *95*(2), 225.
- Denckla, M. B., & Rudel, R. G. (1976). Rapid "automatized" naming (R.A.N.): Dyslexia differentiated from other learning disabilities. *Neuropsychologia*, *14*(4), 471–479.
- Dubois, M., Kyllingsbaek, S., Prado, C., Musca, S. C., Peiffer, E., Lassus-Sangosse, D., & Valdois, S. (2010). Fractionating the multi-character processing deficit in developmental dyslexia: Evidence from two case studies. *Cortex; a journal devoted to the study of the nervous system and behavior*, *46*(6), 717–738.
- Facchetti, A., Lorusso, M. L., Paganoni, P., Cattaneo, C., Galli, R., & Mascetti, G. (2003). The time course of attentional focusing in dyslexic and normally reading children. *Brain and Cognition*, *53*, 181–184.
- Frith, U. (1985). Beneath the surface of developmental dyslexia. In K.E. Patterson, J.C. Marshall, & M. Coltheart (Eds.), *Surface Dyslexia*, (pp. 301-330). Hove, England : Erlbaum.
- Galaburda, A. M., Sherman, G. F., Rosen, G. D., Aboitiz, F., & Geschwind, N. (1985). Developmental dyslexia: four consecutive patients with cortical anomalies. *Annals of neurology*, *18*(2), 222–233.
- Galliussi, J., Perondi, L., Chia, G., Gerbino, W., & Bernardis, P. (2020). Inter-letter spacing, inter-word spacing, and font with dyslexia-friendly features: testing text readability in people with and without dyslexia. *Annals of Dyslexia*, *70*(1), 141–152. <https://doi.org/10.1007/s11881-020-00194-x>
- Gathercole, S., & Baddeley, A. (1993). Phonological working memory: A critical Building block for reading development and vocabulary Acquisition? *European Journal of Psychology of Education*, *8*(3), 259-272.

- Gombert, J.E. (1990). *Le développement métalinguistique*. Paris, France : PUF.
- Gonzalez, A. (2012). OpenDyslexic: a font. Retrieved from <http://opendyslexic.org/>
- Goswami, U., & Bryant, P. (1990). *Phonological skills and learning to read*. Hove, England : Erlbaum.
- Gough, P. B., & Juel, C. (1989). Les premières étapes de la reconnaissance des mots. In : L. Rieben & C. Perfetti, *L'apprenti lecteur. Recherches empiriques et implications pédagogiques* (pp.85-102). Neuchâtel et Paris, France : Delachaux & Niestlé.
- Gough, P. B., & Tunmer, W. (1986). Decoding, reading and reading disability. *Remedial and Special Education*, 7, 6-10.
- Habib, M. (1997). *Dyslexie : Le cerveau singulier*. Marseille, France : Solal.
- Hakvoort, B., van den Boer, M., Leenaars, T., Bos, P., & Tijms, J. (2017). Improvements in reading accuracy as a result of increased interletter spacing are not specific to children with dyslexia. *Journal of Experimental Child Psychology*, 164, 101–116. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2017.07.010>.
- He, Y., & Legge, G. E. (2017). Linking crowding, visual span and reading. *Journal of Vision*, 17(11), 1-15. doi: 10.1167/17.11.11.
- Herman, A. E., Galaburda, A. M., Fitch, R. H., Carter, A. R., & Rosen, G. D. (1997). Cerebral microgyria, thalamic cell size and auditory temporal processing in male and female rats. *Cerebral cortex*, 7(5), 453–464.
- Høien, T., & Lundberg, I. (1988). Stages of word recognition in early reading development. *Scandinavian Journal of Educational Research*, 32, 163-182.
- Hubel, D. H., & Wiesel, T. N. (1979). Brain mechanisms of vision. *Scientific American*, 241(3), 150–162.
- Jacquier-Roux, M., Lequette C., Pouget G., Valdois S., & Zorman M. (2010). B.A.L.E : Batterie analytique du langage écrit. Laboratoire de Psychologie et Neurocognition, CNRS Grenoble.
- Jorm, A.F., & Share, D.L. (1983). Phonological recoding and reading acquisition. *Applied Psycholinguistics*, 4, 103-147.

