

MEMOIRE

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

Max DANEL

qui sera soutenu publiquement en juin 2021

**Comment devient-on un lecteur expert ?
Étude de la mise en place des réseaux de la lecture chez
l'enfant**

MEMOIRE dirigé par
Gwendoline MAHÉ, Maître de conférences, Université de Lille, Lille

Lille – 2021

Remerciements

Je remercie sincèrement Gwendoline Mahé pour sa grande bienveillance, disponibilité, compréhension et écoute tout au long de ces deux ans.

Je remercie mes parents et les amis qui m'ont soutenu dans la rédaction de ce mémoire.

Résumé :

L'acquisition de la lecture repose sur le décodage des graphèmes en phonèmes et sous-tend plusieurs prérequis, notamment la connaissance du nom et du son des lettres ainsi que la conscience phonologique. Pendant l'apprentissage de la lecture, une zone appelée « aire de la forme visuelle des mots » située dans le cortex occipito-temporal gauche, se spécialise pour le traitement visuel des stimuli écrits. Plusieurs études ont mesuré cette spécialisation cérébrale pour l'écrit via la composante N170, qui présente une plus grande amplitude pour les stimuli écrits comparativement à des stimuli visuels non-langagiers. Alors que l'apprentissage de la lecture a pour unité phonologique de référence le phonème, l'hypothèse du pont syllabique postule qu'un entraînement aux conversions graphèmes-syllabes favoriserait l'apprentissage de la lecture. L'objectif de notre étude est de déterminer quelle unité phonologique favorise le plus la spécialisation cérébrale pour l'écrit, entre la syllabe et le phonème. Pour cela notre étude compare deux programmes d'entraînement à la lecture chez des enfants pré-lecteurs, l'un axé sur le phonème, l'autre sur la syllabe. Nous réalisons des mesures comportementales et EEG en phase de pré-test et post-test pour comparer les effets de l'entraînement et les spécialisations cérébrales de la N170. Les résultats descriptifs portent sur deux sujets et vont dans le sens de nos hypothèses : les sujets ont amélioré leurs scores en lecture de syllabes et conscience phonologique. Le sujet pré-lecteur a développé une spécialisation cérébrale pour l'écrit plus marquée pour les stimuli syllabes. L'étude doit encore être poursuivie sur un plus grand nombre de sujets, mais les résultats hypothétiques envisagent la syllabe comme unité phonologique de prédilection dans l'apprentissage des correspondances lettres-sons.

Mots-clés :

Lecture, syllabe, entraînement, spécialisation cérébrale, N170

Abstract :

Reading acquisition is based on graphemes-to-phonemes mapping and requires several prerequisites, including letter names and sounds knowledge as well as phonological awareness. During reading acquisition, an area called the "visual word form area" located in the left occipitotemporal cortex specializes in the visual processing of print. Several studies have measured this brain sensitivity for print via the N170 component, which presents a greater amplitude for print stimuli compared to visual control stimuli. While the phonological unit of reference for reading acquisition is the phoneme, the « syllabic bridge » hypothesis postulates that training in grapheme-syllable conversions would improve the reading acquisition. The objective of our study is to determine which phonological unit enables a better brain sensitivity to print, between the syllable and the phoneme. To this end, our study compares two reading training programs for pre-readers, one focused on the phoneme, the other on the syllable. Behavioral and EEG measurements are realized in the pre- and post-test phases to compare the effects of training and the brain specializations of the N170. The results show that both subjects improved their scores in syllables reading and phonological awareness. The pre-reader subject developed a more pronounced brain sensitivity for syllable stimuli. The study still needs to be continued on a larger number of subjects, but the hypothetical results consider the syllable as the phonological unit of reference in learning

letter-sound correspondences.

Keywords :

Reading, syllable, training, brain sensitivity, N170

Table des matières

Introduction	1
Contexte théorique, buts et hypothèses	1
1. L'apprentissage de la lecture	1
1.1. Principe alphabétique	1
1.1.1. Définitions	1
1.2. Modèles d'apprentissage de la lecture	2
1.2.1. Le modèle de lecture à double voie	2
1.2.2. Les stades de l'apprentissage de la lecture	2
1.3. Facteurs prédictifs des compétences de lecture	3
1.3.1. La connaissance du nom et du son des lettres	3
1.3.2. La conscience phonologique	3
2. La reconnaissance visuelle des mots	4
2.1. L'expertise pour le traitement de l'écrit	4
2.1.1. Le rôle majeur du cortex occipito-temporal gauche : la visual word form area	4
2.2. La composante N170	5
2.2.1. La théorie du mapping phonologique	6
2.2.2. L'étude de Brem et collègues (2010)	6
3. Le rôle de la syllabe	7
3.1. Définitions	7
3.2. Le traitement de la syllabe à l'écrit	7
3.2.1. Chez le lecteur expert	7
3.2.2. Chez l'apprenti lecteur	8
3.2.3. Chez le pré-lecteur : l'hypothèse du pont syllabique et le modèle DIAMS	8
3.2.4. Chez le pré-lecteur : l'étude de Vazeux et collègues (2020)	10
4. Problématique, buts et hypothèses	10
Proposition de méthodologie	11
1. Procédure de recrutement	11
2. Participants	11
3. Pré-tests et post-tests	12
3.1. Mesures comportementales	12
3.1.1. Matrices de Raven (pré-test)	12
3.1.2. Connaissance du nom et du son des lettres	12
3.1.3. Lecture de syllabes	12
3.1.4. Tâche de suppression du phonème final	12
3.2. Mesures électrophysiologiques	13
3.3. Phase d'entraînement	13
3.3.1. Séance 1 : entraînement de 4 syllabes (BA BI FA FI) ou lettres (B F A I)	14
3.3.2. Séance 2 : entraînement de 4 syllabes (SO SU TO TU) ou lettres (S T O U)	15
3.3.3. Séance 3 : entraînement de 4 syllabes (BA BI SO SU) ou lettres (B S I O)	15
3.3.4. Séance 4 : entraînement de 4 syllabes (FA FI TO TU) ou lettres (F T U A)	15
3.3.5. Séance 5 : introduction à la combinatoire	15
3.4. Analyse des données	16
3.4.1. Analyse des données comportementales	16
3.4.2. Analyse des données électroencéphalographiques	16
Résultats	16
1. Sujet 1	16
1.1. Résultats des données comportementales	16
1.1.1. Pré-tests	16
1.2. Résultats des données EEG	16
1.2.1. Pré-entraînement	17

2. Sujet 2	17
2.1. Résultats des données comportementales	17
2.1.1. Pré-tests	17
2.1.2. Post-tests	17
2.2. Résultats des données EEG	18
2.2.1. Pré-entraînement	18
2.2.2. Post-entraînement	18
3. Sujet 3	19
3.1. Résultats aux données comportementales	19
3.1.1. Pré-test	19
3.1.2. Post-test	19
3.2. Résultats des données EEG	20
3.2.1. Pré-entraînement	20
3.2.2. Post-entraînement	20
Discussion	21
1. Analyse des résultats obtenus	21
1.1. Effets bénéfiques de l'entraînement : amélioration de la lecture de syllabes et de la conscience phonologique	21
1.2. Spécialisation cérébrale pour l'écrit	22
1.2.1. Un sujet pré-lecteur : exemple du sujet 2	22
1.2.2. Sujets déjà lecteurs : exemple des sujets 1 et 3	23
2. Limites de l'étude	23
2.1. Limites exogènes : impact de la crise sanitaire sur notre étude	23
2.2. Limites endogènes : limites liées à l'étude elle-même	24
3. Apport de l'étude pour la pratique orthophonique	25
Conclusion	26
Bibliographie	28
Liste des annexes	33
Annexe n°1 : Lettre d'information pour les parents	33
Annexe n°2 : Formulaire de consentement destiné aux parents	33
Annexe n°3 : Lettre d'information destinée aux enfants	33
Annexe n°4 : Questionnaire aux parents en début d'étude	33
Annexe n°5 : Questionnaire de latéralité posé à l'enfant au début de l'étude	33
Annexe n°6 : Affiche de recrutement pour le personnel de l'université	33
Annexe n°7 : Tests comportementaux	33
Annexe n°8 : Liste des stimuli de l'épreuve de détection de répétition avec enregistrement EEG	33
Annexe n°9 : Protocole des séances d'entraînement	33

Introduction

Dans notre société où le langage écrit est omniprésent, l'apprentissage de la lecture représente un enjeu déterminant pour une bonne intégration scolaire, professionnelle et sociale. L'apprentissage de la lecture est un des enjeux majeurs de l'éducation primaire. Son apprentissage repose sur l'acquisition des correspondances entre les unités orthographiques (i.e., les lettres) et les unités phonologiques (i.e. les phonèmes) de la langue. Alors que la « méthode globale » a été privilégiée à un moment, les méthodes d'apprentissage de la lecture d'aujourd'hui soulignent l'importance d'enseigner explicitement les liens entre les unités orthographiques et phonologiques. Ainsi, la plupart des travaux sur l'apprentissage de la lecture se sont centrés sur les liens lettres-phonèmes (Ehri, 2005). Cependant, de nombreuses études ont mis en évidence une meilleure perception des unités syllabiques dans le traitement des mots écrits chez des enfants en cours d'apprentissage de la lecture (Chetail & Mathey, 2009 ; Doignon & Zagar, 2006). Le rôle potentiel des unités syllabiques a été négligé alors qu'il est communément admis que les enfants pré-lecteurs ont difficilement accès aux unités phonémiques (Demont & Gombert, 1996).

Des études en neurosciences ont permis de mettre en évidence une spécialisation cérébrale traduite par la composante N170 pour l'écrit lors de l'apprentissage de la lecture et notamment des correspondances entre les unités orthographiques et les unités phonologiques (McCandliss & Noble, 2003 ; Brem et al., 2010). Dans ce contexte, déterminer quelle est l'unité phonologique entre la syllabe et le phonème la plus pertinente pour établir les correspondances lettres-sons semble primordial, et ce afin d'optimiser les méthodes d'apprentissage de la lecture. L'étude de Vazeux et collègues (2020) postule qu'un enseignement des liens entre syllabes phonologiques et lettres améliorerait davantage la conscience phonémique qu'un enseignement axé sur le phonème, et pourrait par la suite donner de meilleurs résultats en lecture, chez des enfants pré-lecteurs. Afin de confirmer l'étude de Vazeux et collègues (2020), notre étude comportera, en plus des mesures comportementales similaires à l'étude de Vazeux, des mesures électrophysiologiques pour déterminer si un entraînement aux correspondances lettres-sons basé sur la syllabe engendre une meilleure spécialisation de la composante N170 pour l'écrit qu'un entraînement basé sur le phonème, chez des enfants pré-lecteurs. Le contexte théorique, développé dans les paragraphes suivants, est articulé autour de trois thématiques : l'apprentissage de la lecture, la reconnaissance visuelle des mots, et enfin le rôle du traitement de la syllabe à l'écrit.

Contexte théorique, buts et hypothèses

1. L'apprentissage de la lecture

1.1. Principe alphabétique

1.1.1. Définitions

Le langage oral est constitué de séquences de phonèmes (i.e. plus petite unité sonore de la langue). Le langage écrit lui, se compose de séquences de graphèmes (i.e. lettre ou

groupe de lettres) afin de transcrire les sons. Très brièvement, on peut considérer la lecture comme le décodage des graphèmes en phonèmes. C'est ce qu'on appelle le principe alphabétique. Selon un rapport Éduscol du Ministère de l'Education Nationale « l'une des conditions pour apprendre à lire et à écrire est d'avoir découvert le principe alphabétique selon lequel l'écrit code en grande partie, non pas directement le sens, mais l'oral (la sonorité) de ce qu'on dit. Durant les trois années de l'école maternelle, les enfants vont découvrir ce principe (c'est-à-dire comprendre la relation entre lettres et sons) et commencer à le mettre en œuvre. » (Ministère de l'Éducation nationale, de l'enseignement supérieur et de la recherche, 2015, p.4)

De manière générale, la lecture suppose la combinaison de deux traitements de l'écrit. Le premier traitement, de bas niveau, correspond à la reconnaissance visuelle des mots écrits. Le second traitement, de haut niveau, requiert la compréhension de l'écrit. Si L représente la lecture, R la reconnaissance des mots écrits, et C la compréhension en lecture, alors la lecture peut être schématiquement résumée par le produit suivant : $L = R \times C$ (Gough & Tunmer, 1986 ; Hoover & Gough, 1990).

1.2. Modèles d'apprentissage de la lecture

1.2.1. Le modèle de lecture à double voie

Le modèle de lecture à double voie (Coltheart et al., 2001) est le modèle cognitiviste de référence de la lecture. Après l'analyse visuelle du mot écrit, le modèle présente deux voies parallèles et indépendantes auxquelles le lecteur expert peut avoir recours.

La voie phonologique (appelée aussi « voie indirecte » ou « voie par assemblage »), qui utilise l'ensemble des règles de la conversion graphème-phonème (CGP), est la voie appliquée aux pseudo-mots et aux mots rares. Il s'agit de la voie privilégiée pour l'apprenti lecteur. Chez le lecteur expert, la procédure phonologique est peu utilisée.

