

MEMOIRE

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

Thibault GHEERBRANT

présenté au jury en juin 2020

L'accès aux représentations phonologiques à partir de l'écrit

Vers une signature électrophysiologique de la dyslexie ?

MEMOIRE dirigé par

Anahita BASIRAT, Maître de conférences en psychologie, Laboratoire SCALab, Villeneuve d'Ascq
Gwendoline MAHE, Maître de conférences en psychologie, Laboratoire SCALab, Villeneuve d'Ascq

Mémoire réalisé dans le cadre du Parcours Recherche

Lille – 2020

Remerciements

Je remercie chaleureusement mes maîtres de mémoire, Mmes Mahé et Basirat, pour la qualité de leur encadrement durant ces deux ans. Merci pour votre bienveillance, votre patience et votre rigueur. Travailler sous votre direction a été un honneur et un plaisir.

J'adresse mes remerciements à tous les participants qui ont accepté de donner de leur temps pour cette étude, et plus particulièrement Arthur, Jonathan et Yoann, dont l'amitié m'est précieuse.

Merci à Maria Vazeux pour son aide lors des passations.

Merci à Maëlle Buchot pour son aide à la distribution d'affiches.

Merci à Camille, Charline, Fanny, Loane et Pauline pour les moments partagés au long de ces années universitaires.

Merci à Nora pour son soutien quotidien et sa relecture.

Résumé :

L'intégration de correspondances entre groupes de lettres et syllabes, puis entre graphèmes et phonèmes, est à la base de l'apprentissage de l'écrit. Chez les personnes dyslexiques, cet apprentissage est durablement altéré. Au niveau cognitif, de nombreux auteurs pensent que la dyslexie est causée par un trouble d'accès aux structures sonores sous-jacentes des mots, appelées représentations phonologiques. Beaucoup d'études se sont intéressées aux phonèmes, mais très peu aux syllabes, qui sont pourtant des unités facilement accessibles chez le lecteur tout-venant. La nature et l'ampleur de ce déficit demeurent donc encore largement inconnues. À travers deux expériences impliquant une tâche de lecture à haute voix de mots, nous avons utilisé le paradigme d'amorçage masqué et la méthode d'enregistrement par électroencéphalogramme pour comparer les performances et les potentiels évoqués de neuf adultes normo-lecteurs à ceux de neuf adultes dyslexiques. Bien que les participants dyslexiques aient été plus lents et moins précis que les sujets normo-lecteurs, les deux groupes ont montré une sensibilité à l'amorçage phonémique et syllabique, caractérisée par des différences d'amplitude négative sur la première composante étudiée (50-125 ms), sur les sites postérieurs. Dans la deuxième expérience, les participants dyslexiques semblent avoir traité l'unité syllabique différemment des normo-lecteurs, et mis en place une stratégie de traitement alternative pour améliorer leur précision. Malgré le manque de reproductibilité des résultats et la taille limitée de nos échantillons, ces éléments encourageants sont intéressants sur le plan clinique. La syllabe serait une unité sur laquelle les personnes dyslexiques pourraient s'appuyer pour compenser leurs difficultés.

Mots-clés :

Dyslexie développementale, théorie phonologique, lecture à haute voix, amorçage masqué, potentiels évoqués, unités syllabiques.

Abstract :

The acquisition of letters to syllables mapping, and then graphemes to phonemes mapping, is the basis of reading acquisition. This learning is durably disrupted in people with developmental dyslexia. At the cognitive level, many authors believe that dyslexia is caused by a difficulty in accessing the underlying sound structures of words, also called phonological representations. Many studies have focused on phonemes, but very few on syllables. Yet, syllables are easily accessible units for control readers. Therefore, the nature and extent of this deficit remain largely unknown. Through two experiments involving a task of reading words aloud, we used the masked onset priming effect (MOPE) and electroencephalogram recording to compare the performances and evoked potentials of nine dyslexic adults with nine controls. Although dyslexic participants were slower and less accurate than controls, both groups showed early sensitivity to phonemic and syllabic priming, characterized by differences in the amplitude of our first studied component (50-125 ms) at posterior sites. In addition, in the second experiment, the dyslexic participants appeared to have processed the syllabic unit differently from the controls, in order to develop an alternative strategy to improve their accuracy. Despite the lack of reproducibility of our results and the limited size of our samples, these encouraging elements are clinically interesting. The syllable would be a unit that dyslexic people could rely on to compensate for their difficulties.

Keywords :

Developmental dyslexia, phonological deficit theory, reading aloud, masked onset priming effect, event-related potentials, syllabic units.

Table des matières

Introduction.....	1
Contexte théorique, buts et hypothèses.....	2
1. Le rôle des unités phonologiques dans la lecture.....	2
1.1. Chez l'apprenti lecteur.....	2
1.2. Chez le lecteur expert.....	4
2. La dyslexie développementale.....	6
2.1. Introduction et généralités.....	6
2.2. La théorie phonologique.....	6
2.2.1. Une atteinte des processus de décodage.....	6
2.2.2. L'hypothèse d'un déficit d'accès aux représentations phonologiques à partir de l'écrit.....	7
2.3. Marqueurs électrophysiologiques du déficit d'accès aux représentations phonologiques depuis l'écrit.....	9
2.3.1. Détection automatique d'une incongruence écrit-oral (MMN).....	9
2.3.2. Capacité à extraire des propriétés phonologiques à partir d'un stimulus écrit...9	
2.3.3. Orientation attentionnelle vers les représentations phonologiques.....	10
3. Buts et hypothèses.....	10
Méthode.....	11
1. Participants.....	11
2. Stimuli et procédure.....	13
2.1 Matériel.....	13
2.1.1. Sélection des mots-cibles.....	13
2.1.2. Création des amorces.....	15
2.1.3. Constitution des listes de passation.....	17
2.2. Procédure expérimentale.....	18
2.3. Analyse des données.....	19
2.3.1. Mesures comportementales.....	19
2.3.2. Mesures électrophysiologiques.....	19
2.4. Statistiques.....	21
2.4.1. Mesures comportementales.....	21
2.4.2. Mesures électrophysiologiques.....	21
Résultats.....	21
1. Données comportementales.....	21
1.1. Données concernant E1.....	21
1.2. Données concernant E2.....	22
2. Données électrophysiologiques.....	22
2.1. Résultats électrophysiologiques de E1.....	23
2.1.1. Pour l'intervalle 50-125 ms.....	23
2.1.2. Pour l'intervalle 185-250 ms.....	23
2.1.3. Pour l'intervalle 270-400 ms.....	24
2.2. Résultats électrophysiologiques de E2.....	24
2.2.1. Pour l'intervalle 50-125 ms.....	24
2.2.2. Pour l'intervalle 185-250 ms.....	24
2.2.3. Pour l'intervalle 270-400 ms.....	25
Discussion.....	26
1. Discussion concernant E1.....	26
1.1. Discussion des résultats comportementaux de E1.....	26
1.2. Discussion des résultats électrophysiologiques de E1.....	27
2. Discussion concernant E2.....	28
2.1. Discussion des résultats comportementaux de E2.....	28

2.2. Discussion des résultats électrophysiologiques de E2.....	28
3. Implications orthophoniques.....	29
Conclusion.....	30
Bibliographie.....	31
Liste des annexes.....	35
1. Annexe 1 : Matériel de la première expérience (E1).....	A2
2. Annexe 2 : Matériel de la deuxième expérience (E2).....	A5
3. Annexe 3 : Items fillers.....	A8
4. Annexe 4 : Exemples de représentations graphiques du signal électrophysiologique, pour E1.....	A10
5. Annexe 5 : Exemples de représentations graphiques du signal électrophysiologique, pour E2.....	A12
6. Annexe 6 : Lettre d'information.....	A15

Introduction

L'apprentissage de la lecture constitue l'une des principales acquisitions réalisées par l'enfant à l'école primaire. Cet apprentissage est significativement perturbé chez certains enfants souffrant d'un trouble spécifique de la lecture, communément appelé dyslexie développementale. Ces enfants présentent un retard d'acquisition de la lecture qui ne peut être imputé à une déficience intellectuelle, à un défaut d'éducation, ou à un trouble d'ordre psychiatrique ou sensoriel. De par sa prévalence et son impact sur la réussite académique et sur l'insertion sociale et professionnelle, cerner l'origine des difficultés de lecture dans la dyslexie est devenu un véritable enjeu de santé publique. Dans ce cadre, comprendre les étapes de traitement de la lecture des personnes dyslexiques paraît indispensable, afin de pouvoir mieux les diagnostiquer et d'être en mesure de leur proposer des prises en charge adaptées, fondées sur des preuves scientifiques. Aujourd'hui, la théorie explicative de la dyslexie la plus robuste postule l'existence d'un déficit phonologique. Ramus et Szenkovits (2008) ont montré que les représentations phonologiques des personnes dyslexiques pouvaient être intactes. D'après eux, c'est l'accès à ces représentations, ainsi que la capacité à les maintenir en mémoire et à les manipuler qui seraient perturbés. Ces difficultés se manifesteraient notamment dans des tâches de dénomination rapide, de répétition de pseudo-mots, et de conscience phonologique (Snowling, 2000).