- Kaufmann, W. E., & Galaburda, A. M. (1989). Cerebrocortical microdysgenesis in neurologically normal subjects: a histopathologic study. *Neurology*, 39(2 Pt 1), 238-244.
- Kennedy, A. (2000). Parafoveal processing in word recognition. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology A: Human Experimental Psychology*, 53A(2), 429-455.
- Klare, G.R. (1969). *The measurement of Readability*, 1-2, Ames, Iowa : Iowa Univ. Press.
- Kuhn, M.R., Schwanenflugel, P.J., & Meisinger, E.B. (2010). Aligning theory and assessment of reading fluency: Automaticity, prosody, and definitions of fluency. *Reading Research Quarterly*, 45(2), 232-253.
- Kuster, S., van Weerdenburg, M., Gompel, M., & Bosman, A. (2017). Dyslexie font does not benefit reading in children with or without dyslexia. *Annals of Dyslexia*, 68, 25-42. doi : 10.1007/s11881-017-0154-6
- LaBerge, D., & Samuels, S. J. (1974). Toward a theory of automatic information processing in reading. *Cognitive Psychology*, 6(2), 293-323.
- Lallier, M., Donnadieu, S., Berger, C., & Valdois, S. (2010). A case study of developmental phonological dyslexia: Is the attentional deficit in the perception of rapid stimuli sequences amodal?. *Cortex ; a journal devoted to the study of the nervous system and behavior*, 46(2), 231-241.
- Lassus-Sangosse, D., N'guyen-Morel, M.-A., & Valdois, S. (2008). Sequential or simultaneous visual processing deficit in developmental dyslexia? *Vision Research*, 48(8), 979-988. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2008.01.025>
- de Leeuw, R. (2010). Special font for dyslexia ? (Doctoral dissertation), University of Twente. Retrieved from http://www.ilo.gw.utwente.nl/ilo/attachments/032_Masterthesis_Leeuw.pdf
- Lefavrais, P. (2005). Alouette-R : Test d'analyse de la lecture et de la dyslexie.
- Legge, G. E., & Bigelow, C. A. (2011). Does print size matter for reading ? A review of findings from vision science and typography. *Journal of Vision*, 11(5), 1-22.
- Livingstone, M. S., Rosen, G. D., Drislane, F. W., & Galaburda, A. M. (1991). Physiological and anatomical evidence for a magnocellular defect in developmental dyslexia. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 88(18), 7943-7947.

- Lobier, M., Dubois, M., & Valdois, S. (2013). The Role of Visual Processing Speed in Reading Speed Development. *PLoS ONE*, 8(4).
- Lovegrove, W. J., Bowling, A., Badcock, D., & Blackwood, M. (1980). Specific reading disability: differences in contrast sensitivity as a function of spatial frequency. *Science*, 210, 439–440.
- Lovegrove, W., Martin, F., & Slaghuis, W. (1986a). A theoretical and experimental case for a visual deficit in specific reading disability. *Cognitive Neuropsychology*, 3, 225 – 267
- Liberman, I. Y. (1973). Segmentation of the spoken word and reading acquisition. *Bulletin of the Orton Society*, 23, 65–77.
- Lyon, G., Shaywitz, S., & Shaywitz, B. (2003). A definition of dyslexia. *Annals of Dyslexia*, 53, 1-14.
- Majerus, S. (2008). Verbal short-term memory and temporary activation of language representations: The importance of distinguishing item and order information. In A. Thorn & M. Page (Eds.), *Interactions between short-term and long-term memory in the verbal domain* (pp. 244-276). New York, NY: Psychology Press.
- Marinus, E., Mostard, M., Segers, E., Schubert, T., Madelaine, A., Wheldall, K. (2016). A special font for people with dyslexia : Does it work and, if so, why ? *Dyslexia*, 22, 233-244.
- Marshall, J. C., & Newcombe, F. (1973). Patterns of paralexia: A psycholinguistic approach. *Journal of Psycholinguistic Research*, 2(3), 175–199.
- Martelli M, Di Filippo G, Spinelli D, Zoccolotti P (2009) Crowding, reading, and developmental dyslexia. *Journal of vision*, 9(4), 1–18.
- Martin, F., & Lovegrove, W. (1987). Flicker contrast sensitivity in normal and specifically disabled readers. *Perception*, 16(2), 215–221.
- Martinet, C. (2010). Comment favoriser les apprentissages des élèves présentant une dyslexie-dysorthographe ? Repérage et pistes d'aménagements pédagogiques. *Revue CSPS-SZH*, 7-8, 26-31.
- Martinez-Conde, S., Macknik, S. L., & Hubel, D. H. (2000). Microsaccadic eye movements and firing of single cells in the striate cortex of macaque monkeys. *Nature neuroscience*, 3(3), 251–258.