La voie lexicale (appelée aussi « voie directe » ou « voie par adressage ») passe par la reconnaissance de la forme orthographique des mots familiers. La forme orthographique est ensuite associée à la représentation phonologique du mot dans le lexique phonologique de sortie. Lors de cette reconnaissance automatique, le mot est également associé à son sens en passant par le système sémantique. C'est la procédure de prédilection du lecteur expert, qui permet de traiter les mots familiers qu'ils soient réguliers ou irréguliers.

1.2.2. Les stades de l'apprentissage de la lecture

L'apprentissage de la lecture comporte plusieurs stades. De nombreux auteurs dégagent trois stades d'apprentissage de la lecture se succédant : la procédure logographique, la procédure alphabétique et la procédure orthographique.

La procédure logographique correspond à la reconnaissance visuelle des mots avant l'apprentissage de la lecture. Dans cette procédure préliminaire, les mots écrits sont traités comme des images, et sont associés à des mots oraux (Morton, 1989). À ce stade, l'ordre et l'identité des lettres qui composent les mots ne sont pas traités.

La procédure alphabétique correspond à la conversion graphème-phonème, soit les règles de correspondances entre les unités orthographiques et les unités phonologiques. Le recours à cette procédure repose sur l'apprentissage explicite de l'alphabet, déterminante pour la CGP (Ehri, 2000). Dans le modèle à double voie, elle correspond à la voie phonologique.

La procédure orthographique consiste à reconnaître la forme visuelle du mot, située dans le lexique orthographique, sans passer par le décodage phonologique. Elle correspond à la voie lexicale dans le modèle à double voie.

1.3. Facteurs prédictifs des compétences de lecture

Plusieurs prérequis sous-tendent de bonnes compétences en lecture. Scarborough (1998) en identifie plusieurs : la connaissance des concepts liés à l'écriture, la connaissance du nom et du son des lettres, la conscience phonologique, les capacités de dénomination rapide ainsi que la mémoire phonologique à court terme. Une faiblesse dans ces domaines peut entraîner des difficultés d'entrée dans le langage écrit. Tout en contrôlant d'autres paramètres environnementaux ou génétiques, deux compétences des pré-lecteurs ont été rapportées comme particulièrement prédictrices du futur niveau de lecture : la connaissance des lettres et la conscience phonologique (Treiman, 2006 ; Anthony, 2005). Nous nous intéresserons ici à ces deux prérequis qui seront évalués dans notre étude.

1.3.1. La connaissance du nom et du son des lettres

La connaissance des lettres fait référence à la connaissance du nom et du son des lettres. De nombreux travaux ont montré que la connaissance du nom des lettres apparaît avant la connaissance du son des lettres. Dans la littérature, il est aujourd'hui admis que pour le pré-lecteur, la dénomination des lettres est un des meilleurs prédicteurs des futures compétences de lecture (Foulin, 2005). Dans l'étude de Piquard-Kipffer (2003), la connaissance du nom des lettres en grande section de maternelle arrive deuxième meilleur prédicteur du niveau de lecture en fin de CP. Tandis que dans l'étude de Negro et Genelot (2009), la capacité à dénommer des lettres arrive en première position. La méta-analyse de Scarborough (1998) montre également qu'en fin de première année d'école élémentaire, la connaissance du nom des lettres est le meilleur prédicteur du niveau de lecture. Les résultats de l'étude de Hillairet de Boisferon (2010), quant à eux, révèlent que la connaissance du nom des lettres permettrait le développement des habiletés métaphonologiques et l'acquisition des correspondances lettres-sons. En effet, la connaissance du nom des lettres permet de comprendre le principe alphabétique (Byrne, 1998), notamment quand le phonème de la lettre est présent dans le nom de la lettre (McBride Chang, 1999).

En plus de favoriser les compétences ultérieures de décodage, la connaissance des lettres serait un prérequis à la conscience phonologique. Plusieurs études soulignent l'interdépendance de ces deux prérequis afin de maîtriser le principe alphabétique. En effet, les travaux de Castles et Coltheart (2004) ainsi que de Byrne et Fielding-Barnsley (1989) mettent en évidence que l'association de la connaissance des lettres et de la conscience phonologique donnent de meilleurs résultats en lecture. Par conséquent, la connaissance des lettres est un prérequis capital pour l'entrée dans le langage écrit.

1.3.2. La conscience phonologique

La conscience phonologique se définit par l'habileté à identifier et à manipuler intentionnellement les unités phonologiques de la langue. De nombreuses études ont démontré que la conscience phonologique est un des facteurs les plus prédictifs du niveau de lecture. Avant 7 ans, la conscience phonologique est le meilleur prédicteur des compétences de lecture

(Kirby et al., 2003). La méta-analyse de Melby-Lervag (2012) met en évidence un déficit de la conscience phonémique chez les enfants dyslexiques par rapport à des enfants de même âge au développement typique. Dans l'étude longitudinale de Kozminsky (1995), 70 élèves provenant de deux classes de grande section de maternelle qui allaient à la même école élémentaire ont été étudiés. L'une des classes a reçu un entraînement à la conscience phonologique de 8 mois. Une comparaison des scores en compréhension de lecture entre la classe expérimentale et la classe contrôle a révélé des différences significatives en faveur du groupe expérimental. L'étude révèle que les tâches de conscience phonologique, à savoir l'identification et la suppression de phonème étaient très prédictives de l'apprentissage de la lecture au CP. Cela explique pourquoi l'on retrouve chez les faibles lecteurs, et notamment parmi les sujets dyslexiques, des lacunes dans les compétences phonologiques, allant dans le sens de l'hypothèse phonologique de la dyslexie (Griffiths & Snowling, 2002 ; Ramus, 2003).

La conscience phonologique englobe la conscience phonémique, rimique et syllabique. Parmi ces trois sous-compétences, la conscience phonémique est reconnue comme étant la compétence la plus prédictrice du niveau futur de lecture (Hulme, 2012). La conscience phonémique favorise la maîtrise du principe alphabétique, et donc les compétences de décodage (Byrne, 1998). Elle peut se mesurer à l'aide de différentes tâches : détection de phonème, manipulation de phonème, et élision de phonème. Dans notre étude, la conscience phonologique sera mesurée par une tâche d'élision du phonème final.

Enfin, le niveau de conscience phonologique prédit la latéralisation gauche de la composante N170 (Sacchi & Laszlo, 2016), qui reflète la spécialisation cérébrale de l'aire de la forme visuelle des mots (*visual word form area*) et l'expertise visuelle pour le traitement des caractères écrits (Mahé et al., 2012)

D'après McCandliss et Noble (2003), l'apprentissage de la lecture et notamment des correspondances entre les unités orthographiques et phonologiques s'accompagne d'une spécialisation cérébrale pour l'écrit que plusieurs études en neurosciences ont mis en évidence (Maurer & McCandliss, 2007 ; Brem et al., 2010).

2. La reconnaissance visuelle des mots

2.1. L'expertise pour le traitement de l'écrit

La reconnaissance visuelle des mots correspond à la récupération mentale de la représentation orthographique du mot. Dans la majorité des modèles théoriques de la lecture, le premier traitement du mot est purement visuel (Perry et al., 2007).

2.1.1. Le rôle majeur du cortex occipito-temporal gauche : la *visual word form area*

Dans la littérature, la *visual word form area* (VWFA) désigne l'aire cérébrale spécialisée dans la reconnaissance visuelle des mots écrits. C'est dans la VWFA (ou « aire de la forme visuelle des mots ») que sont stockées les représentations abstraites des lettres. En effet, le cortex occipito-temporal gauche, et plus particulièrement le gyrus fusiforme gauche, joue un rôle majeur dans le traitement des mots écrits. Au moyen d'enregistrements par imagerie à résonance magnétique fonctionnelle (IRMf), plusieurs études ont mis en évidence

l'implication privilégiée du gyrus fusiforme gauche lors du traitement de mots écrits par rapport à des stimuli visuels non langagiers (Cohen et al., 2002). Dans l'étude de Dehaene et collègues (2002), les sujets devaient réaliser une tâche de détection de répétition sur des paires de mots ou de pseudo-mots prononçables. Les stimuli pouvaient être présentés à l'oral ou à l'écrit. La VWFA s'est activée uniquement pour les stimuli écrits et non pour les stimuli parlés, indépendamment de leur contenu sémantique. Cela signifie que la VWFA s'active également pour les stimuli pré-lexicaux, et non spécifiquement pour les stimuli lexicaux. Dans la tâche de détection de répétition de notre étude, les stimuli écrits présentés ne seront pas des mots. L'activation cérébrale de la VWFA peut se mesurer grâce à la composante N170.

2.2. La composante N170

Des études combinant des mesures d'IRMf et d'électrophysiologie ont associé à l'activité du gyrus fusiforme gauche la composante N170 (Brem et al., 2006). Il s'agit d'une composante négative apparaissant environ 150 millisecondes (ms) après la présentation d'un stimulus visuel. Plusieurs études ont montré que la composante N170 était latéralisée à gauche lors du traitement de stimuli écrits (Bentin et al., 1999 ; Maurer et al., 2005). L'étude de Brem de 2006 démontre, à l'aide de mesures de potentiels évoqués (ERP) et d'IRMf qu'il existe une forte corrélation entre l'activation de la VWFA et l'activité électrophysiologique de la composante N170. Elle montre aussi que la spécialisation occipito-temporale de la composante N170 spécifique aux mots écrits semble plus importante chez l'enfant que chez l'adulte. La composante N170 est la première composante permettant de différencier des séquences de lettres de séquences de symboles, et traduit donc une spécialisation cérébrale pour l'écrit (Maurer & McCandliss, 2007). De nombreux travaux ont mis en évidence une plus grande amplitude de la composante N170 pour des stimuli écrits comparativement à des stimuli visuels contrôles tels que des séquences de symboles chez des lecteurs experts (Brem et al., 2006 ; Maurer & McCandliss, 2007). D'autres travaux ont montré que cette spécialisation de la composante N170 est absente chez les pré-lecteurs (Maurer et al., 2005, 2006) mais qu'elle se met en place dans les deux ans qui suivent l'apprentissage de la lecture (Maurer et al., 2007). L'ensemble de ces travaux suggère que l'apprentissage de la lecture s'accompagne, dans le cortex occipito-temporal gauche (plus précisément dans l'aire de la forme visuelle des mots), d'une spécialisation cérébrale pour les stimuli écrits.

Chez les sujets dyslexiques, plusieurs études électromagnétoencéphalographiques (MEG) ont montré une réduction de la spécialisation de la composante N170 (Helenius et al., 1999 ; Tarkianen et al., 1999). Pour ces études, des symboles et des mots étaient présentés à des adultes dyslexiques et non dyslexiques. Chez les adultes normolecteurs, une réponse plus importante était observée, pour les stimuli lexicaux par rapport aux symboles dans le cortex occipito-temporal gauche autour de 150 millisecondes, contrairement aux adultes dyslexiques où aucune différence entre les deux conditions n'était détectable. La faible spécialisation de la composante N170 chez les sujets dyslexiques peut s'expliquer par la théorie du mapping phonologique, développée ci-dessous.

2.2.1. La théorie du mapping phonologique

La théorie principale afin d'expliquer la spécialisation cérébrale pour l'écrit est celle du mapping phonologique (McCandliss & Noble, 2003). Si la spécialisation de la composante N170 est absente chez les pré-lecteurs (Maurer et al., 2005, 2006) mais qu'elle est présente deux ans après le début de l'apprentissage de la lecture (Maurer et al., 2007), cela indique que la spécialisation cérébrale pour l'écrit apparaît pendant l'apprentissage de la lecture. Des auteurs se sont intéressés aux facteurs qui se développeraient pendant l'apprentissage de la lecture et qui expliqueraient cette spécialisation.

Ainsi, la théorie du mapping phonologique postule que l'apprentissage des liens graphème-phonème serait un facteur déterminant pour une spécialisation cérébrale du traitement de l'écrit. La théorie propose que la latéralisation à gauche du traitement de la forme visuelle des mots, qui accompagne l'apprentissage de la lecture, sollicite les aires auditives du langage afin de créer des connexions entre stimuli écrits et phonologiques. La théorie suppose donc que les personnes ayant une plus grande conscience phonologique devraient présenter un traitement des stimuli écrits plus latéralisé à gauche que ceux ayant une moins bonne conscience phonologique. L'article de Mahé et collègue (2013) offre un argument supplémentaire à la théorie du mapping phonologique. En effet, dans son étude, les adultes dyslexiques et adultes contrôle doivent réaliser une tâche de décision lexicale avec des symboles et quatre stimuli écrits différents (consonnes, pseudomots, mots fréquents et mots peu fréquents). Il en résulte que les sujets adultes dyslexiques ayant un déficit phonologique ne présentent pas de spécialisation cérébrale de la composante N170 contrairement aux mauvais lecteurs qui n'ont pas de déficit phonologique. De plus, les sujets dyslexiques présentaient un temps de réponse plus long ainsi que plus d'erreurs sur les pseudomots par rapport aux autres stimuli.

Cette théorie a été étendue à la spécialisation de la composante N170 pour l'écrit (Maurer & McCandliss, 2007). L'étude de Brem et collaborateurs (2010) a montré que cette spécialisation aurait lieu après l'apprentissage des correspondances lettre-son.