De nombreuses études en électrophysiologie ont exploré l'accès aux représentations phonologiques à partir de l'écrit chez la personne dyslexique (Araújo, Faisca, Bramão, Reis, & Petersson, 2015 ; Froyen, Willems, & Blomert, 2011 ; Mahé, Pont, Zesiger, & Laganaro, 2018 ; Savill & Thierry, 2012), et leurs résultats sont compatibles avec la théorie de Ramus et Szenkovits (2008). Toutefois, la nature des représentations phonologiques dont l'accès serait altéré demeure aujourd'hui incertaine. Des travaux se sont intéressés aux phonèmes (Froyen et al., 2011), d'autres à la forme phonologique globale des mots (Savill & Thierry, 2012), mais aucun à la syllabe. Pourtant, l'unité syllabique est cruciale lors de l'apprentissage de la lecture (Doignon-Camus & Zagar, 2014), et l'enfant apprenti lecteur y a plus facilement accès qu'au phonème (Demont & Gombert, 1996). Il a également été montré que les unités syllabiques sont fortement impliquées lors de la reconnaissance de mots écrits, chez le lecteur expert (Ashby, 2010). Il semble raisonnable de penser qu'il en va de même pour les personnes dyslexiques.

Afin de mieux comprendre le trouble d'accès aux représentations phonologiques chez les personnes dyslexiques, il paraît essentiel de qualifier sa nature. Ainsi, la présente étude a pour objet de déterminer si ce déficit concerne de façon égale l'ensemble des représentations phonologiques (phonème et syllabe) ou si l'accès à l'une ou l'autre de ces représentations est préservé. Nous nous sommes intéressé au décours temporel de l'accès phonologique et avons analysé des potentiels évoqués. Nous avons choisi de recourir à une tâche de lecture à haute voix. Bien que peu utilisée en électrophysiologie, elle paraît plus adaptée que la tâche de décision lexicale pour mesurer les compétences d'accès aux représentations phonologiques (Zoccolotti, Di Luca, Di Filippo, Marinelli, & Spinelli, 2018). L'ampleur des déficits d'accès aux représentations phonologiques a été mesurée à partir d'effets d'amorçage des différentes unités (premier(s) phonème(s) vs. première syllabe). Des travaux ont déjà pu mettre en évidence, en lecture à haute voix, un effet d'amorçage très précoce du premier phonème chez le normo-lecteur (Timmer, Ganushchak, Ceusters, & Schiller, 2014 ; Timmer & Schiller, 2012). Toutefois, aucune étude électrophysiologique n'avait jusqu'alors cherché à comparer l'activation automatique des représentations phonémiques et syllabiques chez la personne dyslexique.

Contexte théorique, buts et hypothèses

1. Le rôle des unités phonologiques dans la lecture

1.1. Chez l'apprenti lecteur

L'apprentissage du langage écrit est secondaire à la mise en place du langage oral ; aucune langue naturelle n'étant purement écrite. Ainsi, même si la perception de l'écrit peut sembler principalement dépendre d'une modalité visuelle, le lecteur, pour lire un mot – que ce soit en lecture silencieuse ou à haute voix – doit associer à la forme écrite du mot sa représentation phonologique. En outre, apprendre à lire nécessite pour l'enfant d'intégrer des correspondances entre des unités de la langue orale – qu'il connaît déjà – et des unités de la langue écrite. Dans une écriture alphabétique comme la nôtre, ces unités sont respectivement le phonème et le graphème. C'est par la maîtrise progressive de ces associations entre graphèmes et phonèmes que l'enfant parviendra à identifier des mots, d'abord avec effort puis de manière automatisée.

La conscience phonologique est la capacité à percevoir, identifier et à manipuler les différentes unités phonologiques que sont les phonèmes, les syllabes et les rimes (Anthony & Francis, 2005). Toutefois, d'après certains auteurs, le phonème n'est pas une unité à laquelle l'enfant a accès avant d'entrer dans l'écrit (Anthony & Francis, 2005). La conscience phonologique suivrait en effet un développement séquentiel, des unités phonologiques de grande taille vers celles de petite taille. Ainsi, entre trois et quatre ans, les enfants seraient d'abord capables de traiter les unités syllabiques. Entre quatre et cinq ans, ils deviendraient capables d'appréhender la rime. L'accès conscient aux unités phonémiques, en revanche, ne se développerait que de façon concomitante à l'apprentissage de la lecture, et ce quelle que soit la langue (Ziegler & Goswami, 2005). En français, Demont et Gombert (1996) ont proposé à des enfants des tâches de comptage de syllabes et de phonèmes dans des mots. Le taux de réussite chez les enfants de grande section au comptage de syllabes était de 69 %, mais de seulement 2 % pour les phonèmes. Au CP, ces taux étaient respectivement de 77 % et 61 %. Ainsi, même après avoir commencé à lire, la conscience syllabique des enfants demeurerait meilleure que leur conscience phonémique.

Au vu de cette différence d'accessibilité des unités phonologiques, certains auteurs ont pensé qu'il pourrait être intéressant de renforcer des correspondances entre des groupes de lettres et des syllabes, avant de s'intéresser aux correspondances entre graphèmes et phonèmes. Doignon-Camus et Zagar (2014) ont proposé un programme d'entraînement à des enfants prélecteurs de grande section de maternelle. Les participants ont été répartis en trois groupes, dont un groupe contrôle. Un groupe bénéficiait d'un entraînement purement visuel, dans lequel les enfants devaient désigner et nommer des lettres isolées sur des cartes où était inscrite une syllabe de structure consonne-voyelle (CV ; ex. « NA »). Dans cette modalité, la syllabe n'était jamais prononcée par l'enfant ou par l'expérimentateur. Le dernier groupe d'enfants bénéficiait d'un apprentissage visuo-phonologique, où l'expérimentateur présentait les mêmes cartes que dans la modalité visuelle à l'enfant, lisait la syllabe à haute voix, et demandait à l'enfant de la répéter. Puis, l'enfant regardait la syllabe et donnait à haute voix les lettres qui la composaient.

Afin de s'assurer de l'efficacité de l'entraînement, une tâche dite « de conjonction illusoire » se déroulait avant et après chaque session. Les auteurs présentaient brièvement une séquence de lettres

de structure consonne-voyelle-consonne (CVC) en deux couleurs. Le découpage en couleurs pouvait être congruent avec la syllabe travaillée durant l'entraînement (ex. « **NAC** », congruent avec « NA »), ou au contraire, incongruent (ex. « **NAC** », incongruent avec « NA »). Les enfants devaient donner à l'oral la couleur d'une lettre-cible.

De façon intéressante, les résultats indiquent que les enfants ont montré une sensibilité aux séquences de lettres les plus fréquentes en français, et donc, aux principes orthotactiques de la langue. Ainsi, dans une séquence telle que « **NAC** », si l'expérimentateur demandait la couleur de la lettre « A », les enfants qui se trompaient avaient tendance à donner la couleur de la lettre « N » plutôt qu'à réaliser un autre type d'erreur. Cela signifie que les enfants ont été sensibles à l'entraînement, et ont notamment pu isoler les syllabes comme des unités perceptives dont ils pouvaient extraire des régularités statistiques, alors qu'ils ne savaient pas encore lire. Cette sensibilité était encore meilleure pour les enfants du groupe visuo-phonologique. Sur base de ces découvertes, les auteurs ont alors proposé un modèle en six étapes, intégrant le rôle de la syllabe dans le développement du langage écrit, qu'ils ont appelé « pont syllabique » (Figure 1).