- Martinez Perez, T., Majerus, S., Mahot, A., & Poncelet, M. (2012). Evidence for a specific impairment of serial order short-term memory in dyslexic children. *Dyslexia*, *18*(2), 94-109.
- Masonheimer, P.E., Drum, P.A., & Ehri, L.C. (1984). Does environmental print identification lead children into word reading? *Journal of Reading Behavior*, *16*, 257-271.
- Masulli, F., Galluccio, M., Gerard, C. L., Peyre, H., Rovetta, S., & Bucci, M. P. (2018). Effect of different font sizes and of spaces between words on eye movement performance: An eye tracker study in dyslexic and non-dyslexic children. *Vision research*, *153*, 24–29.
- McBride-Chang, C., & Manis, F. R. (1996). Structural invariance in the associations of naming speed, phonological awareness, and verbal reasoning in good and poor readers: A test of the double deficit hypothesis. *Reading and Writing: An Interdisciplinary Journal*, *8*(4), 323–339.
- Melby-Lervåg, M., Lyster, S.-A. H., & Hulme, C. (2012). Phonological skills and their role in learning to read: A meta-analytic review. *Psychological Bulletin*, *138*(2), 322–352.
- Miller, J. R., & Kintsch, W. (1980). Readability and recall of short prose passages: A theoretical analysis. *Journal of Experimental Psychology: Human Learning and Memory*, *6*(4), 335–354.
- Mohamad Ali, A. Z., Wahid, R., Samsudin, K., & Zaffwan Idris, M. (2013). Reading on the computer screen: Does font type has effects on Web text readability? *International Education Studies*, *6*(3), 26–35. <https://doi.org/10.5539/ies.v6n3p26>
- Morais, J. (1994). *L'art de lire*. Paris, France : Odile Jacob
- Neuhaus, G., Foorman, B. R., Francis, D. J., & Carlson, C. D. (2001). Measures of information processing in rapid automatized naming (RAN) and their relation to reading. *Journal of Experimental Child Psychology*, *78*(4), 359–373.
- Nicolson, R. I., & Fawcett, A. J. (1990). Automaticity: a new framework for dyslexia research? *Cognition*, *35*(2), 159–182. [https://doi.org/10.1016/0010-0277\(90\)90013-a](https://doi.org/10.1016/0010-0277(90)90013-a)
- Nicolson, R. I., Fawcett, A. J., & Dean, P. (2001). Developmental dyslexia: the cerebellar deficit hypothesis. *Trends in neurosciences*, *24*(9), 508–511.