2.2.2. L'étude de Brem et collègues (2010)

À l'aide de mesures d'IRMf et de potentiels évoqués (ERP), les auteurs ont mesuré l'émergence d'une sensibilité à l'écrit dans « l'aire de la forme visuelle des mots » chez des enfants pré-lecteurs germanophones. Les auteurs ont voulu déterminer si l'entraînement aux correspondances graphème-phonème permet le développement d'une spécialisation pour l'écrit chez des enfants pré-lecteurs. Un groupe d'enfants s'entraînait à l'aide d'un jeu exerçant spécifiquement la correspondance graphème-phonème (GraphoGame) tandis que l'autre groupe contrôle d'enfants suivait un entraînement non linguistique. La sensibilité au traitement de l'écrit a été évaluée à l'aide d'une tâche de jugement de modalité (visuelle, auditive ou audiovisuelle) comprenant des stimuli lexicaux et des stimuli non lexicaux (fausse police, parole non intelligible). L'étude se réalisait en trois temps : T1, T2 et T3. T1 correspond aux mesures avant tout entraînement. T2 mesure les effets du premier entraînement où un groupe a suivi l'entraînement GraphoGame et l'autre l'entraînement contrôle. Le moment T3 correspond aux mesures après le second entraînement où le groupe GraphoGame a suivi l'entraînement contrôle et inversement. Les résultats confirment l'hypothèse des auteurs : on observe une différence d'amplitude de la composante N170 entre stimuli écrits et séquences de symboles pour le groupe ayant suivi l'entraînement

GraphoGame mais pas pour le groupe contrôle. En effet, les auteurs observent une spécialisation pour l'écrit à T2 pour le groupe entraîné en premier avec GraphoGame et à T3 pour les deux groupes (les deux groupes ayant suivi l'entraînement GraphoGame à ce moment là). Ainsi, l'apprentissage des correspondances graphème-phonème a bel et bien permis de faire émerger une spécialisation cérébrale pour l'écrit. Les résultats de l'étude s'accordent avec la théorie du mapping phonologique.

L'étude de Brem (2010) est au centre de notre étude, car elle est, dans sa méthodologie et sa problématique, la plus proche de la nôtre. Dans notre projet, nous allons partir de cette étude et comparer la spécialisation de la composante N170 pour l'écrit chez des enfants pré-lecteurs ayant suivi un entraînement aux correspondances lettres-sons en se basant sur différentes unités.

3. Le rôle de la syllabe

Bien que perçues par l'enfant plus tôt, l'impact des unités syllabiques sur l'apprentissage de la lecture a été moins étudié que celui des unités phonémiques (Ehri et al., 2001).

3.1. Définitions

La syllabe est une unité phonologique de segmentation de la chaîne parlée, qui est composée au minimum d'une voyelle. La syllabe est composée d'unités dites *infrasyllabiques* : l'attaque (la ou les premières consonnes de la syllabe) et la rime. La rime est elle-même composée d'un noyau et d'un coda (Blevins, 1995).

On distingue la *syllabe phonologique* de la *syllabe orthographique*. La syllabe phonologique représente le groupe de phonèmes correspondant à une syllabe, alors que la syllabe orthographique correspond à la transcription écrite de la syllabe phonologique.

3.2. Le traitement de la syllabe à l'écrit

3.2.1. Chez le lecteur expert

Dans leur étude de 2005, Doignon et Zagar étudient la perception des syllabes chez des lecteurs experts à l'aide du paradigme des conjonctions illusoires. Le paradigme des conjonctions illusoires est une tâche de détection de la couleur d'une lettre cible dans un mot présenté en deux couleurs. Le découpage des mots par couleur peut ou non respecter le découpage syllabique (e.g., MATin vs. MATin). Dans cet exemple, la répartition majuscule-minuscule indique différentes couleurs. Les participants peuvent réaliser différents types d'erreurs. Ils peuvent réaliser des fausses alarmes, ce qui revient à rapporter une couleur qui n'était pas présente dans le mot. Les participants peuvent aussi réaliser une conjonction illusoire, qui revient à associer la lettre cible à la mauvaise couleur. Il y a deux types de conjonctions illusoires : les erreurs de préservation et les erreurs de violation. Dans une erreur de préservation, le participant attribue à la lettre cible la couleur de la syllabe à laquelle elle appartient. Par exemple : répondre que la lettre cible T est de la couleur des lettres IN dans l'item MATin. Dans une erreur de violation, le participant attribue incorrectement à la lettre

cible la couleur des lettres n'appartenant pas à la même syllabe. Par exemple : répondre que la lettre cible T est de la couleur des lettres MA dans l'item MAtin. Les erreurs les plus réalisées par les participants sont des erreurs de préservation, ce qui suppose une perception automatique des unités syllabiques au sein de mots écrits.

De plus, la perception de ces unités syllabiques serait liée aux régularités statistiques de la redondance orthographique. La redondance orthographique correspond à la fréquence d'association des lettres dans la langue. Ainsi, pour les lecteurs experts ayant souvent été exposés à l'écrit, des régularités statistiques des fréquences d'association de lettres se dégagent implicitement. Les régularités statistiques joueraient donc un rôle déterminant dans la reconnaissance visuelle des mots.

3.2.2. Chez l'apprenti lecteur

Enfin, chez des apprentis lecteurs cette fois, Doignon et Zagar (2006) utilisent à nouveau le paradigme des conjonctions illusoires pour savoir si la syllabe est perçue à l'écrit. Leur hypothèse est confirmée : les unités syllabiques sont perçues par les enfants qui commettent plus d'erreurs de préservation de la syllabe. L'impact des unités syllabiques a également été montré au moment de l'apprentissage de la lecture dans l'étude de Chetail et Mathey (2009) pour une tâche de décision lexicale.

3.2.3. Chez le pré-lecteur : l'hypothèse du pont syllabique et le modèle DIAMS

Vers l'âge de 4 ans, la syllabe est perçue contrairement au phonème (Liberman, Shankweiler, Fischer et Carter, 1974). Ainsi, la syllabe pourrait être une unité pertinente pour l'apprentissage de la lecture. Doignon et Zagar (2014) appellent « pont syllabique » l'apprentissage de correspondances graphosyllabiques. Selon eux, le « pont syllabique » serait un moyen plus rapide et plus efficace pour l'apprentissage des liens lettre-phonème. En effet, aborder la syllabe dans un premier temps permettrait ensuite de mieux appréhender l'unité phonémique, grâce à l'apprentissage de régularités statistiques. Dans leur étude, Doignon et Zagar réutilisent le paradigme des conjonctions illusoires auprès de 162 enfants de grande section de maternelle, divisés en deux groupes : l'un bénéficiait d'un apprentissage visuel centré sur les régularités statistiques d'enchaînement de lettres tandis que l'autre bénéficiait d'un apprentissage visuo-phonologique centré sur les liens graphèmes-syllabes. Un autre groupe contrôle bénéficiait d'un entraînement arithmétique. Les auteurs observent que le groupe ayant reçu un entraînement visuo-phonologique possède une meilleure perception des syllabes, avec un nombre de conjonctions illusoires préservant la syllabe plus élevé.

Donc d'après l'hypothèse du « pont syllabique », la syllabe serait une unité pertinente pour appréhender l'apprentissage de la lecture. C'est pourquoi Doignon et Zagar (2009) ont développé le modèle DIAMS (Developmental Interactive Activation Model with Syllable), qui est le seul modèle d'apprentissage de la lecture incluant les unités syllabiques comme unités intermédiaires et fondamentales pour l'apprentissage des correspondances entre les unités phonologiques et les unités orthographiques. Le modèle DIAMS, illustré dans la Figure 1, comporte plusieurs stades.

Le premier stade, avant l'apprentissage de la lecture, correspond au stade où les unités phonologiques conscientes sont les unités syllabiques. Le deuxième stade, pendant l'apprentissage de la lecture, voit l'émergence des représentations orthographiques. Le troisième stade concerne la mise en correspondance des lettres avec les syllabes

phonologiques. Le quatrième stade concerne l'automatisation des connexions lettres-syllabes. Le cinquième stade établit la construction des représentations phonémiques des syllabes ainsi que les connexions inter-lettres. Enfin, l'étape ultime de DIAMS est la mise en place des représentations orthographiques lexicales. Par exemple, pour le mot oral /kafe/, l'enfant va d'abord comprendre que le mot /kafe/ se segmente en deux syllabes phonologiques : /ka/ et /fe/. Puis, les liens entre syllabes phonologiques et lettres s'établissent : /ka/ s'écrit CA et /fe/ s'écrit FÉ. Ensuite, l'enfant construit les liens entre unités syllabiques et unités phonémiques et associe /ka/ à la fusion phonémique de /k/ et /a/ et /fe/ à la fusion phonémique de /f/ et /e/. Enfin, se construit la représentation lexicale orthographique CAFÉ, et tous les réseaux lexicaux et phonologiques sont interconnectés.

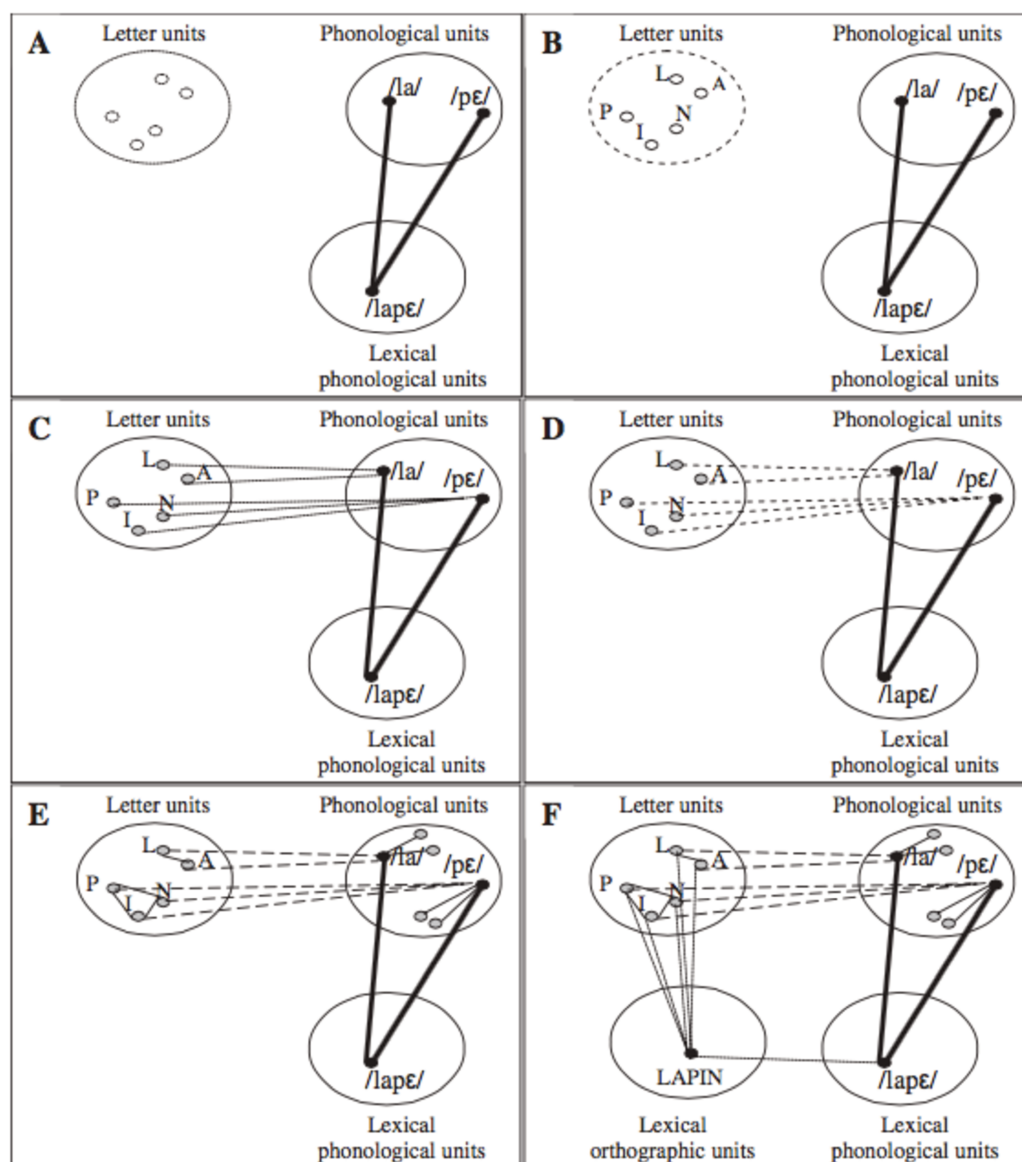


Figure 1. Modèle DIAMS (Developmental interactive model with syllables)

L'ensemble de ces travaux démontre la perception de la syllabe écrite à tous les âges et le fait qu'elle représente un enjeu majeur pour les méthodes d'apprentissage de la lecture.

3.2.4. Chez le pré-lecteur : l'étude de Vazeux et collègues (2020)

Notre étude se situe dans la continuité de celle de Vazeux et collègues (2020). Cette étude porte sur 222 enfants français pré-lecteurs. L'étude de Vazeux et collègues a pour objectif de déterminer quelle unité, entre la syllabe et le phonème, améliore le plus la conscience phonémique, prérequis à une lecture réussie. En matière de méthodologie, cette étude est très proche de la nôtre car les sujets pré-lecteurs ont été répartis en deux groupes : un groupe qui a suivi un entraînement aux conversions lettres-syllabes, et un groupe qui a suivi un entraînement aux conversions lettres-phonèmes. Notre étude reprend le même programme d'entraînement ainsi que les mêmes mesures comportementales. Les résultats montrent que le groupe Syllabe obtient de meilleurs résultats en lecture ainsi que dans la tâche d'élimination du phonème final comparé au groupe Lettre, ce qui confirme l'hypothèse principale. L'étude de Vazeux arrive donc à la conclusion que les enfants devraient plutôt apprendre les correspondances entre les lettres et les syllabes phonologiques, qui sont des unités phonologiques mieux perçues, plus accessibles et plus intuitives que les phonèmes. En somme, notre étude reprendra celle de Vazeux et collègues (2020) en y ajoutant le versant électrophysiologique.