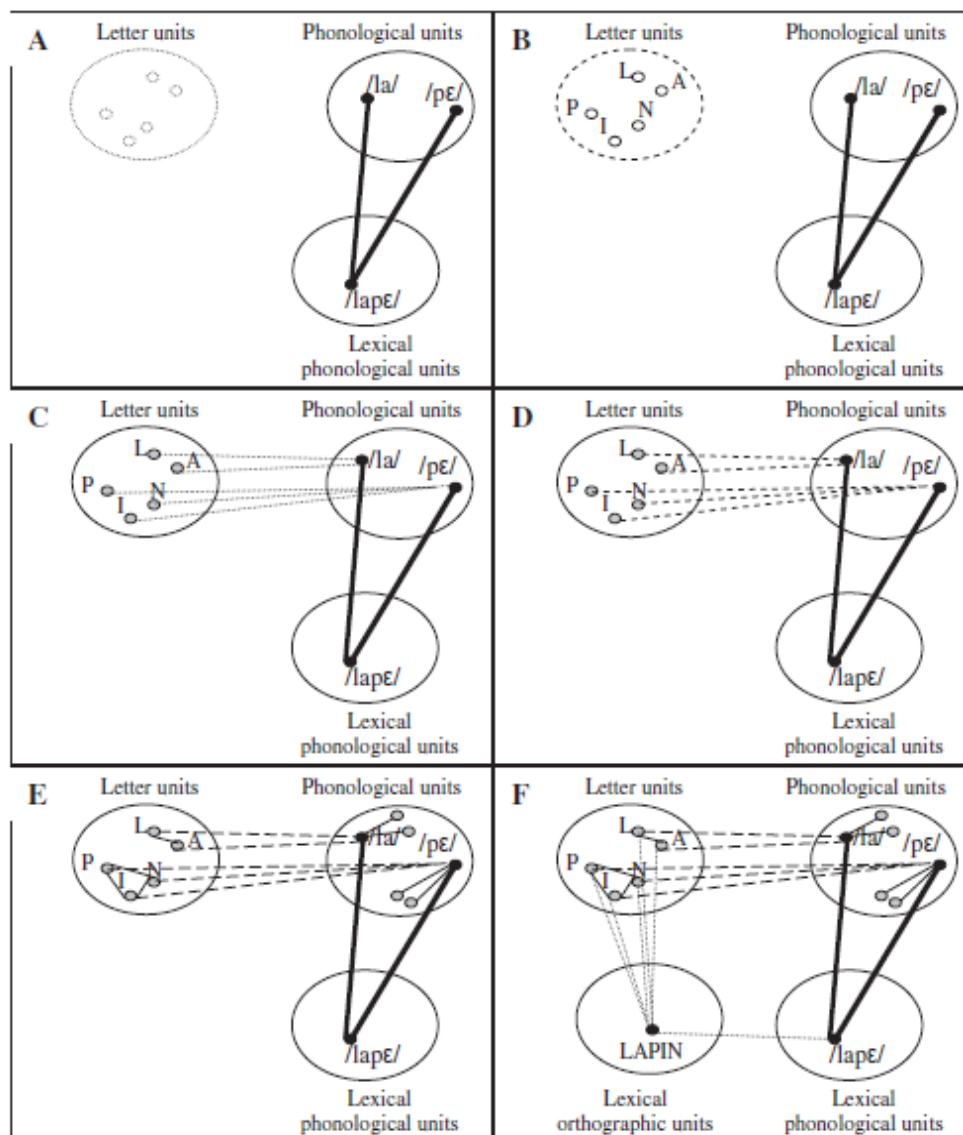


Figure 1: Modèle Développementale Interactif avec Syllabes (DIAMS), de Doignon-Camus et Zagar (2014).

Avant le début de l'apprentissage de l'écrit, les représentations orthographiques ne seraient pas encore précisées, pourtant l'enfant serait déjà capable de découper un mot en unités phonologiques syllabiques (étape A). Les premières représentations orthographiques s'établiraient sous forme de groupes de lettres (étape B) et seraient mises en correspondance avec les unités syllabiques accessibles (étape C). Ces connexions s'automatiseraient avec le temps et l'expérience (étape D), permettant à l'enfant de construire progressivement ses représentations phonémiques (étape E), puis lexicales orthographiques (étape F).

1.2. Chez le lecteur expert

En l'absence de troubles, la lecture est beaucoup plus automatisée chez l'adulte que chez l'enfant en apprentissage de l'écrit. De nombreuses études ont cherché à déterminer si des informations phonologiques pouvaient améliorer la qualité et la vitesse d'une lecture déjà jugée performante. Le plus souvent, elles ont pour cela eu recours au paradigme d'amorçage masqué, décrit par Forster et Davis (1991). Cette procédure consiste à présenter un mot-cible, précédé d'un autre mot ou pseudo-mot, appelé « amorce » et d'un masque composé de hashtags (#). L'amorce est présentée pendant un laps de temps très court (souvent, 20 à 50 ms), de façon à ce qu'elle ne puisse pas être lue consciemment par le participant. Elle partage avec le mot-cible certaines caractéristiques phonologiques. Il est généralement attendu que le participant réussisse mieux ou plus rapidement la tâche qui lui est demandée lorsque l'amorce partage avec la cible des caractéristiques phonologiques. Dans les études, deux types de tâches sont classiquement utilisés avec ce paradigme. Le premier type est la tâche de décision lexicale : elle consiste à demander au participant si le stimulus écrit présenté correspond ou non à un mot existant. Le second est une tâche de lecture à haute voix.

Ainsi, en utilisant le paradigme d'amorçage masqué, de nombreuses études comportementales ont mis en évidence, dans des tâches de lecture à haute voix et de décision lexicale, un effet facilitateur du premier phonème chez l'adulte (Carreiras, Ferrand, Grainger, & Perea, 2005 ; Kinoshita & Woollams, 2002 ; Schiller, 2004 ; Timmer & Schiller, 2012). Cet effet se traduit par un temps de réaction plus court dans une condition où l'amorce et le mot-cible partagent le même phonème initial (ex. cadeau – COCHON) par rapport à une condition contrôle, où aucun phonème n'est commun entre l'amorce et la cible (ex. bateau – COCHON). De plus, il a été montré que cet effet n'était pas dû à un partage d'informations orthographiques entre l'amorce et la cible (Kinoshita, 2000), dans la mesure où il demeure présent en cas d'incongruence de la première lettre (ex. salade – CITRON). Il s'agit donc bien d'un effet de nature phonologique.

Afin de mesurer le décours temporel de l'amorçage phonémique, des études ont eu recours à des mesures électrophysiologiques, en plus des analyses comportementales sur les temps de réaction. Ainsi, l'étude de Timmer et Schiller (2012) s'est intéressée, dans une tâche de lecture à haute voix, aux effets facilitateurs du premier phonème et du premier graphème chez des étudiants bilingues (L1 néerlandais, L2 anglais) par rapport à des étudiants monolingues anglais. Pour mesurer l'effet facilitateur du premier graphème, ils ont comparé une condition d'amorçage congruente aux niveaux graphémique et phonémique (O+P+ ; ex. ginger-GENIUS) à une condition d'amorçage incongruente au niveau graphémique (O-P+ ; ex. junior-GENIUS). Pour mesurer l'effet facilitateur du premier phonème, ils ont comparé la condition congruente aux niveaux orthographique et graphémique (O+P+ ; ex. ginger-GENIUS) à une condition incongruente au niveau phonémique (O+P- ; ex. garlic-GENIUS). Au niveau comportemental, les auteurs ont observé des temps de réaction significativement plus courts d'environ cinq millisecondes dans les

conditions comportant un amorçage phonémique (O+P+ ; ex. ginger-GENIUS ; O-P+ ; ex. junior-GENIUS) par rapport à la condition ne comportant qu'un amorçage graphémique (O+P- ; ex. garlic-GENIUS).

Dans cette même étude, Timmer et Schiller (2012) ont étudié les amplitudes du signal électrique dans deux intervalles : 120-180 ms après présentation du mot-cible, et 180-280 ms après présentation du mot-cible. Dans l'intervalle 120-180 ms, chez les locuteurs monolingues, les auteurs ont trouvé des différences d'amplitude du signal sur les sites frontaux et centraux, seulement en cas d'amorçage orthographique. Dans l'intervalle 180-280 ms, les auteurs ont observé un signal plus ample sur les sites centraux et postérieurs, en cas d'amorçage phonologique ou orthographique. Dans une étude plus récente, Timmer, Ganushchak, Ceusters, & Schiller (2014) ont relevé des effets d'amorçage phonologique plus précoces, dès 125 ms.

En décision lexicale, une autre étude a pu mettre en évidence des effets d'amorçage phonémique au niveau électrophysiologique en décision lexicale (Carreiras, Perea, Vergara, & Pollatsek, 2009). Toutefois, ils ont observé des résultats plus tardifs (350-550 ms après présentation du mot-cible) que Timmer et Schiller (2012). D'après ces derniers, la tâche de lecture à haute voix permettrait donc d'observer des résultats plus précoces que la tâche de décision lexicale, parce qu'elle requiert explicitement la mise en correspondance grapho-phonémique avant l'exécution des programmes moteurs articulatoires.

D'autres auteurs se sont intéressés au rôle facilitateur de la syllabe. Ainsi, dans l'étude comportementale de Ferrand, Segui et Grainger (1996), les auteurs ont proposé une tâche de lecture à haute voix de mots et de non-mots bisyllabiques et trisyllabiques, en utilisant le paradigme d'amorçage masqué. Leurs amorces partageaient un certain nombre de lettres avec leurs mots-cibles. Ces lettres étaient parfois congruentes avec la première syllabe de la cible (ex. ba%-%-% - BALADE) ou au contraire, incongruentes (ex. ba%-%-% - BALCON). Ils ont observé une interaction entre le type de mots-cibles et le type d'amorce : les mots de structure CV (ex. balade) étaient lus plus rapidement avec des amorces de structure CV (ex. ba%-%-%) qu'avec des amorces de structure CVC (ex. bal%-%-%), et inversement. Ils ont ainsi mis en évidence un effet facilitateur de l'amorce sur les temps de réaction et les taux de bonnes réponses, dans le cas où elle correspondait à la première syllabe du mot-cible. En langue anglaise, des résultats similaires ont été observés (Ferrand, Segui, & Humphreys, 1997). Toutefois, d'autres auteurs n'ont pas réussi à reproduire ces résultats (Schiller, 1998 ; Schiller, 1999), y compris en langue française avec une procédure identique (Brand, Rey, & Peereman, 2003). Schiller (1999) a alors émis l'hypothèse que les résultats obtenus par Ferrand et al. (1996) étaient surtout dus à un partage d'informations visuelles (i.e., au recouvrement orthographique) entre les mots-cibles et les amorces, plutôt qu'à un effet de l'unité syllabique. Néanmoins, l'étude chinoise de You, Zhang, et Verdonschot (2012) est parvenue à mettre en évidence des effets d'amorçage syllabique à travers quatre expériences successives. Or, il n'existe en chinois aucun partage d'informations visuelles entre les cibles et les amorces. Les découvertes de ces auteurs sont donc cohérentes avec l'hypothèse que le lecteur adulte demeurerait sensible aux informations syllabiques, qui lui permettraient d'améliorer sa vitesse de lecture. Si la syllabe est donc une unité importante lors de l'entrée dans la lecture, elle resterait cruciale chez le lecteur expert, même après des années de pratique.