- Norton, E. S., Beach, S. D., & Gabrieli, J. D. (2015). Neurobiology of dyslexia. *Current opinion in neurobiology*, 30, 73–78.
- O’Brien, B-A., Mansfield, J-S., & Legge G-E. (2005). The effect of print size on reading speed in dyslexia. *Journal of Research in Reading*, 28, 332-349.
- Olitsky, S. E., & Nelson, L. B. (2003). Reading disorders in children. *Pediatric clinics of North America*, 50(1), 213–224.
- Olson, R., Wise, B., Conners, F., Rack, J., & Fulker, D. (1989). Specific deficits in component reading and language skills: Genetic and environmental influences. *Journal of Learning Disabilities*, 22(6), 339–348.
- O'Regan J. K. (1990). Eye movements and reading. *Reviews of oculomotor research*, 4, 395–453.
- Paterson, D., Tinker, M. A. (1929). Studies of typographical factors influencing speed of reading. *Journal of Applied Psychology*, 13, 120-130.
- Perea, M., & Lupker, S. J. (2004). Can CANISO activate CASINO! Transposed-letter similarity effects with nonadjacent letter positions. *Journal of Memory and Language*, 51(2), 231–246.
- Perea, M., Panadero, V., Moret-Tatay, C., & Gomez, P. (2012). The effects of inter-letter spacing in visual-word recognition: Evidence with young normal readers and developmental dyslexics. *Learning and Instruction*, 22, 420–430.
- Pernet, C., Valdois, S., Celsis, P., & Demonet, J-F. (2006). Lateral masking, levels of processing and stimulus category: A comparative study between normal and dyslexic readers. *Neuropsychologia*, 44, 2374-2385.
- Peyrin, C., Lallier, M., Démonet, J. F., Pernet, C., Baciou, M., Le Bas, J. F., & Valdois, S. (2012). Neural dissociation of phonological and visual attention span disorders in developmental dyslexia: FMRI evidence from two case reports. *Brain and language*, 120(3), 381–394.
- Pohlen, J. (2009). Letterfontein [Letter Fountain]. Roermond, the Netherlands: Fontana.
- Prado, C., Dubois, M., & Valdois, S. (2007). The eye movements of dyslexic children during reading and visual search: impact of the visual attention span. *Vision research*, 47(19), 2521–2530. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2007.06.001>

- Ramus F. (2003). Developmental dyslexia: specific phonological deficit or general sensorimotor dysfunction?. *Current opinion in neurobiology*, 13(2), 212–218.
- Ramus F. (2004). Neurobiology of dyslexia: a reinterpretation of the data. *Trends in neurosciences*, 27(12), 720–726. <https://doi.org/10.1016/j.tins.2004.10.004>
- Ramus, F. (2007). Nouvelles perspectives sur la neurobiologie de la dyslexie développementale. In E. Demont & M. N. Metz-Lutz (Eds.), *L'acquisition du langage et ses troubles*. Marseille, France: Solal.
- Ramus, F., Rosen, S., Dakin, SC., Day BL., Castellote, J.M., White, S., Frith, U. (2003). Theories of developmental dyslexia : insights from a multiple case study of dyslexic adults. *Brain*, 126 (4), 841-865.
- Rayner, K. (1998). Eye movements in reading and information processing: 20 years of research. *Psychological Bulletin*, 124(3), 372–422.
- Regnier, T. (2019). *Impact des polices de caractères pour dyslexiques sur la fluence en lecture* [Thèse de Master, Université de Liège]. MatheO.
- Rello, L., & Baeza-Yates, R. (2013). Good fonts for dyslexia. *ASSETS*.
- Rello, L. & Baeza-Yates, R. (2017). How to present more readable texte for people with dyslexia. *Universal Access in the Information Society*, 16, 29-49.
- Risko, E. F., Lanthier, S. N., & Besner, D. (2011). Basic processes in reading: The effect of interletter spacing. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 37, 1449–1457. doi:10.1037/a0024332
- Rivoire, J. (2019). *Etudes des effets des espacements inter-lignes et inter-lettres sur la qualité de la lecture sur écran chez les enfants dyslexiques et normo-lecteurs* [Thèse de Master, Université de Liège]. MatheO.
- Scarborough, D. L. (1972). Memory for brief visual displays of symbols. *Cognitive Psychology*, 3, 408–429.
- Schneider, W., & Shiffrin, R. M. (1977). Controlled and automatic human information processing: I. Detection, search, and attention. *Psychological Review*, 84(1), 1–66.
- Schwanenflugel, P.J., Hamilton, A.M., Kuhn, M.R., Wisenbaker, J.M., & Stahl, S.A. (2004). Becoming a fluent reader: Reading skill and prosodic features in the oral reading of young readers. *Journal of Educational Psychology*, 96, 119-129.