4. Problématique, buts et hypothèses

Selon l'hypothèse du pont syllabique développée par Doignon et Zagar (2014), l'apprentissage des correspondances graphèmes-phonèmes est facilité après un entraînement grapho-syllabique. Les unités syllabiques sous-tendraient l'apprentissage de la lecture et permettraient l'accès à des conversions graphèmes-phonèmes efficaces.

Quelle unité phonologique favorise le plus l'apprentissage de la lecture ? Le phonème ou la syllabe ? L'objectif de ce projet est de comparer l'impact de deux programmes d'entraînement aux associations entre unités orthographiques et phonologiques chez des enfants pré-lecteurs : un programme favorisant la correspondance entre lettre et phonème, un autre programme entraînant la correspondance entre lettre et syllabe. L'hypothèse du projet suppose de meilleures performances de lecture et en conscience phonologique concernant le programme centré sur la correspondance lettre-syllabe. Des mesures comportementales permettront d'évaluer les compétences en lecture de lettres, de syllabes et en conscience phonologique. Des mesures électrophysiologiques seront réalisées afin de mesurer l'émergence de réponses cérébrales spécifiques pour le langage écrit. Des réponses cérébrales pour l'écrit devraient émerger dans les deux groupes après entraînement, avec des réponses plus importantes pour les enfants ayant suivi un entraînement centré sur les liens lettres-syllabe que pour les enfants ayant suivi un entraînement centré sur les liens lettre-phonème. Dans notre étude, nous comparerons les réponses N170 du groupe lettre-phonème et du groupe lettre-syllabe.

Aucune étude n'a à notre connaissance directement comparé l'efficacité de méthodes d'acquisition des correspondances lettres-sons basées sur les unités phonémiques et syllabiques en utilisant à la fois des mesures comportementales et électrophysiologiques.

Proposition de méthodologie

La méthodologie développée ci-dessous correspond à la méthodologie initiale de l'étude, dont une grande partie a été retardée à cause de la crise sanitaire. Pendant la crise, les passations et les entraînements se sont arrêtés. Dans ces circonstances exceptionnelles, le nombre de participants ayant passé le protocole entier est de deux (au lieu de 50). Un troisième sujet n'a réalisé que les pré-tests car il semblait déjà lecteur. Les ANOVAs n'ont pas pu être réalisées.

Notre étude comporte trois phases : pré-test, entraînement et post-test. Les pré et post tests sont identiques, et comportent des mesures comportementales et des mesures électrophysiologiques. Les pré et post-tests sont constitués d'une épreuve de lecture de lettres, de lecture de syllabes, d'une épreuve de conscience phonologique et d'une épreuve de détection de répétition avec enregistrement EEG. Une épreuve d'intelligence non verbale est incluse dans le pré-test.

1. Procédure de recrutement

Les enfants pourront être recrutés de deux manières : dans des écoles et auprès du personnel de l'université. Pour les enfants recrutés dans les écoles, un accord devra d'abord être obtenu par le rectorat. Suite à cela, une lettre d'information sera diffusée aux enseignants (cf. Annexe 1), et les parents souhaitant que leur enfant participe au projet rempliront un formulaire de consentement (cf. Annexe 2) qu'ils devront ramener rempli et signé lors de la phase de pré-test. Pour les expériences ayant eu lieu pendant la pandémie du coronavirus, une lettre d'information à propos des mesures sanitaires à adopter doit être signée par les parents. Les enfants pourront également être recrutés par l'intermédiaire d'affiches disposées dans les différents locaux de l'université à destination du personnel de l'université (cf. Annexe 6).

Lors du pré-test, les parents rempliront également un questionnaire (cf. Annexe 4) afin de renseigner les langues parlées par leur enfant, sa date de naissance, mais aussi afin de renseigner leur profession et niveau d'études pour pouvoir calculer le niveau socio-économique.

Avant le début de la phase d'expérimentation, nous expliquerons à l'enfant le déroulement de l'étude en lui lisant une lettre d'information qui lui est destinée (cf. Annexe 3). Un petit questionnaire sera également proposé à l'enfant afin d'obtenir une mesure objective de sa latéralité (cf. Annexe 5).

2. Participants

Le nombre total de participants sera de 50 enfants pré-lecteurs en dernière année de maternelle. Deux groupes d'apprentissage de 25 participants seront ainsi constitués : un groupe lettre-phonème et un groupe lettre-syllabe. Les deux groupes seront appariés selon le sexe, le mois de passation dans l'année, le niveau socio-économique et les résultats obtenus aux pré-tests (dans des tâches de connaissance des noms de lettres, de manipulation de sons, de lecture de syllabes et d'intelligence non verbale). Seuls les enfants droitiers, ayant comme

langue maternelle le français et n'ayant pas un diagnostic de troubles des apprentissages pourront participer à l'étude. En cas de bilinguisme, le français devra être parlé avec au moins l'un des deux parents à la maison. Ils n'auront pas redoublé ni sauté une classe, seront de langue maternelle française et n'auront pas de trouble du langage oral.

3. Pré-tests et post-tests

3.1. Mesures comportementales

3.1.1. Matrices de Raven (pré-test)

Les pré et post-tests sont similaires à l'exception de la passation de la mesure de l'intelligence non verbale qui ne sera effectuée que lors du pré-test. L'épreuve de mesure de l'intelligence non verbale est l'épreuve des matrices progressives colorées de Raven, destinée aux jeunes enfants (Raven, 2002).

3.1.2. Connaissance du nom et du son des lettres

La première mesure comportementale commune aux pré-tests et post-tests concerne deux compétences prédictrices du niveau de lecture : la connaissance du nom des lettres (Foulin, 2005) et la connaissance du son des lettres (Lerner & Lonigan, 2015). Il y aura en tout huit lettres, quatre consonnes et quatre voyelles, présentées sur un chevalet et l'enfant devra dire le nom des lettres, ainsi que le son pour les consonnes (cf. Annexe 7).

3.1.3. Lecture de syllabes

Afin de vérifier l'hypothèse de notre étude, la deuxième mesure vise la capacité de lecture de syllabes de type CV (i.e. Consonne-Voyelle). Cette épreuve comporte seize items. Parmi les seize syllabes, il y aura huit syllabes utilisées dans le programme d'entraînement et huit autres syllabes non entraînées (cf. Annexe 7).

3.1.4. Tâche de suppression du phonème final

La troisième et dernière mesure comportementale est une épreuve de conscience phonémique qui consiste en une tâche de suppression du phonème final d'une syllabe CVC. Par exemple, /bak/ = /ba/ (Duncan et al., 2013). Cette épreuve, comportant 24 items, est introduite par un exemple et deux essais. Parmi les 24 syllabes, huit seront des syllabes entraînées, huit des syllabes non entraînées et enfin huit seront des « nouvelles syllabes » (la consonne initiale sera différente). Après quatre échecs consécutifs, l'épreuve est arrêtée.

L'élision de phonème est une tâche très utilisée dans la littérature pour évaluer la conscience phonologique. Elle est généralement considérée comme la tâche de conscience phonologique la plus prédictrice des compétences de lecture (Muter et al. 2004).

Pour chaque épreuve, le score de bonnes réponses de l'enfant sera calculé (cf. Annexe 7).

3.2. Mesures électrophysiologiques

Après les mesures comportementales, les expérimentateurs procéderont à la pose du matériel EEG qui permettra de mesurer la spécialisation cérébrale pour l'écrit. Ces mesures électrophysiologiques auront lieu à l'Imaginarium de Tourcoing, qui est habilité à la réalisation d'EEG avec des enfants. Un bonnet composé de 64 électrodes sera posé sur le crâne de l'enfant.

Ensuite, les enfants devront réaliser une tâche de détection de répétition. Trois blocs ont été constitués pour la tâche : 60 séquences de syllabes, 60 séquences de consonnes et 60 séquences de symboles (cf. Annexe 8). Sur l'Annexe 8, les items en vert correspondent aux items répétés. Les séquences de syllabes et de consonnes ont été construites sur la base des syllabes et des consonnes apprises pendant les entraînements. Les enfants réalisent 3 blocs pour chaque type de stimuli. Chaque bloc est constitué de 30 séquences : six séquences d'entraînement suivies de 24 séquences. Sur les 24 séquences, 4 constituent une répétition immédiate. Pour chaque essai, une croix de fixation apparaîtra à l'écran pendant 400 ms. Elle sera suivie du stimulus pendant 700 ms. L'écran sera ensuite noir pendant 1100 ms. Un second essai suivra à l'issue duquel l'enfant devra appuyer le plus vite possible sur un bouton s'il pense qu'un stimulus est apparu deux fois consécutivement. L'expérimentateur lancera ensuite manuellement la paire d'essais suivants. Le lancement manuel de paires d'essais est rendu nécessaire en raison de la distractibilité des enfants, de manière à éviter une perte trop importante d'essais pendant l'étude. De plus, un expérimentateur accompagnera l'enfant dans la cage de faraday afin d'éviter que la tâche ne soit trop anxiogène. L'expérimentateur avec l'enfant l'encouragera afin d'éviter un phénomène de lassitude.

Le post-test sera réalisé au maximum une semaine après la phase d'entraînement.

Les phases de pré et post tests durent environ 1h30.

3.3. Phase d'entraînement

Les sessions d'entraînement seront dispensées après les pré-tests. L'enfant bénéficiera de cinq séances d'entraînement de 20 minutes chacune, réparties sur deux semaines. Les sessions commenceront au maximum une semaine après le pré-test.

Au total, huit lettres ont été sélectionnées pour le programme d'entraînement lettre-phonème. Il y a quatre voyelles (A, I, O, U) et quatre consonnes (B, F, T, S). À partir de ces lettres, deux sets de huit syllabes CV ont été choisis pour le programme d'entraînement lettres-syllabe : BA, BI, FA, FI, SO, SU, TO, TU ; et BO, BU, FO, FU, SA, SI, TA, TI. Pour chaque groupe, huit lettres ou huit syllabes seront apprises, mais seulement quatre lettres (deux consonnes et deux voyelles) ou quatre syllabes seront abordées dans chaque séance. Le matériel est constitué de cartes images, de cartes syllabes, de cartes lettres ainsi que du matériel nécessaire aux jeux (planches de loto, dés).

Les sessions d'entraînement seront dispensées sous forme de différents jeux. Il y aura une tâche de lecture, un jeu de dé, un jeu de loto, un jeu d'appariement, un jeu de relais et un exercice de combinatoire, détaillés selon un protocole précis (cf. Annexe 9).

Ci-dessous, l'organisation des séances pour chaque groupe. Les séances 1 et 2 seront réalisées la première semaine, les séances 3 à 5 la seconde semaine :

Groupe lettres-syllabe	Groupe lettre-phonème
Séance 1 : lecture de syllabes, jeu de dé et jeu de loto	Séance 1 : lecture de lettres, jeu d'appariement, jeu de dé et jeu de loto
Séance 2 : lecture de syllabes, jeu de dé et jeu de loto	Séance 2 : lecture de lettres, jeu d'appariement, jeu de dé et jeu de loto
Séance 3 : lecture de syllabes, jeu de dé, jeu de loto et jeu de relais	Séance 3 : lecture de lettres, jeu de dé, jeu de loto et jeu de relais
Séance 4 : lecture de syllabes, jeu de dé, jeu de loto et jeu de relais	Séance 4 : lecture de lettres, jeu de dé, jeu de loto et jeu de relais
Séance 5 : introduction à la combinatoire	Séance 5 : introduction à la combinatoire

Tableau 1. Descriptif des séances d'entraînement.

3.3.1. Séance 1 : entraînement de 4 syllabes (BA BI FA FI) ou lettres (B F A I)

La séance 1 repose sur l'entraînement à la lecture de quatre syllabes (groupe lettres-syllabe) ou de lettres (groupe lettre-phonème) ainsi qu'un jeu de dé et un jeu de loto.

Par exemple pour le groupe syllabe, on commence par présenter un mot-image (*bateau*) à l'enfant, on lui demande ce que c'est, puis il répond. Ensuite on demande à l'enfant « quelle est la première syllabe du mot bateau ? », et celui-ci répond (BA). Une fois la syllabe donnée, on montre à l'enfant la syllabe orthographique BA dans le porte-vues, et on lui fait répéter. Puis, en lui montrant la syllabe écrite, on lui explique que « c'est comme ça que l'on écrit la syllabe BA ». On fait de même avec les syllabes BI (image biberon), FA (image famille) et FI (image ficelle).