L'effet d'amorçage syllabique a également fait l'objet d'études au niveau électrophysiologique. Ainsi, Ashby (2010) s'est intéressée à l'effet facilitateur d'un amorçage syllabique chez le lecteur expert. Les participants, adultes bons lecteurs, devaient lire silencieusement des mots précédés d'amorces masquées qui partageaient leurs premières lettres avec

eux. Ces amorces étaient réparties en deux conditions : celles partageant leur première syllabe avec le mot-cible (ex. bas#### - BASKET), et celles dont la première syllabe différait, malgré des premières lettres communes (ex. ba##### - BASKET). Après la lecture, il était demandé aux participants de réaliser une tâche de décision sémantique (ex. « Est-ce un vêtement ? »), afin que l'expérimentateur puisse s'assurer que les mots avaient été bien lus. Des résultats très précoces ont été observés en électrophysiologie, autour de 100 ms (composante N1) : l'amplitude des potentiels évoqués était plus faible dans la condition d'amorçage syllabique (ex. bas#### - BASKET) que dans la condition contrôle (ex. ba##### - BASKET). Ainsi, les résultats observés par Ashby (2010) traduisent un effet facilitateur de l'unité syllabique, et non seulement des premières lettres, lors de la lecture d'un mot. En outre, au niveau électrophysiologique, l'effet d'amorçage syllabique semble s'observer plus tôt encore que l'effet d'amorçage phonémique, décrit ci-avant (Timmer, Ganushchak, Ceusters, & Schiller, 2014 ; Timmer & Schiller, 2012).

Toutes les études décrites ci-dessus ne concernent toutefois que des sujets normo-lecteurs. À notre connaissance, la question de l'accès aux représentations syllabiques n'a jamais été explorée par électroencéphalogramme chez des participants dyslexiques.

2. La dyslexie développementale

2.1. Introduction et généralités

Depuis le premier cas décrit par Morgan (1896), les connaissances sur la dyslexie ont largement évolué. La onzième édition de la Classification Internationale des Maladies (CIM-11 ; Organisation Mondiale de la Santé, 2018) classe la dyslexie parmi les troubles neuro-développementaux, et plus particulièrement les troubles des apprentissages. Le diagnostic peut être posé si les performances de l'enfant à une épreuve standardisée de lecture ou de compréhension s'éloignent de la norme attendue d'au moins deux écarts-types, compte tenu de son âge et de son niveau intellectuel. Il s'agit d'un trouble au caractère spécifique ; il est donc nécessaire d'effectuer un diagnostic excluant d'autres causes (intellectuelles, sensorielles, environnementales). En outre, la dyslexie répond également à un critère de sévérité, puisque les difficultés en lecture doivent être discordantes compte tenu de l'âge et des capacités cognitives de l'enfant, et retentir sur les apprentissages et sur sa vie quotidienne.

Le Manuel Statistique et Diagnostique des troubles mentaux (DSM-5 ; American Psychiatric Association, 2013) précise que la dyslexie est également persistante – les troubles de lecture devant être présents depuis au moins six mois – et résistante à une intervention ciblée. Le seuil statistique retenu par le DSM-5 est celui du septième percentile, soit 1,5 écart-type en deçà de la moyenne.

De nombreux auteurs ont cherché des hypothèses explicatives à ce trouble spécifique de la lecture. Au niveau cognitif, l'hypothèse phonologique constitue l'une des théories les plus documentées et robustes.

2.2. La théorie phonologique

2.2.1. Une atteinte des processus de décodage

Chez l'enfant dyslexique, l'automatisation du processus de décodage est considérablement entravée. En effet, plusieurs études de groupes ont pu mettre en évidence des performances déficitaires lors de la lecture de pseudo-mots – une tâche qui nécessite de recourir aux processus de décodage (Rack, Snowling, & Olson, 1992). La méta-analyse de Van Ijzendoorn et Bus (1994) conclut au caractère systématique du déficit en lecture de pseudo-mots, quelle que soit leur longueur, chez l'enfant dyslexique. Ce défaut en lecture de pseudo-mots serait plus marqué dans les langues à faible transparence orthographique, c'est-à-dire les langues où les liens entre phonèmes et graphèmes sont irréguliers (Landerl, Wimmer, & Frith, 1997 ; Paulesu et al., 2001).

Si l'existence d'un déficit phonologique est alors établie, la question de sa nature et de son origine fait toutefois encore débat aujourd'hui. Certains auteurs ont pensé que les représentations phonologiques étaient altérées dans la dyslexie. Des travaux ont ainsi montré que les personnes dyslexiques avaient plus de difficultés que les personnes normo-lectrices à détecter les différences entre des phonèmes qui variaient par certains traits articulatoires (Serniclaes, Sprenger-Charolles, Carré, & Demonet, 2001). Ainsi, les personnes dyslexiques auraient de moins bonnes capacités discriminatoires inter-catégorielles (ex. entre un /ba/ et un /da/) que les normo-lecteurs. À l'inverse, leurs capacités discriminatoires intra-catégorielles (ex. entre deux /da/ légèrement différents par leurs paramètres acoustiques) seraient meilleures que celles des sujets normo-lecteurs. Ces particularités pourraient expliquer la difficulté pour l'enfant dyslexique d'intégrer les correspondances graphèmes-phonèmes, et donc à mettre en place une voie de lecture sublexicale ou « voie d'assemblage » efficiente (Coltheart, Rastle, Perry, Langdon, & Ziegler, 2001). Une autre hypothèse, formulée par Ramus et Szenkovits (2008), postule que les représentations phonologiques sont intactes, mais que le processus d'accès à ces représentations est perturbé.

2.2.2. L'hypothèse d'un déficit d'accès aux représentations phonologiques à partir de l'écrit

Des auteurs ont pu mettre en évidence chez les personnes dyslexiques une mémoire à court terme phonologique défaillante et une capacité limitée à manipuler les phonèmes. Ces éléments pourraient expliquer leurs difficultés à intégrer les correspondances graphèmes-phonèmes (Snowling, 2000). Ces atteintes s'accompagneraient également d'une lenteur d'accès au lexique phonologique de sortie (Wolf, Bowers, & Biddle, 2000), se manifestant dans une tâche de dénomination rapide.

Ainsi, l'étude de Ramus et al. (2003), s'est intéressée à des adultes en milieu universitaire, et a évalué les habiletés phonologiques des étudiants dyslexiques, en dehors de toute tâche de lecture. Les auteurs ont pour cela eu recours à des tâches d'identification de phonèmes, de contrepèteries, de dénomination rapide et de répétition de pseudo-mots. Ils ont retrouvé des performances déficitaires à l'ensemble de ces tâches, chez tous les participants dyslexiques. Leur analyse a montré que c'était bien la variable phonologique qui était principalement responsable de la variance en lecture ; une conclusion partagée par d'autres auteurs (Chiappe, Stringer, Siegel, & Stanovich, 2002).

Plus récemment, Ramus et Szenkovits (2008) ont réévalué la théorie phonologique. Les auteurs ont montré dans leur étude que les participants dyslexiques présentaient des performances phonologiques déficitaires seulement dans certaines tâches spécifiques saturant la mémoire de

travail. Ils ont proposé à leurs participants une tâche de discrimination phonologique de pseudo-mots, et dans l'une des conditions expérimentales, ils leur ont demandé de prononcer en continu une séquence de phonèmes (/bababa/) pendant la passation de l'épreuve. De cette façon, la boucle phonologique des participants était constamment mobilisée, et moins disponible pour contribuer à la tâche de discrimination phonologique. Ramus et Szenkovits (2008) ont émis l'hypothèse que le trouble phonologique des personnes dyslexiques pourrait concerner l'accès aux représentations phonologiques, et non l'intégrité même de ces représentations.

Cette question demeurerait néanmoins difficile à trancher sans ambiguïté, au vu de la difficulté des protocoles comportementaux à impliquer les représentations phonologiques sans solliciter l'accès à ces représentations – et réciproquement. Dans leur étude en neuroimagerie, Boets et al. (2013) ont présenté à leurs participants dyslexiques une tâche de discrimination phonologique, en ayant recours à l'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle (IRMf). Leurs résultats suggèrent que les représentations phonologiques seraient stockées bilatéralement, au niveau des cortex auditifs primaire et secondaire, et que la connectivité au sein de ces zones serait normale chez les adultes dyslexiques. En revanche, la connectivité entre les cortex auditifs et le gyrus frontal inférieur gauche – une zone impliquée dans le traitement phonologique de plus haut niveau – serait altérée. Ces résultats soutiennent, d'un point de vue anatomo-fonctionnel, l'hypothèse formulée par Ramus et Szenkovits (2008) du déficit d'accès aux représentations phonologiques chez la personne dyslexique.