- Shaywitz, S. (2003). *Overcoming dyslexia*. New York, NY : Knopf.
- Stein, J. F., Richardson, A. J., & Fowler, M. S. (2000). Monocular occlusion can improve binocular control and reading in dyslexics. *Brain : a journal of neurology*, 123 (Pt 1), 164–170.
- Seymour, P.H.K. (1996). Implications des modèles cognitifs dans la rééducation des dyslexies développementales. In S. Carbonnel, P. Gillet, M.D. Martory et S. Valdois (Eds.). *Approche cognitive des troubles de la lecture et de l'écriture chez l'enfant et l'adulte*, 301-323, Marseille, France: Solal.
- Snowling, M.J. (2000). *Dyslexia* (2nd ed.). Oxford, England : Blackwell.
- Spinelli, D., De Luca, M., Judica, A., & Zoccolotti, P. (2002). Crowding effects on word identification in developmental dyslexia. *Cortex*, 38, 179–200.
- Sprenger-Charolles, L. (1991). *Word-identification strategies in a picture context: Comparisons between "good" and "poor" readers*. In L. Rieben & C. A. Perfetti (Eds.), *Learning to read: Basic research and its implications*, 175–187, Hillsdale, NJ : Erlbaum.
- Sprenger-Charolles, L. & Colé, P. (2003). *Lecture et Dyslexie : Approche cognitive*. Paris, France : Dunod.
- Sprenger-Charolles, L., & Colé, P. (2013). *Lecture et dyslexie : Approche cognitive*. Paris, France : Dunod.
- Sprenger-Charolles, L., Siegel, L.S., & Bonnet, P. (1998). Reading and spelling acquisition in French : The role of phonological mediation and orthographic factors. *Journal of Experimental Child Psychology*, 68, 134-165.
- Stein, J.F., Fowler, S. (1981). Visual dyslexia. *Trends Neurosci*, 4, 77–80.
- Swan, D., & Goswami, U. (1997). Phonological awareness deficits in developmental dyslexia and the phonological representations hypothesis. *Journal of Experimental Child Psychology*, 66, 18-41.
- Tallal, P. (1980). Auditory temporal perception, phonics, and reading disabilities in children. *Brain and Language*, 9(2), 182–198.
- Tinker, M. A. (1964). *Legibility of print*, Ames, Iowa : The Iowa State University Press.
- Tunmer, W.E, Herriman, M.L., & Nesdale, A.R. (1988). Metalinguistic abilities and beginning reading. *Reading Research Quarterly*, 23, 134-158.