Ensuite, l'expérimentateur fait revoir les quatre syllabes à l'enfant grâce à trois lectures. La première fois, l'expérimentateur pointe, lit la syllabe puis l'enfant doit relire immédiatement chaque syllabe pointée dans l'ordre d'apprentissage : BA BI FA FI. La deuxième fois, on demande à l'enfant de lire chaque syllabe pointée dans cet ordre : FA BA BI FI. La troisième fois, l'enfant lit seul et le plus vite possible les syllabes dans l'ordre : FI BA FA BI. S'il fait une erreur, il faut le corriger immédiatement.

Dans un troisième temps, l'examineur et l'enfant entament un jeu de dé sur un plateau de trois cases. Le dé comprend quatre faces avec une syllabe écrite et deux faces blanches pour rejouer. Chacun son tour lance le dé et doit prononcer la syllabe. Si c'est réussi, le joueur avance d'une case. Le jeu est terminé lorsque l'enfant et l'examineur arrivent à la dernière case du plateau. Si l'enfant commet une erreur de lecture, l'examineur doit la corriger immédiatement et l'enfant n'avance pas de case.

Enfin, la séance 1 se termine par le jeu du loto. Chacun a une grille différente des quatre syllabes. L'expérimentateur prononce une syllabe et l'enfant doit désigner la syllabe écrite correspondante, et vice-versa. Si l'enfant fait une erreur, il faut la corriger immédiatement.

La séance 1 du groupe lettre-phonème est similaire mais avec les lettres B F A I.

3.3.2. Séance 2 : entraînement de 4 syllabes (SO SU TO TU) ou lettres (S T O U)

La structure de la séance 2 est identique à celle de la séance 1, mais entraîne cette fois quatre syllabes ou lettres différentes : SO SU TO TU ou S T O U.

3.3.3. Séance 3 : entraînement de 4 syllabes (BA BI SO SU) ou lettres (B S I O)

La séance 3 débute par la révision des huit syllabes ou lettres vues précédemment aux séances 1 et 2 avec un exercice de lecture identique, puis il faut lire les nouvelles syllabes ou lettres de la séance 3.

S'ensuivent les jeux de dé et loto vus aux séances précédentes.

Ensuite, l'examineur et l'enfant entament un jeu du déménageur. L'examineur et l'enfant ont chacun quatre syllabes ou lettres. Ils se positionnent chacun à un endroit différent de la pièce. Puis l'enfant va se rapprocher de l'examineur, qui va prononcer une syllabe (ou lettre). L'enfant devra alors chercher la syllabe ou la lettre écrite correspondante. S'il y a une erreur, l'enfant doit aller chercher la bonne carte. Puis, c'est au tour de l'enfant de prononcer les syllabes (ou lettres) et à l'examineur d'aller chercher la carte correspondante. Ce jeu fait travailler les conversions phono-graphémique et grapho-phonémique.

Enfin, la séance se termine par de la lecture sur le chevalet des quatre syllabes (ou lettres) travaillées, ainsi que des quatre syllabes qui seront travaillées à la séance 4.

3.3.4. Séance 4 : entraînement de 4 syllabes (FA FI TO TU) ou lettres (F T U A)

La séance 4 est identique à la séance 3 mais entraîne les syllabes FA FI TO TU ou les lettres F T U A.

3.3.5. Séance 5 : introduction à la combinatoire

Pour le groupe syllabe, le travail va porter sur le passage de l'unité syllabique à l'unité de lettre (décomposition phonémique), puis vice-versa, de la lettre à la syllabe (fusion phonémique). Pour le groupe lettre, l'ordre de travail sera inverse. On travaille avec les huit syllabes précédemment vues aux séances 3 et 4.

En premier lieu donc, l'expérimentateur prend une syllabe déjà assemblée et explique à l'enfant que la syllabe en question est constituée de deux phonèmes-graphèmes (« *dans BA il y a deux parties : le B qui fait le son /b/ et le A qui fait le son /a/* »). Ensuite on vérifie si l'enfant a compris avec un exemple où il doit reconstituer lui-même la syllabe donnée par l'examineur à partir des cartes lettres (« *si je veux écrire la syllabe BI, quelles lettres dois-je prendre ?* »). Puis l'examineur montre la réponse et l'enfant doit corriger s'il y a une erreur. On répète cet exercice pour les six syllabes restantes. L'étape dure cinq minutes.

La deuxième étape consiste à travailler le passage de la lettre à la syllabe. L'expérimentateur explique à l'enfant la méthode d'assemblage (« *si je prends la lettre B qui fait le son /b/ avec la lettre A qui fait le son /a/, ça se lit /ba/* »). Puis c'est à l'enfant de s'initier à l'assemblage en retrouvant la syllabe à partir des lettres-phonèmes données par l'examineur (« *à toi de deviner maintenant : si je prends la lettre B qui fait le son /b/ avec la lettre I qui fait le son /i/, comment ça se lit ?* »). On fait cela pour les six autres syllabes SO, SU, FA, FI, TO et TU. L'étape dure cinq minutes.

Enfin dans un troisième temps, l'examineur et l'enfant commencent un jeu du dé sur un plateau de quatre cases. Il y a deux dés pour les deux premières cases : un dé B/F et un dé

A/I. Pour les deux dernières cases, les deux dés sont : un dé T/S et un dé O/U. Il faut lancer les deux dés puis lire la syllabe Consonne-Voyelle correctement afin d'avancer. Pour le groupe Lettre, le jeu du dé se situe entre l'étape « de la lettre vers la syllabe » et « de la syllabe vers la lettre »

3.4. Analyse des données

3.4.1. Analyse des données comportementales

Tout d'abord, seront analysées les données comportementales obtenues aux pré et post-tests (connaissance du nom et du son des lettres, lecture de syllabe, tâche de suppression du phonème final). Pour chaque tâche d'un test comportemental, la cotation sera la suivante : 1 pour une bonne réponse et 0 pour une réponse erronée ou absence de réponse (Annexe 8). La lecture de lettres sera notée sur 8, la lecture de syllabes sera notée sur 16 et la tâche de suppression du phonème final sera notée sur 24. Les résultats obtenus aux mesures comportementales permettront de déterminer si l'enfant sera dans le groupe d'entraînement lettres-syllabe ou le groupe lettre-phonème, et de créer une hétérogénéité intra-groupe mais une homogénéité inter-groupes.

3.4.2. Analyse des données électroencéphalographiques

Nous effectuerons des analyses de la variance (ANOVAs) avec le facteur inter groupes (comparaison entre groupe Phonème et groupe Syllabe) et les facteurs intra-groupes en fonction du moment (comparaison entre pré-test et post-test) et du type d'item (comparaison entre syllabes, consonnes et symboles) et de la latéralité (gauche ou droite) afin de déterminer les différences entre les différents types d'items en fonction du groupe d'apprentissage et du moment de l'étude. Nous étudierons la composante N170 et plus précisément son amplitude en microvolts et sa latence en millisecondes

Résultats

1. Sujet 1

1.1. Résultats des données comportementales

1.1.1. Pré-tests

Ce sujet a été retiré de l'étude car nous nous sommes rendus compte, après les pré-tests, qu'il était déjà lecteur. En effet, aux tests comportementaux, le sujet 1 a obtenu un score maximal pour la lecture de lettres et de syllabes, et réalisé seulement une erreur à la tâche de conscience phonologique. Il n'a donc réalisé que la première session de l'étude.

1.2. Résultats des données EEG

Les topographies illustrent la distribution du voltage sur le scalp. En rouge sont illustrées les positivités, et en bleu sont illustrées les négativités.

Seules les données du pré-test sont disponibles, ce sujet n'ayant pas passé les entraînements et le post-test car il était lecteur au pré-test.

1.2.1. Pré-entraînement

On observe à 250 ms des topographies typiques d'une N170 avec des négativités postérieures (voir Figure 2 ci-dessous). Nous observons une négativité postérieure de plus en plus marquée, à mesure que le stimulus traité se rapproche de la syllabe.

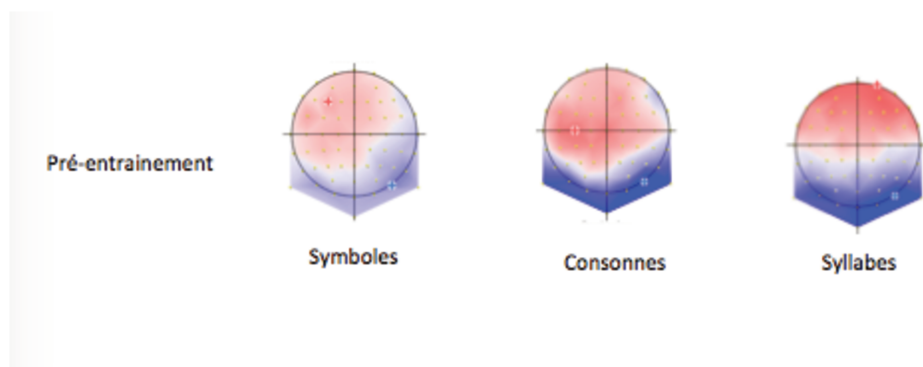


Figure 2. Topographie de la N170 à 250 ms du sujet 1.

2. Sujet 2

Le deuxième sujet est un garçon de 5 ans et 1 mois, droitier, avec pour langues maternelles le français et le soussou (langue parlée en Guinée). Le père a un niveau BAC+2 et est agent de sécurité tandis que la mère a le BAC (mère au foyer). Il a suivi l'entraînement basé sur la syllabe.

2.1. Résultats des données comportementales

2.1.1. Pré-tests

Aux pré-tests, le sujet 2 obtient un score plafond de 12/12 à la tâche de dénomination de lettres.

À la lecture de syllabes, le sujet 2 échoue tous les items et obtient le score de 0/16. Au lieu de lire, il épelle la syllabe. Par exemple, la réponse donnée pour l'item FU est « F – U ».

À la tâche de suppression du phonème final, il obtient le score de 15/24. Aux syllabes apprises, il obtient 4/8. Idem pour les syllabes non apprises : 4/8. Aux syllabes autres, il obtient 7/8.

2.1.2. Post-tests

Après les séances d'entraînement, nous constatons que le sujet 2 a amélioré ses scores en lecture de syllabes et en conscience phonologique.

Comme aux pré-tests, le score maximal est atteint en dénomination de lettres (12/12).

À la lecture de syllabes, le score obtenu est de 5/16, soit 5 points de plus qu'aux pré-

tests. Plus précisément, le score obtenu aux syllabes apprises et de 5/8 et celui obtenu aux syllabes non apprises est de 0/8.

Le score maximal est obtenu à la tâche de suppression du phonème final (24/24), augmentant ainsi la performance de 9 points comparé aux pré-tests.

2.2. Résultats des données EEG

Les topographies électroencéphalographiques à 174 millisecondes sont typiques d'une topographie de la composante P100, avec une positivité postérieure (voir Figure 3). Cette composante illustre le traitement visuel de base de tout stimulus présenté dans la modalité visuelle.

2.2.1. Pré-entraînement

Pré-entraînement pour le sujet 2, nous ne retrouvons pas de négativité postérieure franche sur les topographies illustrées dans la Figure 4, quel que soit le type de stimulus. Seule la topographie des consonnes semble s'approcher d'une topographie typique de N170.

2.2.2. Post-entraînement

Post-entraînement, les topographies de la P100 à 174 millisecondes sont similaires aux topographies pré-entraînement (positivité postérieure, voir Figure 3).

Après l'entraînement, les topographies de la N170 à 250 millisecondes illustrées dans la Figure 4 montrent une négativité postérieure qui semble plus importante pour les consonnes et les syllabes que pour les symboles. De plus, nous constatons que la négativité postérieure de la N170 semble plus marquée lorsque le sujet 2 traite des syllabes comparativement à quand il traite des consonnes.

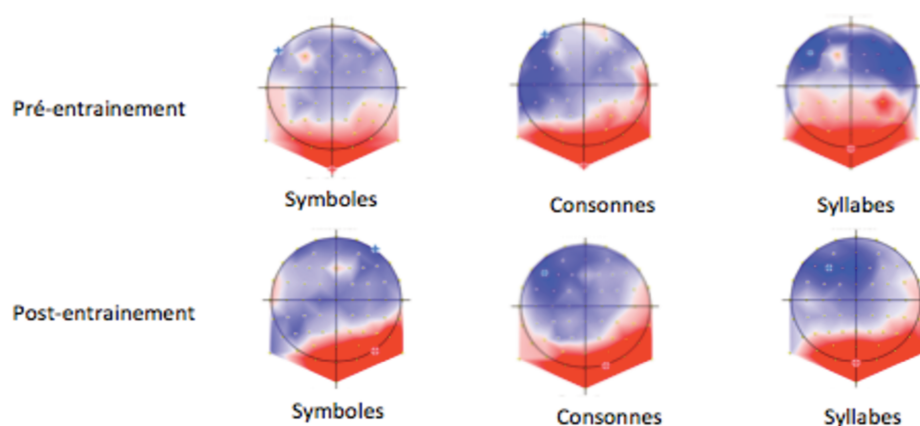


Figure 3. Topographie de la P100 à 174 ms du sujet 2.