L'enjeu est alors de pouvoir préciser la nature de ce déficit d'accès. Il paraît en effet important de déterminer si ce déficit concerne de façon égale l'accès à l'ensemble des représentations phonologiques. Malgré l'importance que revêt la syllabe dans l'apprentissage de l'écrit (voir ci-dessus), peu d'études se sont intéressées à l'accès aux représentations syllabiques chez l'enfant dyslexique. Dans l'une d'elles, Doignon-Camus, Seigneuric, Perrier, Sisti et Zagar (2013) ont utilisé le paradigme des conjonctions illusoires. Les participants, des enfants de neuf à douze ans, étaient répartis en deux groupes (un groupe d'enfants normo-lecteurs et un groupe d'enfants dyslexiques). Ils devaient déterminer quelle était la couleur de la lettre centrale, au sein d'un pseudo-mot de cinq lettres présenté en deux couleurs. Le découpage en couleur pouvait être congruent avec le découpage syllabique (ex. **bimir**), ou incongruent (ex. **bimr**). Ce faisant, les auteurs se sont intéressés à la perception automatique des unités syllabiques chez des enfants normo-lecteurs et dyslexiques en fonction du type de syllabe (CV versus CVC) et de la fréquence d'association des lettres autour des unités syllabiques. Chez les enfants normo-lecteurs, la structure syllabique et les propriétés orthotactiques des séquences ont influencé la perception des stimuli écrits. Les enfants dyslexiques, eux, n'ont été sensibles qu'aux propriétés orthotactiques. Ces résultats ont deux implications. D'abord, les enfants dyslexiques seraient sensibles à la redondance orthographique, et pourraient extraire des régularités statistiques par un apprentissage implicite, sans avoir besoin de s'appuyer sur la phonologie. Deuxièmement, chez l'enfant, le déficit d'accès aux représentations phonologiques ne concernerait pas uniquement les unités phonémiques, mais aussi les unités syllabiques. Toutefois, aucune étude n'a jusqu'alors comparé, chez l'adulte dyslexique, l'accès à ces deux types de représentations au sein d'un même protocole.

Au niveau électrophysiologique, de nombreux auteurs ont cherché à comparer l'activité corticale de la personne dyslexique à celle du sujet normo-lecteur. Ces études ont ainsi permis d'apporter des précisions sur les étapes de traitement phonologique altérées dans la dyslexie.

2.3. Marqueurs électrophysiologiques du déficit d'accès aux représentations phonologiques depuis l'écrit

2.3.1. Détection automatique d'une incongruence écrit-oral (MMN)

Au niveau électrophysiologique, l'une des particularités observées chez les personnes dyslexiques concerne la négativité de discordance, ou « mismatch negativity » (MMN). La MMN est un potentiel évoqué auditif observé lorsqu'un stimulus auditif déviant survient au sein d'une série de stimuli auditifs identiques. C'est une onde cérébrale émise par le cortex auditif 100 à 250 ms après présentation du stimulus déviant. Elle est produite de façon automatique, même chez des sujets inattentifs à la tâche. Elle constitue donc un indicateur neurophysiologique intéressant dans l'étude de la dyslexie, et a notamment été largement utilisée dans le cadre de l'hypothèse explicative d'un trouble auditif central (Kujala & Näätänen, 2001)

Des études ont mis en évidence une sensibilité de la MMN à des incongruences audio-visuelles. Ainsi, Froyen, Bonte, Van Attevelde, et Blomert (2009) ont étudié la MMN chez des lecteurs experts et des enfants apprentis lecteurs. Ils ont présenté une série de stimuli auditifs (i.e., le phonème /a/) avec de rares stimuli auditifs déviants (i.e., le phonème /o/). Ils ont ensuite répété la même procédure, mais avec association du graphème « a » aux stimuli auditifs. Chez le lecteur expert, les résultats montrent une plus forte amplitude de la MMN dans la condition audiovisuelle par rapport à la condition auditive, lorsque les stimuli auditifs et visuels sont présentés simultanément. Ces résultats témoignent d'une intégration automatique des correspondances graphèmes-phonèmes. En comparaison, chez l'apprenti lecteur, pour qui ces correspondances ne sont pas encore automatisées, l'amplitude de la MMN en condition audiovisuelle était plus faible. En outre, chez l'apprenti lecteur, la MMN n'apparaissait que si les présentations des stimuli auditifs et visuels étaient différées ; elle n'était pas présente en cas de présentation simultanée.

Chez la personne dyslexique, la littérature décrit des résultats différents de ceux observés chez le lecteur expert et l'apprenti lecteur. Froyen, Willems et Blomert (2011) ont cherché à explorer la nature des troubles de conversion grapho-phonémique de seize enfants dyslexiques de onze ans, en utilisant la même procédure que Froyen et al. (2009). Pour la tâche purement auditive, la MMN observée chez les sujets dyslexiques était identique à celle des sujets normo-lecteurs, que ce soit en amplitude, en latence, ou en répartition topographique. Mais à la différence des sujets normo-lecteurs, l'amplitude et la latence de la MMN étaient identiques dans la tâche auditive et dans la tâche audiovisuelle.

Ainsi, les personnes dyslexiques ne seraient pas capables de détecter automatiquement une incongruence entre une lettre écrite et sa prononciation, même après plusieurs années d'apprentissage de la langue écrite. L'altération des réponses de la MMN dans la condition audiovisuelle témoigne de l'altération des processus d'intégration des correspondances graphèmes-phonèmes.

2.3.2. Capacité à extraire des propriétés phonologiques à partir d'un stimulus écrit

Une autre signature électrophysiologique observée chez les personnes dyslexiques concernerait une composante plus tardive, qui a été associée à la distinction entre des stimuli écrits prononçables (i.e., un mot ou un pseudo-mot), et des stimuli écrits non prononçables (i.e., une séquence de consonnes). Il s'agit de la composante N320, qui survient 320 ms après présentation de stimuli écrits prononçables, sur des sites temporo-pariétaux gauches (Bentin et al., 1999).

Dans l'étude portugaise de Araújo, Faísca, Bramão, Reis, et Petersson (2015), les auteurs se sont intéressés à des processus de lecture implicite chez des adultes dyslexiques. Les participants voyaient sur un écran des stimuli écrits prononçables (i.e., un mot ou un pseudo-mot) ou imprononçables (i.e., une séquence de consonnes ou de symboles). Ils devaient ensuite choisir parmi deux réponses, quel symbole ou quelle lettre était présent dans le stimulus qu'ils venaient d'observer. Les normo-lecteurs présentaient des modulations de la composante N320 selon que des pseudo-mots ou des séquences de consonnes leur étaient présentés. À l'inverse, cette modulation n'était pas présente chez les participants dyslexiques.

Bien qu'elle n'ait pas été observée systématiquement (Araújo, Bramão, Faísca, Petersson, & Reis, 2012), cette absence de modulation témoignerait chez la personne dyslexique d'une difficulté à extraire des propriétés phonologiques à partir de l'écrit.

2.3.3. Orientation attentionnelle vers les représentations phonologiques

Savill et Thierry (2012) se sont intéressés à l'engagement attentionnel vers les propriétés orthographiques et phonologiques des mots écrits. Ils ont pour cela eu recours à la mesure de l'onde P3a, une onde positive non spécifique apparaissant 300 ms après un stimulus déviant. Des adultes dyslexiques et normo-lecteurs ont réalisé une tâche de jugement sémantique avec des mots-cibles appartenant à la catégorie sémantique des animaux (ex. « bear »), des mots contrôles appartenant à d'autres catégories sémantiques (ex : « honey »). Parfois, ces mots étaient présentés sous forme de pseudo-homophones des mots-cibles (ex. « bair ») et contrôles (ex. « hunny »). Ces pseudo-homophones étaient donc phonologiquement identiques aux mots dont ils étaient issus, mais orthographiquement différents.

Les auteurs n'ont pas remarqué de différences entre les groupes sur l'onde P2, qui traduit l'accès aux représentations phonologiques. En revanche, des différences plus tardives ont été repérées entre les deux groupes. Ainsi, les pseudo-homophones des mots-cibles (ex. « bair ») génèrent chez les participants normo-lecteurs une onde P3a, absente chez les sujets dyslexiques. Cette onde traduirait une orientation automatique de l'attention vers les propriétés phonologiques des stimuli écrits. Son absence dans la dyslexie signifierait que l'attention ne s'orienterait pas vers les propriétés phonologiques des mots écrits.

3. Buts et hypothèses

L'objectif principal de l'étude est de déterminer si l'accès aux représentations phonologiques à partir de l'écrit est systématiquement altéré chez l'adulte dyslexique. Nous répondrons à cette question en comparant des effets d'amorçage phonémique vs. syllabique, chez des adultes normo-lecteurs, et chez des adultes dyslexiques. À la différence de la plupart des travaux en électrophysiologie, notre étude n'utilise pas une tâche de décision lexicale, mais une tâche de lecture

à haute voix, qui s'avère plus proche des situations de vie quotidienne. La lecture à haute voix requiert de réaliser un choix explicite entre une multitude de formes phonologiques. Mahé, Pont, Zesiger, et Laganaro (2018) ont montré qu'elle permettait de mieux mettre en évidence des différences dans les étapes de traitement phonologique des mots écrits entre des participants dyslexiques et non dyslexiques. D'après ces mêmes auteurs, la tâche de décision lexicale, elle, serait plus appropriée pour mettre en avant des différences dans les étapes orthographiques. En outre, la méta-analyse de Zoccolotti et al. (2018) a souligné l'intérêt de recourir à ce type de tâche et de ne pas se limiter à la tâche de décision lexicale dans l'étude de la dyslexie.

Plus particulièrement, nous cherchons à déterminer si l'accès à certaines représentations phonologiques, telles que les syllabes, est préservé chez les sujets dyslexiques. En effet, comme nous l'avons vu précédemment, bien peu d'études se sont intéressées à l'accès aux représentations syllabiques chez le sujet dyslexique (Doignon et al., 2013), alors qu'un effet d'amorçage syllabique facilitateur a été rapporté de façon très précoce, dès 100 ms chez des lecteurs experts (Ashby, 2010). En comparaison, d'autres études utilisant une tâche de lecture à haute voix (Timmer & Schiller, 2012 ; Timmer et al., 2014) ont observé un effet facilitateur dû à l'amorçage du premier phonème à partir de 125 ms, au plus tôt, parfois jusqu'à 250 ms. Jusqu'à présent, aucune étude n'a cherché à comparer l'accès syllabique à l'accès phonémique chez la personne dyslexique au sein d'un même protocole.