- Valdois, S., Bidet-ildei, C., Lassus-sangosse, D., Reilhac, C., N'Guyen, M.A., Guinet, E., Orliaguet, J.P. (2011). *A visual processing but no phonological disorder in a child with mixed dyslexia. CORTEX, 47(10), 1197–1218.*
- Valdois, S., Bosse, M. L., & Tainturier, M. J. (2004). The cognitive deficits responsible for developmental dyslexia: review of evidence for a selective visual attentional disorder. *Dyslexia (Chichester, England), 10(4), 339–363.* <https://doi.org/10.1002/dys.284>
- Valdois, S., Bosse, M.-L., Ans, B., Carbonnel, S., Zorman, M., David, D., & Pellat, J. (2003). Phonological and visual processing deficits can dissociate in developmental dyslexia: Evidence from two case studies. *Reading and Writing: An Interdisciplinary Journal, 16, 541–572.*
- Valdois, S., Guinet, E., & Embs, J.L. (2014). "EVADYS : outil de diagnostic des troubles de l'empan VA". Isbergues, France : Ortho-Editions.
- Van Den Boer, M., & Hakvoort, B. E. (2015). Default spacing is the optimal spacing for word reading. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology, 68, 697-709*
- Wagner, R. K., Torgesen, J. K., Laughon, P., Simmons, K., & Rashotte, C. A. (1993). Development of young readers' phonological processing abilities. *Journal of Educational Psychology, 85(1), 83–103.*
- Wery, J. J., & Diliberto, J. A. (2017). The effect of a specialized dyslexia font, OpenDyslexic, on reading rate and accuracy. *Annals of Dyslexia, 67(2), 114–127.* <https://doi.org/10.1007/s11881-016-0127-1>
- Wilkins, A., Cleave, R., Grayson, N., & Wilson, L. (2009). Typography for children may be inappropriately designed. *Journal of Research in Reading, 32, 402–412.* <https://doi.org/10.1111/j.1467-9817.2009.01402.x>.
- Williams, R. (2001). *Het lettertypeboek voor iedereen [The book of fonts for everybody]*. Schoonhoven, the Netherlands: Academic Services.
- Wolf, M., Bowers, P.G. (1999). The Double-Deficit Hypothesis for the Developmental Dyslexia. *Journal of Educational Psychology, 3, 418-438.*
- Wolf, M., & Katzir-Cohen, T. (2001). Reading fluency and its intervention. *Scientific Studies of Reading, 5(3), 211–239.*

- Wolf, M., & Obregon, M. (1992). Early naming deficits, developmental dyslexia, and a specific deficit hypothesis. *Brain and Language*, 42, 219-247.
- Wolford, G. (1975). Perturbation model for letter identification. *Psychological Review*, 82, 184–199.
- Yu, D., Cheung, S. H., Legge, G. E., & Chung, S. T. (2007). Effect of letter spacing on visual span and reading speed. *Journal of vision*, 7(2), 1-10.
- Zikl, P., Bartosova, K., Viskova, K., Havlickova, K., Kucirkova, A., Navratilova, J., & Zetkova, B. (2015). The possibilities of ICT use for compensation of difficulties with reading in pupils with dyslexia. *Social and Behavioral Sciences*, 176, 915-922.
- Zorzi, M., Barbiero, C., Facoetti, A., Lonciari, I., Carrozzi, M., Montico, M., Bravar, L., George, F., Pech-Georgel, C., & Ziegler, J. C. (2012). Extra-large letter spacing improves reading in dyslexia. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 109(28), 11455–11459.
- Zoubrinetzky, R., Bielle, F., & Valdois, S. (2014). New insights on developmental dyslexia subtypes: heterogeneity of mixed reading profiles. *PloS one*, 9(6), e99337.

Annexes

Annexe 1 : Listes de mots réguliers, irréguliers et de non-mots

Liste de mots réguliers	Liste de mots irréguliers	Liste de non-mots
Pousser	Compter	Bondeuse
Total	Galop	Torac
Patte	Femme	Sule
Contact	Orchestre	Rigende
Prince	Doigt	Sande
Litre	Porc	Stipe
Départ	Hiver	Givor
Poire	Poêle	Plour
Courage	Automne	Taubage
Pétale	Tabac	Pisal
Sable	Corps	Trane
Rocheux	Soixante	Aivron