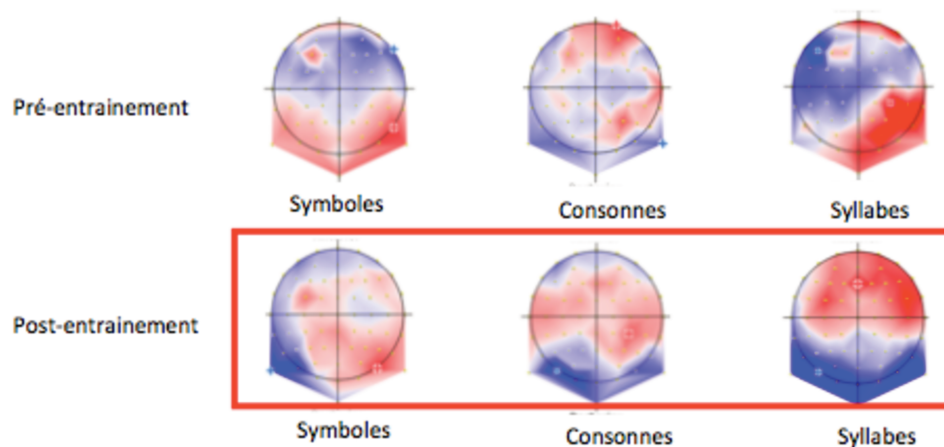


Figure 4. Topographie de la N170 à 250 ms du sujet 2.

3. Sujet 3

Le troisième sujet est une fille de 5 ans et 5 mois, droitère, avec pour langue maternelle le français. Le père a un niveau BAC+6 et est commerçant tandis que la mère possède un BEP et est commerçante également. Elle a suivi l'entraînement basé sur la syllabe.

3.1. Résultats aux données comportementales

3.1.1. Pré-test

Lors des pré-tests, le sujet 3 obtient le score maximal de 12/12 à la tâche de dénomination de lettres. Les noms des quatre voyelles A I O U sont sus. Les noms et sons des quatre consonnes B F T S sont également sus.

À la tâche de lecture de syllabes, le sujet 3 obtient un score de 15/16, avec 8/8 aux syllabes non apprises et 7/8 aux syllabes apprises. Seul la syllabe FA est lue /a/.

À la tâche de suppression du phonème final, il obtient un score de 2/24. Il obtient 2/8 aux syllabes apprises, et 0/8 aux syllabes non apprises ainsi qu'aux syllabes autres. On peut donc considérer qu'avant les séances d'entraînement, la conscience phonologique du sujet 3 est très faible.

Les résultats au pré-test (lecture de syllabes) suggèrent que le sujet est déjà lecteur. Nous l'avons néanmoins conservé dans l'étude en raison de son faible score en conscience phonologique.

3.1.2. Post-test

Après les séances d'entraînement, nous pouvons constater que le sujet 3 a amélioré ses scores, en conscience phonologique surtout.

Le score obtenu à la dénomination de lettres reste le même (12/12).

Pour la lecture de syllabes, le score plafonne et passe à 16/16, soit 1 point de plus par rapport aux pré-tests.

Mais c'est surtout pour la tâche de conscience phonologique que l'évolution est

intéressante. Alors que le score obtenu à la phase de pré-test était faible (2/24), le sujet 3 augmente son score de 20 points en obtenant un score de 22/24 à la tâche de suppression du phonème final. De plus, les deux seules erreurs commises concernent des syllabes « autres », c'est-à-dire des syllabes faisant partie des items les plus difficiles car aucune des consonnes de la syllabe n'a été vue par l'enfant en séance. Nous pouvons aussi remarquer que tous les items comportant des syllabes non apprises ont été réussis. Plus précisément, le sujet 3 obtient 8/8 avec des syllabes apprises, 8/8 avec des syllabes non apprises, et 6/8 avec des syllabes autres.

3.2. Résultats des données EEG

3.2.1. Pré-entraînement

Nous retrouvons une topographie normale de P100 pré-entraînement, avec une positivité postérieure (voir Figure 5).

Nous constatons que le sujet 3 présente déjà une topographie typique de N170 au pré-test, avec une négativité postérieure marquée sur les stimuli consonnes et syllabes (voir Figure 6).

3.2.2. Post-entraînement

Post-entraînement, nous retrouvons également une positivité postérieure de la P100, cependant moins marquée.

Étrangement, la N170 post-entraînement semble présenter une négativité postérieure moins marquée comparativement aux topographies pré-entraînement.

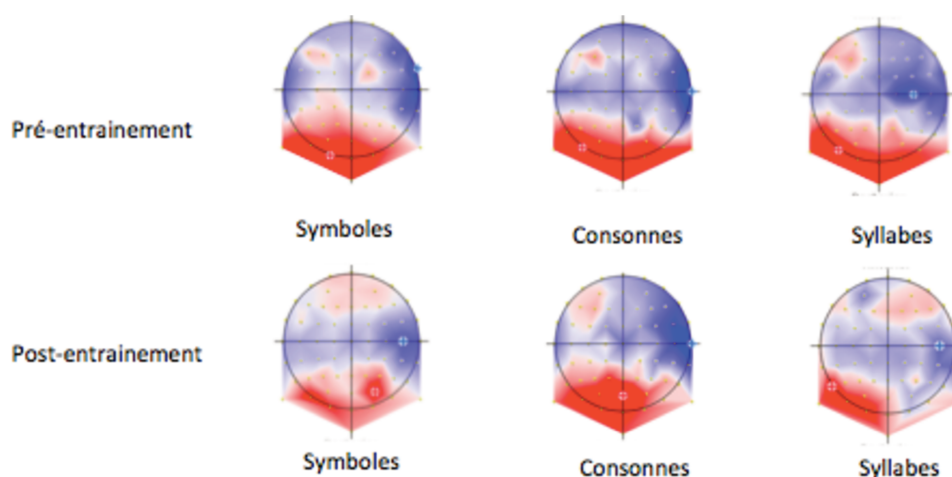


Figure 5. Topographie de la P100 à 174 ms du sujet 3

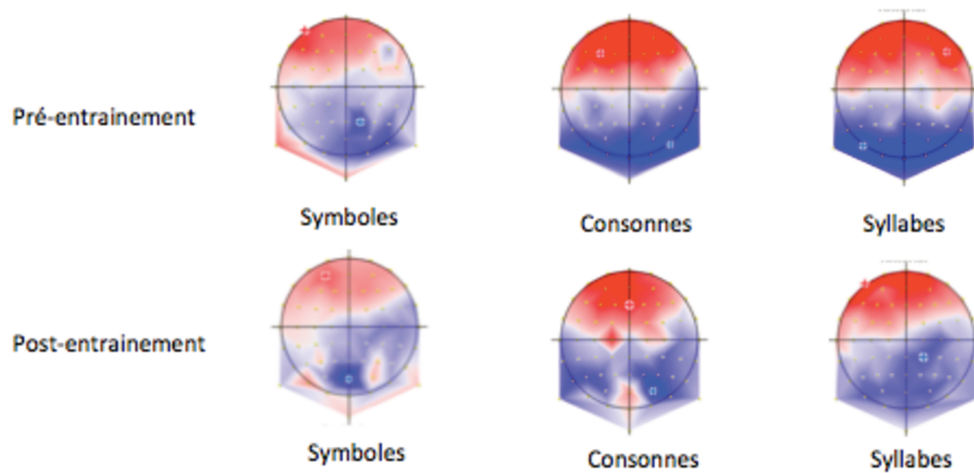


Figure 6. Topographie de la N170 à 250 ms du sujet 3

Discussion

1. Analyse des résultats obtenus

Afin d'analyser les résultats obtenus, il convient de comparer pré-tests et post-tests afin d'isoler les effets de l'entraînement. Les résultats post-entraînement mettent en évidence plusieurs choses : l'amélioration de la lecture et de la conscience phonologique, ainsi que la spécialisation cérébrale pour l'écrit. Cette spécialisation se retrouve chez les sujets déjà lecteurs au pré-test.

1.1. Effets bénéfiques de l'entraînement : amélioration de la lecture de syllabes et de la conscience phonologique

Les résultats obtenus aux post-tests comportementaux montrent une amélioration de la conscience phonologique et de la lecture de syllabes pour le sujet 2, et pour le sujet 3 seulement une amélioration de la conscience phonologique (nous constatons un effet plafond pour la lecture de syllabes).

Avec un score de 0/16 au pré-test, le sujet 2 ne semble pas être lecteur. Les sessions d'entraînement lui ont permis d'améliorer ses performances de lecture, mais cela ne s'est pas généralisé aux syllabes non apprises. Après les entraînements centrés sur la syllabe, le sujet 2 améliore son score de 5 points aux syllabes apprises, mais le score obtenu en lecture de syllabes non apprises reste nul. Ainsi, on peut en déduire que les séances d'entraînement ont eu un effet bénéfique sur la lecture de syllabes apprises, mais l'amélioration de cette compétence ne s'est pas généralisée aux syllabes non vues en séance. Le sujet 3, lui, était déjà lecteur en phase de pré-test (score de 15/16). L'entraînement Syllabe lui permet d'atteindre le score maximal (16/16, soit +1 point).

Les entraînements ont aussi amélioré la conscience phonologique des deux sujets. Au

pré-test, le sujet 2 a une relativement bonne conscience phonologique (score de 15/24). Par contre, le sujet 3 a un niveau de conscience phonologique très faible en pré-test (2/24). Suite aux entraînements, le sujet 2 améliore son score de 9 points (24/24), et le sujet 3 de 20 points (22/24). L'amélioration de la conscience phonologique des deux sujets se voit tant dans les syllabes apprises que non apprises et autres. Par exemple, alors que le sujet 3 obtenait 0/8 à la tâche de suppression du phonème final pour les syllabes non apprises et autres, il obtient respectivement 8/8 et 6/8 après entraînement, ce qui atteste l'effet de transfert. Ainsi, l'entraînement a amélioré la conscience phonologique de manière générale, ne se limitant pas aux syllabes vues en entraînement.

L'étude de Vazeux et al. (2020) est similaire à notre étude concernant les mesures comportementales. Leurs travaux vont dans le sens de l'analyse descriptive de nos résultats en post-test. Dans cette étude, 222 prélecteurs francophones ont participé à un programme d'apprentissage en quatre sessions basé soit sur les correspondances lettres-syllabes, soit sur les correspondances lettres-phonèmes. Il en ressort que tous les enfants de l'étude progressent en lecture de syllabes. De plus, la performance en lecture de syllabes augmente davantage dans le groupe lettres-syllabes que dans le groupe lettres-phonèmes. Malheureusement, nous n'avons pas, à ce stade de notre étude, de résultats d'un enfant du groupe Lettre pour réaliser une comparaison.

Dans l'étude de Vazeux et al. (2020), le programme d'entraînement améliore également les scores de conscience phonologique dans les deux groupes. Là encore, les performances augmentent davantage dans le groupe Syllabe que dans le groupe Lettre. De plus, l'étude de Vazeux et collègues se pose aussi la question du transfert des performances en conscience phonologique aux syllabes non apprises et syllabes autres. Les résultats de l'étude montrent qu'il y a aussi une progression des scores pour les syllabes non apprises et autres. Cependant, alors que la progression du groupe lettres-syllabes en syllabes apprises est significative par rapport au groupe lettres-phonèmes, elle est marginale pour les syllabes non apprises.

Malgré l'absence d'un nombre significatif de sujets pour notre étude, les conclusions de l'étude de Vazeux et collègues semblent confirmer notre hypothèse. En accord avec l'hypothèse du pont syllabique de Doignon & Zagar (2014), un entraînement à la lecture centré sur les correspondances lettres-syllabes serait plus performant qu'un entraînement lettres-phonèmes, car il développerait davantage la conscience phonologique.

1.2. Spécialisation cérébrale pour l'écrit

1.2.1. Un sujet pré-lecteur : exemple du sujet 2

La comparaison des résultats EEG avant et après entraînement du sujet 2 semble soutenir l'hypothèse d'une spécialisation cérébrale pour l'écrit. Aux résultats EEG pré-entraînement, on ne retrouve pas de négativité postérieure typique d'une N170. Ainsi le sujet 2 ne présente pas de spécialisation cérébrale pour l'écrit avant l'entraînement à la lecture, ce que supposait déjà sa faible performance en lecture de syllabes (0/16). Cependant, les topographies post-entraînement de la N170 du sujet 2 vont dans le sens d'une spécialisation cérébrale pour l'écrit, avec une négativité postérieure plus marquée pour le traitement des syllabes que pour le traitement des symboles. Ainsi, nous pouvons supposer que c'est l'entraînement basé sur la syllabe qui est à l'origine des négativités postérieures du sujet 2. Les topographies post-entraînement du sujet 2 vont dans le sens de l'hypothèse de notre

étude.

Les résultats au post-test du sujet 2 font écho à l'étude de Brem (2010). Dans cette étude, les enfants ayant suivi un entraînement aux liens graphèmes-phonèmes avaient développé une spécialisation cérébrale pour l'écrit. Nous pouvons donc faire l'hypothèse qu'un entraînement centré sur la syllabe (et non sur le phonème comme dans l'étude de Brem de 2010) permet également le développement d'une spécialisation cérébrale de la composante N170. Il serait intéressant de voir si ces effets s'observent sur de plus larges groupes d'enfants et si, comme initialement prévu dans le protocole, un entraînement aux correspondances lettres-phonèmes engendre une spécialisation cérébrale moindre que celle de l'entraînement aux correspondances lettres-syllabes.