Nos hypothèses ont été traitées par deux expériences successives mais distinctes, appelées E1 et E2. Le but de l'expérience E1 était de comparer un amorçage du premier phonème (ex. **c**epaude - **SILENCE**) à un amorçage de la première syllabe (ex. **cy**paude - **SILENCE**), et à un amorçage contrôle (ex. mupaude - **SILENCE**). Toutefois, cette seule expérience s'avérait insuffisante. En effet, les différences observées dans E1 auraient pu être imputées au nombre de phonèmes amorcés (ex. amorçage d'un seul phonème dans « **c**epaude - **SILENCE** », amorçage de deux phonèmes dans « **cy**paude - **SILENCE** ») et non à la syllabe en tant qu'unité propre. Une deuxième expérience, E2, a alors été créée. Elle cherchait à comparer, d'une part, les effets d'un amorçage syllabique incongruent, malgré un partage des deux premiers phonèmes entre l'amorce et la cible (ex. **cy**rpune - **SILENCE**), et d'autre part, les effets d'un amorçage syllabique congruent, avec partage des deux premiers phonèmes entre l'amorce et la cible (ex. **cy**roune - **SILENCE**).

Méthode

1. Participants

Nous avons recruté 25 participants adultes : 9 sujets dyslexiques (notés Dys) et 16 sujets normo-lecteurs (notés TousNL). Le recrutement a principalement eu lieu sur les campus de l'Université de Lille, par le biais d'affiches. Nous avons aussi pris contact avec des associations de parents d'enfants dyslexiques et avons distribué des affiches à l'occasion de la journée nationale des DYS. L'expérience, d'une durée d'environ deux heures trente minutes, s'est déroulée dans la salle EEG du laboratoire SCALab. La participation était rémunérée quinze euros. Le protocole de l'étude a été approuvé par le comité d'éthique de l'Université de Lille, et les participants ont signifié leur consentement par écrit. Une déclaration à la Commission Nationale de l'Informatique et des Libertés (CNIL) a été effectuée.

Tous les participants étaient droitiers, titulaires d'un baccalauréat au minimum, et avaient pour langue maternelle le français. Aucun ne présentait de trouble neurologique, de trouble

d'attention avec ou sans hyperactivité, ou de trouble sensoriel - trouble corrigé de la vision excepté. Deux participants (un dans le groupe Dys, un dans le groupe TousNL) ont rapporté un bégaiement. Ce bégaiement n'étant pas apparent lors de l'entretien et la passation des épreuves, ces deux personnes ont été incluses dans l'étude. Les participants normo-lecteurs n'avaient aucun antécédent connu de trouble d'apprentissage. Une forte proportion d'entre eux (75 %) étaient étudiants en orthophonie. Des questions extraites de l'Adult Reading History Questionnaire (Lefly & Pennington, 2000) portant sur les difficultés de langage écrit ont été proposées aux participants dyslexiques. Tous les sujets dyslexiques avaient bénéficié d'un diagnostic de dyslexie-dysorthographe durant l'enfance ou l'adolescence, et un seul n'avait jamais eu de suivi orthophonique. Deux participants dyslexiques étaient également diagnostiqués dysgraphiques, et l'un d'eux rapportait des difficultés praxiques, en l'absence de diagnostic officiel.

Afin de pouvoir comparer les performances entre nos deux groupes, nous avons sélectionné neuf participants normo-lecteurs (NL) parmi le groupe global de sujets normo-lecteurs (TousNL), et les avons appariés aux neuf participants dyslexiques (Dys). Les caractéristiques de chacun des groupes sont détaillées dans le Tableau 1. Des tests de Student ont été réalisés pour appairer les participants du groupe NL et les participants du groupe Dys selon l'âge, le niveau d'études post-bac, et le niveau d'éducation de leurs parents. Ce dernier a été calculé à l'aide de l'index Hollingshead (Ritsher, Warner, Johnson, & Dohrenwend, 2001). Nous n'avons pas pu appairer les deux groupes en fonction du sexe, en raison de l'âge plus avancé des hommes dans le groupe TousNL. Nous avons choisi de privilégier l'appariement selon l'âge plutôt que selon le sexe. Avant l'expérience, les capacités de lecture, d'orthographe, de métaphonologie, de dénomination et d'intelligence non verbale ont été évaluées chez tous les participants.

L'intelligence non-verbale, mesurée à l'aide de la version courte des matrices de Raven (Raven, Raven, & Court, 1998), a été jugée équivalente entre les deux groupes appariés.

Le test de l'Alouette (Lefavrais, 1965 ; validé auprès de jeunes adultes par Cavalli et al., 2018) a été administré à tous les participants afin d'évaluer l'automatisation des processus de reconnaissance de mots écrits : les indices d'efficacité CTL des deux groupes appariés différaient significativement ($p < .001$), ainsi que leurs scores bruts en temps, et en nombre d'erreurs ($p < .001$). Les performances des participants dyslexiques étaient en outre éloignées d'au moins deux écarts-types par rapport à celles des sujets normo-lecteurs.

Les taux de réussite au test Lextale (Lemhöfer & Boersma, 2012 ; adapté par Brysbaert, 2013), consistant en une tâche de jugement orthographique, différaient également significativement entre les deux groupes ($p < .001$).

Les aptitudes à manipuler les unités phonémiques ont été évaluées à l'aide de l'épreuve de délétion phonémique de la batterie ECLA 16+ (Gola-Asmussen, Lequette, Pouget, Rouyer, & Zorman, 2011). La différence observée entre les deux groupes appariés était significative en temps, ($p < .001$), mais pas en score ($p > .1$).

Des épreuves de dénomination rapide d'images et de lettres, adaptées de la Phonological Assessment Battery (Frederickson, Frith, & Reason, 1997), ont été proposées aux participants. Le délai de réponse des participants dyslexiques était significativement plus long que celui des participants normo-lecteurs, pour les images ($p < .001$) comme pour les lettres ($p < .001$).

La dysorthographe étant systématiquement associée à la dyslexie, il nous a paru pertinent de juger des habiletés orthographiques de nos participants, à l'aide de la dictée de mots de l'ECLA 16+ (Gola et al., 2011). Les performances des participants dyslexiques différaient significativement de celles des normo-lecteurs appariés aux trois listes de mots (réguliers, irréguliers et pseudo-mots), en temps comme en précision.

Tableau 1. Caractéristiques des groupes.

	Normo-lecteurs appariés (NL)	Dyslexiques (Dys)
Sexe (nb femmes : nb hommes)	9:0	6:3
Âge moyen en années <i>ns</i>	20,89	20,89
Nombre moyen d'années post-bac validées <i>ns</i>	1,44	1,66
Score moyen d'éducation de la mère <i>ns</i>	13,33	10
Score moyen d'éducation du père <i>ns</i>	10	12,5
Score moyen aux matrices de Raven (/60) <i>ns</i>	57,77	57,11
Alouette		
Temps de lecture moyen(sec)***	93,22	139,22
Nombre moyen d'erreurs***	4,11	12,89
Indice moyen d'efficacité CTL*** (précision*180) / temps de lecture	511,59	326,19
Lextale, taux de réussite moyen (%)***	87,5	60,11
ECLA 16+, Métaphonologie		
Score délétion phonème initial (/10) <i>ns</i>	9	7,56
Temps délétion phonème initial (sec)***	25,77	38,25
ECLA 16+, dictée		
Mots réguliers, score (/10)**	9	7,11
Mots réguliers, temps (sec)**	38,67	51,44
Mots irréguliers, score (/10)***	8,78	3,44
Mots irréguliers, temps (sec)**	36,22	52,11
Pseudo-mots, score (/10)**	9,44	7
Pseudo-mots, temps (sec)**	45,44	56,67
Dénomination rapide		
Images (msec)***	604,94	730,65
Lettres (msec)***	423,69	539,16
Âge moyen de diagnostic		9,77

*Notes. ns = non significatif, ** = $p < .01$, *** = $p < .001$*

2. Stimuli et procédure

2.1 Matériel

2.1.1. Sélection des mots-cibles

La même base de mots-cibles a été utilisée pour E1 et pour E2. Ainsi, au total, 156 mots bisyllabiques ont été sélectionnés à l'aide de la base de données Lexique3 (New, Pallier, Ferrand, & Matos, 2001). Ces 156 mots n'ont pas été répartis de la même façon dans E1 et dans E2.

Pour E1, les 156 mots ont été répartis en trois listes (A, B, C) de 52 mots chacune (voir Annexe 1). Des tests de Student ont été réalisés pour comparer les listes deux à deux sur les indices suivants : fréquence lexicale orale et écrite, nombre de phonèmes, nombre de lettres, voisinage

orthographique, voisinage phonologique, fréquence des lettres isolées et fréquence des bigrammes. Les différences observées à ces critères entre les listes A, B, C ont été jugées acceptables au regard de $p > .10$. Les moyennes des indices et les résultats des tests de Student pour les mots-cibles de E1 sont consultables dans le Tableau 2. Nous avons veillé à ce que les phonèmes et syllabes initiales des mots-cibles soient représentés de façon égale au sein de chacune des listes (voir le détail du matériel expérimental en Annexe 1).