Annexe 2 : Illustration de la méthodologie 1, lecture de mots réguliers

Condition 1	Condition 2	Condition 3	Condition 4
Pousser	Pousser	Pousser	Pousser
Total	Total	Total	Total
Patte	Patte	Patte	Patte
Contact	Contact	Contact	Contact
Prince	Prince	Prince	Prince
Litre	Litre	Litre	Litre
Départ	Départ	Départ	Départ
Poire	Poire	Poire	Poire
Courage	Courage	Courage	Courage
Pétale	Pétale	Pétale	Pétale
Sable	Sable	Sable	Sable
Rocheux	Rocheux	Rocheux	Rocheux

Annexe 3 : Illustration de la méthodologie 1, lecture de textes

Texte 1, condition 1 :

La fille du roi était belle, mais son père voulait qu'un vieux seigneur riche l'épouse. Elle était très triste et décida donc de tout faire pour éviter le mariage. Elle demanda à son père des cadeaux : des belles robes d'or et une peau d'âne. Puis, la princesse partit vite avant que le mariage commence et emporta ses jolies robes et sa peau d'âne. Elle trouva un emploi de servante dans un autre château. Elle s'habilla de l'horrible peau pour qu'on ne la reconnaisse pas. La jeune fille s'occupait des poules et des cochons toute la semaine. Son seul plaisir était de porter ses belles robes le dimanche. Le garçon qui vivait dans le château l'entendit chanter un dimanche et la vit par le trou de la porte. Le prince tomba amoureux et demanda à la servante de l'épouser.

Texte 2, condition 2 :

Un pauvre homme n'avait rien, sauf un chat très malin. Un jour, son chat lui demanda de lui offrir une paire de bottes. En échange, il fit la promesse de faire sa fortune. Le chat botté partit chasser des animaux qu'il ramena au roi, disant que c'était un cadeau de son riche maître. Il savait que le roi se promenait souvent à la rivière avec sa ravissante fille. Il s'y cacha alors avec son maître puis appela au secours. Il fit croire que son riche maître se noyait et que des voleurs avaient emporté ses vêtements. Le roi reconnut le petit chat botté. Il sauva vite l'homme et l'habilla joliment. Il le fit monter dans son carrosse avec la princesse qui le

trouva charmant. Le roi fut enchanté de marier sa fille à un homme qu'il pensait riche.

Texte 3, condition 3 :

Un homme habitait une maison dans un petit village proche de la forêt. Il était pauvre et avait deux filles. La plus grande était méchante et la cadette, très dévouée, était chargée de toutes les tâches ingrates de la maison. Un jour, elle partit chercher de l'eau dans une fontaine. Elle rencontra une vieille dame, habillée pauvrement, qui lui demanda à boire. Sans hésiter, elle lui donna de l'eau. Pour la remercier, la vieille dame lui fit don de transformer toutes ses paroles en pièces d'or. Le père dit alors à son autre fille de se rendre aussi à la fontaine. Une fois arrivée, elle trouva une jolie dame qui lui demanda à boire. La jeune fille lui répondit d'aller se servir elle-même ! Pour la punir, la dame qui s'était déguisée transforma toutes ses paroles en vipères.

Texte 4, condition 4 :

Il était une fois, une belle princesse qui avait quatre marraines. Elles avaient toutes des pouvoirs magiques et chacune lui avait offert un don : le savoir, la raison, l'élégance, et la beauté. Un jour, alors qu'elles étaient toutes présentes, une méchante fée arriva. Elle était très

en colère et voulait se venger de ne pas avoir été invitée. Elle jeta alors un sort à la belle princesse et la fit tomber dans un sommeil profond pendant des années. Une des quatre marraines décida d'endormir aussi tous les autres habitants. Ainsi, elle se sentirait moins seule et perdue à son réveil. Elle fit aussi pousser plein de végétaux tout autour du château. Des années plus tard, un beau prince, de retour de la chasse, trouva la belle endormie dans la verdure. Il la délivra, la réveilla, puis l'épousa.