1.2.2. Sujets déjà lecteurs : exemple des sujets 1 et 3

Les participants à notre étude devaient remplir plusieurs conditions, et notamment celle de ne pas être déjà lecteur. Le sujet 1 a été retiré de l'étude car il obtenait les scores maximaux aux tests comportementaux en pré-test. Les résultats EEG en pré-test sont venus confirmer le fait qu'il était déjà lecteur : les topographies à 250 ms sont typiques d'une composante de la composante N170. De plus, les négativités postérieures sont plus marquées pour la condition syllabe par rapport aux autres conditions, de façon compatible avec une spécialisation cérébrale pour l'écrit.

Le sujet 3, lui aussi, est déjà lecteur comme le suggère son score en lecture de syllabes (15/16) et ses topographies typiques d'une N170 en phase de pré-test. Cependant, il a malgré tout passé les post-tests étant donné son faible score en conscience phonologique. Pour les besoins de notre étude, il serait pertinent de ne pas conserver non plus les données du sujet 3 par la suite.

Ainsi, le sujet 3, bien que lecteur, a suivi un entraînement basé sur la syllabe et réalisé des post-tests EEG. À quoi ressemblent les topographies EEG d'un sujet déjà lecteur qui a suivi un entraînement à la lecture ? L'on pourrait s'attendre à ce que les topographies du post-test restent identiques à celles du pré-test, ou alors à ce que les négativités postérieures soient encore plus marquées. Cependant, c'est le contraire qui s'observe. Paradoxalement, les topographies au post-test du sujet 3 présentent une spécialisation cérébrale pour l'écrit moins marquée qu'avant l'entraînement. Cette baisse de la spécialisation cérébrale peut s'expliquer par l'étude de Maurer de 2006, qui compare les composantes N170 de pré-lecteurs, d'apprentis lecteurs et de lecteurs experts. D'après son étude, le développement de la N170 ne suivrait pas une augmentation d'amplitude linéaire mais une courbe en forme de U inversé. La spécialisation pour l'écrit de la N170 atteindrait un pic après l'apprentissage de la lecture chez les lecteurs débutants, puis diminuerait par la suite avec la pratique chez les lecteurs plus expérimentés.

2. Limites de l'étude

2.1. Limites exogènes : impact de la crise sanitaire sur notre étude

La pandémie liée au coronavirus a fortement affecté le planning de notre étude depuis mars 2020. Les restrictions sanitaires ont mis un terme aux passations ainsi qu'aux sessions d'entraînement. En effet, lors du premier confinement en mars 2020, les passations à

l'Imaginarium de Tourcoing ont été arrêtées. Elles devaient reprendre en prenant en compte les normes sanitaires. Cependant, les nouvelles normes étaient trop contraignantes : la distanciation sociale rendait impossible la pose d'électrodes chez des enfants ne portant pas de masque. Ainsi, il n'a pas été possible de reprendre les passations EEG et comportementales. Nous avons donc été contraints, pour cette année, de nous limiter à l'analyse descriptive de 2 sujets, au lieu des 50 prévus. Le nombre de participants ayant été considérablement réduits, les ANOVAs n'ont pas été réalisées. L'analyse de nos 2 sujets n'a ici qu'une valeur descriptive et qualitative, mais pas de validité statistique. L'échantillon est trop faible pour permettre une généralisation des résultats. Enfin, parmi les 2 sujets analysés, aucun n'a suivi l'entraînement basé sur les correspondances lettres-phonèmes, ce qui ne permet pas de comparaison entre les deux groupes. N'ayant pas de résultats du groupe Lettre, nous pouvons juste affirmer que l'entraînement améliore la lecture de syllabes et la conscience phonologique. Mais nous ne savons pas si les performances sont meilleures que dans le groupe Lettre, même si l'étude de Vazeux et al. (2020) semble démontrer que c'est le cas.

2.2. Limites endogènes : limites liées à l'étude elle-même

L'étude en soi peut présenter quelques limites. Tout d'abord, il est prévu, dans la partie comportementale de notre étude, de comparer les enfants en fonction de leurs compétences de départ. Ce n'est cependant pas prévu de comparer les différents profils d'enfants dans l'étude EEG. En effet, il est généralement admis qu'il faut environ 15 sujets par groupes en EEG, donc si nous nous référons à l'étude de Vazeux et al. (2020), cela nécessiterait 8 groupes de sujets en croisant les compétences, ce qui donnerait un total de 120 participants, soit un nombre bien trop élevé pour notre protocole.

En matière de méthodologie, il s'est avéré que certains participants avaient déjà de trop bons scores à l'étude comportementale en pré-test, et des EEG suggérant une spécialisation cérébrale pour l'écrit déjà établie avant l'entraînement. Il serait peut-être intéressant, dans le recrutement des participants, de renforcer les critères encadrant le statut de « pré-lecteur » afin de minimiser le nombre de participants écartés de l'étude a posteriori à cause d'un niveau de lecture au pré-test trop élevé. Pour pallier ce problème, une solution pourrait être de fixer des seuils numériques pour les scores des épreuves comportementales. Si ces seuils étaient atteints, le sujet ne serait pas retenu dans l'étude. En effet, cela éviterait qu'un nombre trop élevé de participants soit exclu de l'étude en raison d'une topographie typique de N170 en pré-test. Enfin, le recrutement pourrait aussi s'étendre à des enfants de moyenne section de maternelle ne pas se limiter aux enfants de grande section.

Notre étude propose donc deux groupes : un groupe Syllabe et un groupe Lettre. Mais elle ne propose pas de groupe contrôle. Il pourrait être pertinent d'avoir un groupe contrôle afin de pouvoir isoler et séparer l'effet placebo de l'effet d'entraînement. Ainsi, un groupe contrôle qui recevrait un programme d'entraînement en arithmétique comme dans l'étude de Brem (2010), pourrait être une bonne idée. De plus, il est possible que des progrès liés à l'apprentissage scolaire pendant la période entre les pré-tests et post-tests soient faits.

De plus, lors des sessions d'entraînement, l'expérimentateur n'est pas toujours la même personne. De fait, des différences interindividuelles pourraient survenir entre les expérimentateurs lors de l'entraînement, et donc biaiser l'étude.

Enfin, à l'instar de l'étude Brem de 2010, les EEG pourraient être couplés à des IRMf afin d'apporter une meilleure validité.

3. Apport de l'étude pour la pratique orthophonique

La pratique orthophonique rééduque des patients aux troubles divers. Les différents actes orthophoniques sont recensés dans la Nomenclature Générale des Actes en Orthophonie (NGAP) qui présente la liste des Actes Médicaux en Orthophonie (AMO). L'AMO qui va nous intéresser ici est le suivant : « Rééducation des troubles de la communication et du langage écrit ». En effet, l'orthophoniste, dans sa pratique clinique, est souvent amené à recevoir des patients ayant des troubles du langage écrit. Nous distinguons deux types de troubles du langage écrit : les troubles spécifiques du langage écrit (TSLE) et les troubles non spécifiques du langage écrit. De plus, à partir du modèle simple de lecture de Hoover et Gough (1990), nous pouvons identifier quatre profils de lecture : les faibles lecteurs, les faibles décodeurs, les faibles compreneurs et les bons lecteurs (Macchi et al., 2016). L'apport de notre étude pour la pratique orthophonique concerne les faibles décodeurs et faibles lecteurs.

Les patients présentant des troubles non spécifiques d'apprentissage de la lecture pourraient bénéficier d'une rééducation orthophonique basée sur la syllabe. L'étude de Billiard et collègues (2009) a évalué un large échantillon de 1062 enfants en CE1 ou redoublant le CP. Il en conclut que les enfants faibles lecteurs sont majoritairement issus de zones défavorisées. La réalité clinique de l'orthophonie va dans le sens de cette étude. En effet, de nombreux patients en CP et CE1 bénéficiant d'une rééducation orthophonique en langage écrit, ne sont pas dyslexiques à proprement parler. Leurs difficultés d'acquisition de la lecture peuvent s'expliquer par un milieu modeste et peu stimulant. Pour ce type de patient sans dyslexie (à priori), une rééducation orthophonique axée sur un programme d'entraînement au décodage grapho-syllabique pourrait s'avérer vraiment utile et majorer les performances de lecture, à l'instar de l'étude de Vazeux et al. (2020).

Les patients dyslexiques présentent, par définition, un trouble sévère, spécifique et durable de l'acquisition de la lecture. Un programme d'entraînement centré sur la syllabe peut-il leur être bénéfique ? La thèse de Mahé (2013) met en évidence que, comparativement à des mauvais lecteurs appariés sur le niveau de lecture, les adultes dyslexiques présentent un défaut d'expertise des stimuli écrits. Ce déficit serait lié à des anomalies dans la spécialisation des structures occipito-temporales gauche et donc à un défaut de spécialisation de la composante N170. Enfin, l'étude de Doignon-Camus et al. (2013) a mis en évidence que les enfants dyslexiques ne se baseraient pas, contrairement aux enfants bons lecteurs, sur les unités syllabiques mais s'appuieraient davantage sur les régularités orthographiques. Ainsi, l'apport d'une méthode de lecture centrée sur la syllabe en orthophonie pour des enfants dyslexiques semble moins pertinent.

La pratique orthophonique voit aussi de nombreux enfants présentant des troubles du langage oral (TLO). L'on sait qu'un enfant présentant des troubles du langage oral aura de forts risques de développer des troubles du langage écrit (d'où l'hypothèse phonologique de la dyslexie). Dans notre étude, les troubles du langage oral constituaient un critère d'exclusion. L'étude de Sanchez et collaborateurs (2007) a montré, lors d'une tâche d'extraction d'unité phonologique (au choix : phonème ou syllabe), que les enfants et adolescents avec TSLO

obtenaient de meilleures performances dans l'extraction de syllabes que dans l'extraction de phonèmes. Ainsi, à l'instar des enfants pré-lecteurs, les enfants TSLO traitent préférentiellement la syllabe. On peut donc supposer qu'une prise en charge orthophonique axée sur la syllabe pour ce type de patient serait bénéfique.

Enfin, l'orthophoniste pourra, à la lumière de cette étude et de celle de Vazeux et al. (2020), privilégier dorénavant du matériel orthophonique exerçant la conversion grapho-syllabique plutôt que la conversion graphophonémique, avec par exemple les tableaux d'imprégnation syllabique (tableaux de syllabes à lire afin d'automatiser la lecture).

Conclusion

Au début de son apprentissage, la lecture repose sur le principe alphabétique qui permet le décodage des graphèmes en phonèmes. L'acquisition de la lecture dépend aussi de plusieurs facteurs prédictifs tels que la connaissance du nom et du son des lettres, ainsi que la conscience phonologique. Le modèle prédominant de la lecture, le modèle à double voie de Coltheart et Harris (2001) postule que l'apprentissage de la lecture débute avec la voie d'assemblage, qui permet de convertir les graphèmes en phonèmes. C'est donc le phonème qui est aujourd'hui l'unité phonologique de référence dans l'apprentissage de la lecture. Cependant, le modèle de DIAMS (Doignon & Zagar, 2009) met l'accent sur le traitement de la syllabe lors de l'apprentissage de la lecture. Selon ce modèle et l'hypothèse du pont syllabique (Doignon & Zagar, 2014), la construction de correspondances lettres-syllabes faciliterait les correspondances lettres-phonèmes.

Lors de l'apprentissage de la lecture, le premier traitement du mot est visuel (Perry et al. 2007). Pendant l'apprentissage de la lecture, l'aire de la forme visuelle des mots, située dans le cortex occipito-temporal gauche, va se spécialiser dans la reconnaissance visuelle des mots. L'activation de la VWFA est associée à l'activité électrophysiologique de la composante N170 (Brem, 2006), composante négative apparaissant environ 150 millisecondes après la présentation d'un stimulus visuel. La composante N170 traduit une spécialisation cérébrale pour l'écrit car elle décrit une plus grande amplitude pour les stimuli écrits comparativement à des stimuli visuels contrôles (Maurer & McCandliss, 2007). D'après la théorie du mapping phonologique (McCandliss & Noble, 2003), la spécialisation cérébrale de la N170 apparaît pendant l'apprentissage de la lecture et la construction des liens lettres-sons, ce que confirme l'étude de Brem de 2010.

L'objectif de notre étude était de déterminer quelle unité phonologique favorise le plus la spécialisation cérébrale pour l'écrit, entre la syllabe et le phonème. Les résultats de l'étude de Vazeux et ses collègues (2020) semblent confirmer l'hypothèse du pont syllabique (Doignon & Zagar, 2014) et postulent que l'enseignement des correspondances lettres-syllabes permet de mieux améliorer la conscience phonologique que l'enseignement des correspondances lettres-phonèmes. Notre étude a comparé l'impact de deux programmes d'entraînement à la lecture chez des enfants pré-lecteurs. Un entraînement est axé sur la syllabe, tandis que l'autre est axé sur le phonème. Des mesures comportementales et EEG sont réalisées en phase de pré-test et post-test afin de comparer l'effet des entraînements et les spécialisations cérébrales qui en résultent. Les mesures EEG sont une tâche de détection de répétition parmi trois types de stimulus : symboles, consonnes et syllabes.

À cause de la crise sanitaire, notre étude n'a pas pu être menée à bien, et seulement deux sujets du groupe Syllabe ont passé le protocole. Les résultats montrent que les deux sujets ayant passé le protocole ont amélioré leurs scores en conscience phonologique et lecture de syllabes. Quant aux EEG, un sujet a bel et bien développé des négativités postérieures qui étaient plus marquées pour les syllabes dans la zone occipito-temporale gauche. L'autre sujet a paradoxalement obtenu une spécialisation cérébrale de la N170 moins marquée après l'entraînement. Nous supposons cependant que l'apprentissage de lecture avait déjà débuté le concernant au vu de son score élevé en lecture de syllabes en phase de pré-test.