Pour E2, nous avons repris ces 156 mots bisyllabiques, et les avons répartis cette fois en quatre listes (D, E, F, G) de 39 mots chacune. Afin d'avoir suffisamment d'essais analysables en EEG, nous avons ajouté 6 nouveaux mots bisyllabiques à chacune de ces 4 listes, portant le nombre de mots par liste à 45 (voir Annexe 2). Nous avons veillé à respecter les mêmes critères d'appariement que pour E1. Les moyennes des indices et les résultats des tests de Student pour les mots-cibles de E2 sont consultables dans le Tableau 3.

Tableau 2. Pour E1, indices moyens pour les mots-cibles des listes A, B, C et tests de Student correspondants.

	Indices moyens			Tests de Student (valeur de p)		
	A	B	C	A-B	A-C	B-C
Fréquence orale	13.39	13.33	17.01	.99	.62	.62
Fréquence écrite	17.44	10.76	17.04	.35	.97	.36
Nombre de lettres	6.25	6.27	6.40	.92	.38	.44
Nombre de phonèmes	4.73	4.77	4.92	.77	.15	.22
Nombre de voisins orthographiques	1.79	1.63	1.96	.69	.69	.38
Nombre de voisins phonologiques	5.81	6.33	6.08	.65	.83	.84
Fréquence des lettres	80546	82599	80203	.44	.89	.33
Fréquence des bigrammes	9763	9948	9850	.76	.89	.87

Tableau 3. Pour E2, indices moyens pour les mots-cibles des listes D, E, F, G et tests de Student correspondants.

	Indices moyens				Tests de Student (valeur de <i>p</i>)					
	D	E	F	G	D-E	D-F	D-G	E-F	E-G	F-G
Fréquence orale	9.45	15.34	20.57	10.71	.34	.13	.82	.54	.51	.22
Fréquence écrite	15.61	12.52	19.91	12.29	.78	.65	.87	.40	.89	.48
Nombre de lettres	6.23	6.36	6.21	6.44	.55	.89	.36	.43	.73	.26
Nombre de phonèmes	4.67	4.82	4.82	4.92	.27	.29	.11	1.00	.52	.53
Nombre de voisins orthographiques	1.62	1.62	2.23	1.72	.87	.25	.41	.18	.30	.68
Nombre de voisins phonologiques	5.64	5.77	7.18	5.69	.82	.31	.61	.41	.77	.62
Fréquence des lettres	80171	82244	80342	81708	.51	.75	.62	.70	.85	.84
Fréquence des bigrammes	9725	10239	9758	9692	.43	.85	.88	.54	.44	.94

2.1.2. Création des amorces

Plusieurs amorces ont été créées pour chaque mot-cible. Ces amorces prenaient la forme de pseudo-mots, qui allaient être présentés au participant avant le mot-cible, de façon à influencer potentiellement la lecture de ce dernier. Ainsi, pour E1, nous avons créé pour chaque mot-cible trois amorces, réparties selon trois conditions (les propriétés phonologiques communes entre l’amorce et la cible sont indiquées en rouge). Dans la première condition (Ph+), l’amorce et la cible partageaient un même phonème initial (ex. **ce**paude - **S**ILENCE). Dans la deuxième condition (S+), l’amorce et la cible partageaient une même syllabe initiale, constituée de deux phonèmes (ex. **cy**paude - **S**ILENCE). Enfin, dans la troisième condition (Contrôle), l’amorce et la cible n’avaient en commun ni le premier phonème, ni la première syllabe (ex. mupaude – SILENCE). Certains auteurs ont montré que l’effet d’amorçage masqué en lecture à haute voix était dépendant de variables orthographiques et phonologiques (Timmer & Schiller, 2012). Nous avons donc essayé de limiter au maximum le recouvrement orthographique entre l’amorce et la cible. De cette manière, les éventuels effets observés ne pourraient être imputés à des processus d’accès aux représentations orthographiques, mais bien phonologiques. C’est pourquoi dans l’exemple ci-dessus, le « si » de « silence » est amorcé par le « cy » de « cypaude ». Nous avons veillé à apparier nos trois conditions d’amorçage (Ph+, S+ et Contrôle). Pour ce faire, nous avons calculé à l’aide des bases de données Lexique3 (New et al., 2001) et Clearpond (Marian, Bartolotti, Chabal, & Shook, 2012) des indices de fréquence, et de voisinage avec des mots existants. Nous avons ensuite réalisé des tests de Student pour comparer les conditions d’amorçage deux à deux selon ces indices. Les moyennes des indices et les résultats des tests de Student concernant les amorces de E1 sont consultables dans le Tableau 4. L’ensemble des amorces ainsi créées pour E1 est disponible en Annexe 1.

Pour E2, nous avons été contraint de créer quatre conditions d’amorçage. Dans une première condition (Ph+ S-), l’amorce et la cible partageaient les deux mêmes premiers phonèmes, mais la structure de leur première syllabe était différente : CVC pour l’amorce, et CV pour la cible (ex. **cy**rpune - **SILENCE**). Dans une autre condition (Ph+ S+), l’amorce et la cible partageaient les deux mêmes premiers phonèmes, et la structure de la première syllabe était identique, de type CV (ex. **cy**roune - **SILENCE**). Comme les structures CVC sont plus rares que les structures CV, nous ne pouvions apparier ces deux conditions entre elles sur le critère de fréquence de la première syllabe. Nous avons donc été contraint de créer deux conditions d’amorçage contrôle : une pour Ph+ S-, nommée C1 (ex. murpune - **SILENCE**) et une pour Ph+ S+, nommée C2 (ex. muroune - **SILENCE**). Nous avons calculé les mêmes indices que pour E1, à l’aide des bases de données Lexique3 (New et al., 2001) et Clearpond (Marian et al., 2012). De cette façon, nous avons ensuite réalisé des tests de Student pour apparier Ph+ S+ et Ph+ S- à leurs conditions contrôles respectives, selon ces indices. Les moyennes des indices et les résultats des tests de Student concernant les amorces de E2 sont consultables dans le Tableau 5. L’ensemble des amorces ainsi créées pour E2 est disponible en Annexe 2.

Tableau 4 . Pour E1, indices moyens pour les amorces des conditions Ph+, S+ et Contrôle, et tests de Student correspondants.

	Indices moyens			Tests de Student (valeur de <i>p</i>)		
	Ph+	S+	Contrôle	Ph+ S+	Ph+ Contrôle	S+ Contrôle
Voisinage orthographique	.42	.35	.51	.47	.41	.16
Voisinage phonologique	3.74	3.92	3.64	.78	.88	.65
Fréquence lettres	73348	70979	72971	.11	.79	.17
Fréquence bigrammes	8160	7969	8304	.56	.65	.31
Fréquence première syllabe	642.21	748	609.15	.10	.70	.11

Tableau 5. Pour E2, indices moyens pour les amorces des conditions Ph+ S-, Ph+ S+, leurs conditions contrôles respectives, et tests de Student correspondants.

	Indices moyens				Tests de Student (valeur de p)	
	Ph+ S-	C1	Ph+ S+	C2	Ph+ S- C1	Ph+ S+ C2
Voisinage orthographique	.11	.18	.18	.27	.10	.09
Voisinage phonologique	1.26	1.04	4.49	3.66	.25	.11
Fréquence lettres	68979	69886	70006	71928	.51	.19
Fréquence bigrammes	5751	6174	7754	8233	.10	.13
Fréquence première syllabe	104.11	84.76	84.89	703.46	.13	.16

2.1.3. Constitution des listes de passation

Les mêmes mots-cibles étant utilisés pour E1 et pour E2, nous souhaitons, autant que possible, limiter leur répétition au sein d'une même expérience pour un même participant. Nous avons créé six listes de passation différentes pour E1 et pour E2. Ainsi, dans E1, un même participant voyait chacun des 52 mots des listes A, B, C une unique fois, précédée d'une amorce d'une condition en fonction de la liste de mots-cibles (A, B, ou C) et de la liste de passation (voir Tableau 6).

Par exemple, les participants à qui la liste de passation α a été proposée (liste E1- α) ont vu tous les mots-cibles de la liste A précédés d'une amorce Ph+, tous les mots-cibles de la liste B précédés d'une amorce S+, et tous les mots-cibles de la liste C précédés d'une amorce Contrôle.

En revanche, les participants à qui la liste de passation γ a été proposée (liste E1- γ) ont vu tous les mots-cibles de la liste A précédés d'une amorce S+, tous les mots-cibles de la liste B précédés d'une amorce Ph+, et tous les mots-cibles de la liste C précédés d'une amorce Contrôle.

Tableau 6. Pour E1, répartition des listes de mots-cibles dans les listes de passation en fonction des trois conditions d'amorçage.