Annexe 4: Méthodologie 2, Illustration lecture de mots réguliers

Condition 1	Condition 2	Condition 3	Condition 4
Pousser	Pousser	Pousser	Pousser
Total	Total	Total	Total
Patte	Patte	Patte	Patte
Contact	Contact	Contact	Contact
Prince	Prince	Prince	Prince
Litre	Litre	Litre	Litre
Départ	Départ	Départ	Départ
Poire	Poire	Poire	Poire
Courage	Courage	Courage	Courage
Pétale	Pétale	Pétale	Pétale
Sable	Sable	Sable	Sable
Rocheux	Rocheux	Rocheux	Rocheux

Annexe 5 : Illustration Méthodologie 2, lecture de textes

Texte 1, condition 1 :

La fille du roi était belle, mais son père voulait qu'un vieux seigneur riche l'épouse. Elle était très triste et décida donc de tout faire pour éviter le mariage. Elle demanda à son père des cadeaux : des belles robes d'or et une peau d'âne. Puis, la princesse partit vite avant que le mariage commence et emporta ses jolies robes et sa peau d'âne. Elle trouva un emploi de servante dans un autre château. Elle s'habilla de l'horrible peau pour qu'on ne la reconnaisse pas. La jeune fille s'occupait des poules et des cochons toute la semaine. Son seul plaisir était de porter ses belles robes le dimanche. Le garçon qui vivait dans le château l'entendit chanter un dimanche et la vit par le trou de la porte. Le prince tomba amoureux et demanda à la servante de l'épouser.

Texte 2, condition 2 :

Un pauvre homme n'avait rien, sauf un chat très malin. Un jour, son chat lui demanda de lui offrir une paire de bottes. En échange, il fit la promesse de faire sa fortune. Le chat botté partit chasser des animaux qu'il ramena au roi, disant que c'était un cadeau de son riche maître. Il savait que le roi se promenait souvent à la rivière avec sa ravissante fille. Il s'y cacha alors avec son maître puis appela au secours. Il fit croire que son riche maître se noyait et que des voleurs avaient emporté ses vêtements. Le roi reconnut le petit chat botté. Il sauva vite l'homme et l'habilla joliment. Il le fit monter dans son carrosse avec la princesse qui le trouva charmant. Le roi fut enchanté de marier sa fille à un homme qu'il pensait riche.

Texte 3, condition 3 :

Un homme habitait une maison dans un petit village proche de la forêt. Il était pauvre et avait deux filles. La plus grande était méchante et la cadette, très dévouée, était chargée de toutes les tâches ingrates de la maison. Un jour, elle partit chercher de l'eau dans une fontaine. Elle rencontra une vieille dame, habillée pauvrement, qui lui demanda à boire. Sans hésiter, elle lui donna de l'eau. Pour la remercier, la vieille dame lui fit don de transformer toutes ses paroles en pièces d'or. Le père dit alors à son autre fille de se rendre aussi à la fontaine. Une fois arrivée, elle trouva une jolie dame qui lui demanda à boire. La jeune fille lui répondit d'aller se servir elle - même ! Pour la punir, la dame qui s'était déguisée transforma toutes ses paroles en vipères.

Texte 4, condition 4 :

Il était une fois, une belle princesse qui avait quatre marraines. Elles avaient toutes des pouvoirs magiques et chacune lui avait offert un don : le savoir, la raison, l'élégance, et la beauté. Un jour, alors qu'elles étaient toutes présentes, une méchante fée arriva. Elle était très en colère et voulait se venger de ne pas avoir été invitée. Elle jeta alors un sort à la belle princesse et la fit tomber dans un sommeil profond pendant des années. Une des quatre marraines décida d'endormir aussi tous les autres habitants. Ainsi,

elle se sentirait moins seule et perdue à son réveil. Elle fit aussi pousser plein de végétaux tout autour du château. Des années plus tard, un beau prince, de retour de la chasse, trouva la belle endormie dans la verdure. Il la délivra, la réveilla, puis l'épousa.