La rééducation orthophonique pourra s'inspirer de notre étude ainsi que d'autres travaux (Vazeux et al., 2020 ; Doignon & Zagar, 2014) pour mettre la syllabe au centre des enseignements lettres-sons avec des patients présentant des troubles d'apprentissage de la lecture.

Bibliographie

- Anthony, J. L., & Francis, D. J. (2005). Development of phonological awareness. *Current directions in psychological Science*, 14(5), 255-259.
- Bentin, S., Mouchetant-Rostaing, Y., Giard, M. H., Echallier, J. F., & Pernier, J. (1999). ERP manifestations of processing printed words at different psycholinguistic levels: time course and scalp distribution. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 11(3), 235-260.
- Billard, C., Fluss, J., Ducot, B., Bricout, L., Richard, G., Ecalle, J., ... & Ziegler, J. (2009). Deficits in reading acquisition in primary school: cognitive, social and behavioral factors studied in a sample of 1062 children. *Revue D'epidemiologie et de Sante Publique*, 57(3), 191-203.
- Blevins, J., & Goldsmith, J. (1995). The syllable in phonological theory. 1995, 206-244.
- de Boisferon, A. H., Colé, P., & Gentaz, E. (2010). Connaissance du nom et du son des lettres, habiletés métaphonémiques et capacités de décodage en grande section de maternelle. *Psychologie française*, 55(2), 91-111.
- Brem, S., Bucher, K., Halder, P., Summers, P., Dietrich, T., Martin, E., & Brandeis, D. 184 (2006). Evidence for developmental changes in the visual word processing network beyond adolescence. *NeuroImage*, 29(3), 822-837.
- Brem, S., Halder, P., Bucher, K., Summers, P., Martin, E., & Brandeis, D. (2009). Tuning of the visual word processing system: distinct developmental ERP and fMRI effects. *Human brain mapping*, 30(6), 1833-1844.
- Brem, S., Bach, S., Kucian, K., Kujala, J. V., Guttorm, T. K., Martin, E., ... & Richardson, U. (2010). Brain sensitivity to print emerges when children learn letter–speech sound correspondences. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(17), 7939-7944.
- Byrne, B. J. (1998). *The foundation of literacy: The child's acquisition of the alphabetic principle*. Psychology Press.
- Byrne, B., & Fielding-Barnsley, R. (1989). Phonemic awareness and letter knowledge in child's acquisition of the alphabetic principle. *Journal of Educational Psychology*, 81(3), 313-321.
- Castles, A., & Coltheart, M. (2004). Is there a causal link from phonological awareness to success in learning to read ?. *Cognition*, 91(1), 77-111.
- Chetail, F., & Mathey, S. (2009). The syllable frequency effect in visual recognition of French words: A study in skilled and beginning readers. *Reading and Writing*, 22, 955-973.
- Cohen, L., Lehericy, S., Chochon, F., Lemer, C., Rivaud, S., & Dehaene, S. (2002). Language-specific tuning of visual cortex? Functional properties of the Visual Word Form Area. *Brain*, 125(5), 1054-1069.

- Coltheart, M., Rastle, K., Perry, C., Langdon, R., & Ziegler, J. (2001). DRC: a dual route cascaded model of visual word recognition and reading aloud. *Psychological Review*, 108(1), 204-256.
- Dehaene, S., Le Clec'H, G., Poline, J. B., Le Bihan, D., & Cohen, L. (2002). The visual word form area: a prelexical representation of visual words in the fusiform gyrus. *NeuroReport* 13(3), 321-325.
- Demont, E., & Gombert, J. E. (1996). Phonological awareness as a predictor of recoding skills and syntactic awareness as a predictor of comprehension skills. *British Journal of Educational Psychology*, 66, 315-332.
- Doignon, N. & Zagar, D. (2005). Illusory conjunctions in French: the nature of sublexical units in visual word recognition. *Language and Cognitive Processes* 20(3), 443-64.
- Doignon, N., & Zagar, D. (2006). Les enfants en cours d'apprentissage de la lecture perçoivent-ils la syllabe à l'écrit?. *Canadian Journal of Experimental Psychology/Revue canadienne de psychologie expérimentale*, 60(4), 258.
- Doignon-Camus, N., & Zagar, D. (2014). The syllabic bridge: the first step in learning spelling-to-sound correspondences. *Journal of Child Language*, 41(5), 1147-1165.
- Doignon-Camus, N., Zagar, D., Marec-Breton, N., Besse, A. S., de La Haye, F., Bonneton, N., & Bonjour, E. (2009). Les enfants apprentis lecteurs perçoivent-ils la syllabe à l'écrit? Le modèle DIAMS. *Apprentissage du langage écrit: Approche cognitive*, 33-47.
- Doignon-Camus, N., Seigneuric, A., Perrier, A., Sisti, E. & Zagar, D. (2013). Evidence for a preserved sensitivity to orthographic redundancy and an impaired access to phonological syllables in French developmental dyslexics. *Annals of Dyslexia*, 63(2), 117-32.
- Duncan, L. G., Castro, S. L., Defior, S., Seymour, P. H., Baillie, S., Leybaert, J., ... & Serrano, F. (2013). Phonological development in relation to native language and literacy: Variations on a theme in six alphabetic orthographies. *Cognition*, 127(3), 398-419.
- Ehri, L. C. (2000). Learning to read and learning to spell: Two sides of a coin. *Topics in language Disorders*.
- Ehri, L. C., Nunes, S. R., Willows, D. M., Schuster, B. V., Yaghoub-Zadeh, Z., & Shanahan, T. (2001). Phonemic awareness instruction helps children learn to read: Evidence from the National Reading Panel's meta-analysis. *Reading research quarterly*, 36(3), 250-287.
- Ehri, L. C. (2005). Learning to read words: Theory, findings, and issues. *Scientific Studies of reading*, 9(2), 167-188.
- Foulin, J. N. (2005). Why is letter-name knowledge such a good predictor of learning to read? *Reading and Writing*, 18, 129-155.
- Gough, P.B., & Tunmer, W.E. (1986). Decoding, reading, and reading disability. *Remedial*

and *Special Education*, 7(1), 6-10.

Griffiths, Y. M., & Snowling, M. J. (2002). Predictors of exception word and nonword reading in dyslexic children : The severity hypothesis. *Journal of Educational Psychology*, 94(1), 34- 43.

Helenius, P., Tarkiainen, A., Cornelissen, P., Hansen, P.C., & Salmelin, R. (1999). Dissociation of normal feature analysis and deficient processing of letter-strings in dyslexic adults. *Cerebral Cortex*, 9(5), 476-483.

Hoover, W.A., & Gough, P.B. (1990). The simple view of reading. *Reading and Writing*, 2(2), 127-160.

Hulme, C., Bowyer-Crane, C., Carroll, J. M., Duff, F. J., & Snowling, M. J. (2012). The causal role of phoneme awareness and letter-sound knowledge in learning to read: Combining intervention studies with mediation analyses. *Psychological science*, 23(6), 572-577.

Kirby, J. R., Parrila, R. K., & Pfeiffer, S. L. (2003). Naming speed and phonological awareness as predictors of reading development. *Journal of Educational Psychology*, 95(3), 453–464.

Kozminsky, L., & Kozminsky, E. (1995). The effects of early phonological awareness training on reading success. *Learning and Instruction*, 5(3), 187-201.

Lerner, M. D., & Lonigan, C. J. (2015). Bidirectional relations between phonological awareness and letter knowledge in preschool revisited: A growth curve analysis of the relation between two code-related skills. *Journal of experimental child psychology*, 144, 166-83.

Macchi, L., Casalis, S., & Schelstraete, M. A. (2016). La lecture chez les enfants avec des troubles spécifiques d’articulation, de parole et/ou de langage oral: une revue narrative de littérature. *L'Année psychologique*, 116(4), 547-595.

Mahé, G. (2013). *La reconnaissance visuelle des mots chez le dyslexique: Implication des voies ventrale et dorsale* (Doctoral dissertation, Strasbourg).

Mahé, G., Bonnefond, A., Gavens, N., Dufour, A., & Doignon-Camus, N. (2012). Impaired visual expertise for print in French adults with dyslexia as shown by N170 tuning. *Neuropsychologia*, 50(14), 3200-3206.

Maurer, U., Brandeis, D., & McCandliss, B. D. (2005). Fast, visual specialization for reading in English revealed by the topography of the N170 ERP response. *Behavioral and brain functions*, 1(1), 1-12.

Maurer, U., Brem, S., Bucher, K., & Brandeis, D. (2005). Emerging neurophysiological specialization for letter strings. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 17(10), 1532-1552.

Maurer, U., Brem, S., Bucher, K., Kranz, F., Benz, R., Steinhausen, H.C., & Brandeis, D. (2007). Impaired tuning of a fast occipito-temporal response for print in dyslexic children

- learning to read. *Brain*, 130(12), 3200-3210.
- Maurer, U., Brem, S., Kranz, F., Bucher, K., Benz, R., Halder, P., Steinhausen, H. C., & Brandeis, D. (2006). Coarse neural tuning for print peaks when children learn to read. *NeuroImage*, 33(2), 749-758.
- Maurer, U., & McCandliss, B. (2007). The development of visual expertise for words: the contribution of electrophysiology. In: Grigorenko EL, Naples AJ, editors. Single-word reading: biological and behavioral perspectives. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, 43-63.
- McBride-Chang, C. (1999). The ABCs of the ABCs: The development of letter-name and letter-sound knowledge. *Merrill-Palmer Quarterly (1982-)*, 285-308.
- McCandliss, B. D., & Noble, K. G. (2003). The development of reading impairment: a cognitive neuroscience model. *Mental Retardation and Developmental Disabilities Research Reviews*, 9(3), 196-204.
- 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.
- Ministère de l'Éducation nationale, de l'enseignement supérieur et de la recherche (2015). *Mobiliser le langage dans toutes ses dimensions*.
https://cache.media.eduscol.education.fr/file/Langage/39/8/Ress_c1_langage_ecrit_principe_456398.pdf
- Morton, J. (1989). An information-processing account of reading acquisition.
- Muter, V., Hulme, C., Snowling, M. J., & Stevenson, J. (2004). Phonemes, rimes, vocabulary, and grammatical skills as foundations of early reading development: evidence from a longitudinal study. *Developmental psychology*, 40(5), 665.
- Perry, C., Ziegler, J. C., & Zorzi, M. (2007). Nested incremental modeling in the development of computational theories: the CDP+ model of reading aloud. *Psychological Review*, 114(2), 273-315.
- Piquard-Kipffer, A. (2003). *Prédiction des difficultés spécifiques (dyslexie) ou de la réussite en lecture: une étude longitudinale de 85 enfants de la grande section de maternelle à la fin du CE1* (Doctoral dissertation, Thèse de doctorat non publiée. Université de Paris-VII).
- Negro, I. & Genelot, S. (2009). Les prédicteurs en grande section maternelle de la réussite en lecture en fin de première année d'école élémentaire : l'impact du nom des lettres. *Bulletin de psychologie*, 501(3), 291-306.
- Ramus, F (2003). Developmental dyslexia: specific phonological deficit or general sensorimotor dysfunction ?. *Current Opinion in Neurobiology*, 13(2), 212-218.
- Raven JC (2002) Coloured Progressive Matrices (CPM) (Harcourt Test Services, Frankfurt).
- Sacchi, E., & Laszlo, S. (2016). An event-related potential study of the relationship between

- N170 lateralization and phonological awareness in developing readers. *Neuropsychologia*, 91, 415-425.
- Sánchez, M., Magnan, A., & Ecalle, J. (2007). Habiletés phonologiques chez des enfants dysphasiques de GS et CP: étude comparative avec des enfants au développement langagier normal. *Psychologie française*, 52(1), 41-54.
- Scarborough, H. S. (1998). Early identification of children at risk for reading disabilities: Phonological awareness and some other promising predictors. *Specific reading disability: A view of the spectrum*, 10(2), 75-119.
- Tarkiainen, A., Helenius, P., Hansen, P. C., Cornelissen, P. L., & Salmelin, R. (1999) Dynamics of letter string perception in the human occipitotemporal cortex. *Brain*, 122(11), 2119-2132.
- Treiman, R. (2006). Knowledge about letters as a foundation for reading and spelling. *Handbook of orthography and literacy*, 35, 581-599.
- Vazeux, M., Doignon-Camus, N., Bosse, M. L., Mahé, G., Guo, T., & Zagar, D. (2020). Syllable-first rather than letter-first to improve phonemic awareness. *Scientific reports*, 10(1), 1-12.

Liste des annexes

Annexe n°1 : Lettre d'information pour les parents

Annexe n°2 : Formulaire de consentement destiné aux parents

Annexe n°3 : Lettre d'information destinée aux enfants

Annexe n°4 : Questionnaire aux parents en début d'étude

Annexe n°5 : Questionnaire de latéralité posé à l'enfant au début de l'étude

Annexe n°6 : Affiche de recrutement pour le personnel de l'université

Annexe n°7 : Tests comportementaux

Annexe n°8 : Liste des stimuli de l'épreuve de détection de répétition avec enregistrement EEG

Annexe n°9 : Protocole des séances d'entraînement