	Ph+	S+	Contrôle
E1- α	A	B	C
E1- β	A	C	B
E1- γ	B	A	C
E1- δ	B	C	A
E1- ϵ	C	B	A
E1- ζ	C	A	B

Dans E2, la même procédure a été utilisée que dans E1 (voir Tableau 7). Toutefois, les conditions d'amorçage étaient plus nombreuses (Ph+ S-, C1, Ph+ S+, C2). En électrophysiologie, un minimum d'environ 40 essais moyennés par condition est nécessaire pour avoir des données exploitables. Or, nous n'avions que 45 mots-cibles par condition dans E2, et des essais risquaient d'être supprimés à cause d'un signal de mauvaise qualité ou en cas de mauvaise réponse. Notre

matériel pour E2 était donc assez peu satisfaisant quantitativement, mais nous ne parvenions pas à trouver d'autres mots qui correspondaient à nos critères. Pour chaque condition d'amorçage, nous avons donc décidé de répéter cinq mots-cibles, qu'un participant aurait déjà vu précédés d'une autre amorce. De cette manière, si vingt mots-cibles étaient présentés deux fois dans E2 pour un même participant, les amorces, elles, n'étaient jamais répétées.

Par exemple, un participant à qui a été proposée la liste E2- α a vu 50 mots-cibles précédés d'une amorce Ph+ S+ : les 45 mots-cibles de la liste D, ainsi que 5 mots-cibles sélectionnés aléatoirement dans la liste E. De façon similaire, il a vu 50 mots-cibles précédés d'une amorce Ph+ S+ : les 45 mots-cibles de la liste F, ainsi que 5 mots-cibles sélectionnés aléatoirement dans la liste G.

Ces modifications ont porté le nombre d'items traités à 50 par condition d'amorçage, donc à 200 pour l'ensemble de E2.

Tableau 7. Pour E2, répartition des listes de mots-cibles dans les listes de passation en fonction des quatre conditions d'amorçage.

	Ph+ S-	C1	Ph+ S+	C2
E2- α	45 D et 5 E	45 E et 5 F	45 F et 5 G	45 G et 5 D
E2- β	45 E et 5 F	45 D et 5 E	45 G et 5 D	45 F et 5 G
E2- γ	45 F et 5 G	45 G et 5 D	45 E et 5 F	45 D et 5 E
E2- δ	45 G et 5 D	45 F et 5 F	45 D et 5 E	45 E et 5 F
E2- ϵ	45 D et 5 E	45 F et 5 G	45 G et 5 D	45 E et 5 F
E2- ζ	45 G et 5 D	45 E et 5 F	45 F et 5 G	45 D et 5 E

Par ailleurs, de nombreux mots-cibles commençant par une même syllabe ou une même graphie contextuelle (voir Annexes 1 et 2), nous avons ajouté des items fillers à chacune des listes de passation, afin d'éviter que les participants ne prennent conscience des similarités phonologiques et orthographiques partagées par nos mots-cibles. Ces items, constitués d'un mot et d'une amorce non reliées, commençaient le plus souvent par un son vocalique (ex. ogliche - ADRESSE), à la différence des items-cibles que nous allions traiter. Ces items fillers s'élevaient à 80 pour chaque liste de E1, et à 75 pour chaque liste de E2. Ainsi, une passation de E1 comportait 236 items : 156 items-cibles (39 par condition d'amorçage) et 80 items fillers. Une passation de E2 comportait 275 items : 200 items-cibles (50 par condition d'amorçage, dont 5 répétitions), et 75 items fillers. Pour les deux expériences, au sein d'une liste de passation, les items étaient répartis selon un ordre aléatoire.

2.2. Procédure expérimentale

Durant les expériences E1 et E2, les participants étaient assis dans une salle EEG du laboratoire SCALab et portaient un bonnet élastique à 64 électrodes. L'expérimentateur, installé dans une salle voisine, surveillait en temps réel la qualité du signal électrophysiologique sur le logiciel ActiView. Les données ont été échantillonnées à une fréquence de 512 Hz (bande passante 0.01-100 Hz).

Les expériences E1 et E2 consistaient toutes deux à réaliser une tâche de lecture à haute voix de mots, en noir sur écran d'ordinateur de fond blanc. Après la pose du bonnet élastique et des électrodes, les consignes étaient présentées à l'écrit et à l'oral. La présence des amorces n'était pas mentionnée. Une série de cinq items d'entraînement était proposée. Chaque essai commençait par la fixation d'une croix centrale noire, pendant 400 ms. La croix de fixation était ensuite remplacée par un masque composé de 7 hashtags (#) pendant 500 ms. Ce masque était suivi de la présentation centrale d'une amorce, sous forme d'un pseudo-mot, en bas de casse, pendant 50 ms. L'amorce était suivie d'un nouveau masque de 7 hashtags (#) pendant 20 ms. Puis, le mot-cible à lire à haute voix apparaissait au centre de l'écran en capitales, durant 1000 ms, suivi d'un intervalle inter-essais de 1400 ms avant présentation de la prochaine croix de fixation.

Cette procédure se répétait autant de fois qu'il y avait de mots à lire soit 236 fois pour E1, et 275 fois pour E2. Chaque essai était enregistré sur un fichier son grâce au logiciel e-prime, permettant ensuite de calculer les latences de réponses et les taux de bonnes réponses. Les deux expériences s'enchaînaient après une courte pause. Les mêmes consignes étaient rappelées au participant, à l'oral et à l'écrit, et une série d'entraînement de cinq items était proposée à nouveau. Trois pauses ont été proposées à intervalles réguliers au cours de chacune des expériences.

2.3. Analyse des données

2.3.1. Mesures comportementales

L'analyse du signal de parole a été réalisée pour chaque essai, chez chaque participant, à l'aide du logiciel CheckVocal (Protopapas, 2007). Cette analyse a permis de calculer, en fonction de chaque condition d'amorçage, une latence moyenne du début de l'articulation, ainsi qu'un taux moyen de réponses correctes. La cotation des latences d'articulation a été réalisée par deux évaluateurs différents. La fidélité inter-juges, mesurée sur l'ensemble des essais de tous les participants à l'aide du coefficient de corrélation de Pearson, a été jugée excellente ($r = .99$).

2.3.2. Mesures électrophysiologiques

Les essais où les mots n'étaient pas correctement lus ont été préalablement exclus de l'analyse électrophysiologique. Ceux où la latence d'articulation variait de plus de deux écarts-types par rapport à la latence moyenne observée pour chaque sujet ont aussi été exclus. Ainsi, le nombre moyen d'essais écartés pour E1 a été mesuré pour le groupe Dys ($M = 7.44$) et pour le groupe NL ($M = 8.22$). Le nombre moyen d'essais écartés pour E2 a été mesuré pour le groupe Dys ($M = 8.78$) et pour le groupe NL ($M = 9.00$).

L'analyse électrophysiologique a été réalisée à l'aide du logiciel Cartool (Brunet, Murray, & Michel, 2011). Les essais considérés ont été sélectionnés manuellement, selon un intervalle temporel qui débutait 200 ms avant apparition du mot-cible, jusqu'à 500 ms après. Un filtre passe bas à 30 Hz et un filtre notch à 50 Hz ont été appliqués, ainsi qu'une ligne de base de 200 à 100 ms avant apparition du stimulus. De cette manière, la ligne de base ne comprenait pas les potentielles modifications de signal induites par la présentation des masques et de l'amorce. Les essais comprenant des artefacts liés à des clignements oculaires ou une activité motrice ont été écartés. Ainsi, pour E1, nous avons pu garder pour les analyses électrophysiologiques la plupart des essais par condition chez le groupe Dys ($M = 42.19$, soit 81.13 %), comme chez le groupe NL ($M = 43.00$, soit 82.69 %). Pour E2, nous avons également pu garder la plupart des essais par condition chez le groupe Dys ($M = 41.53$, soit 79.86 %) comme chez le groupe NL ($M = 43.75$, soit 84.13 %).

Nous avons parfois observé chez un participant donné, une ou plusieurs électrodes dont les amplitudes des signaux électriques paraissaient fortement incohérentes avec les amplitudes observées sur les électrodes voisines. Nous avons alors procédé à l'interpolation manuelle de ces électrodes. L'interpolation consiste à calculer l'amplitude du signal d'une électrode donnée à partir de la moyenne des amplitudes des signaux des électrodes voisines. Ainsi, pour E1, le nombre d'électrodes interpolées était faible chez le groupe Dys ($M = 0.89$) comme chez le groupe NL ($M = 0.78$). Pour E2, le nombre d'électrodes interpolées était également faible, chez le groupe Dys ($M = 0.67$) comme chez le groupe NL ($M = 0.89$).

Afin de savoir quelles électrodes et quelles composantes étaient susceptibles de nous intéresser lors des analyses statistiques d'amplitude, nous avons calculé des grandes moyennes des tracés de l'ensemble des participants dyslexiques (Dys) et normo-lecteurs (NL). Après analyse visuelle des tracés de ces grandes moyennes, 22 électrodes au total ont été sélectionnées : 5 frontales gauches (AF3, F3, F1, FC3, FC1), 5 frontales droites (AF4, F4, F2, FC4, FC2), 1 frontale centrale (Fz), 5 postérieures gauches (P5, P7, P9, PO7, O1), 5 postérieures droites (P6, P8, P10, PO8, O2) et une postérieure centrale (Oz). La Figure 2 permet de visualiser la répartition de ces électrodes sur le scalp.

Trois composantes ont été jugées particulièrement dignes d'intérêt. Le premier intervalle considéré (50-125 ms après apparition du mot-cible) semblait présenter un pic important, de voltage positif dans les sites frontaux, négatif dans les sites postérieurs. Sur le deuxième intervalle (185-250 ms après apparition du mot-cible) se dessinait un patron similaire au premier intervalle. Enfin, le troisième intervalle (270-400 ms après apparition du mot-cible) présentait un pic au voltage négatif dans les sites frontaux, positif dans les sites postérieurs.

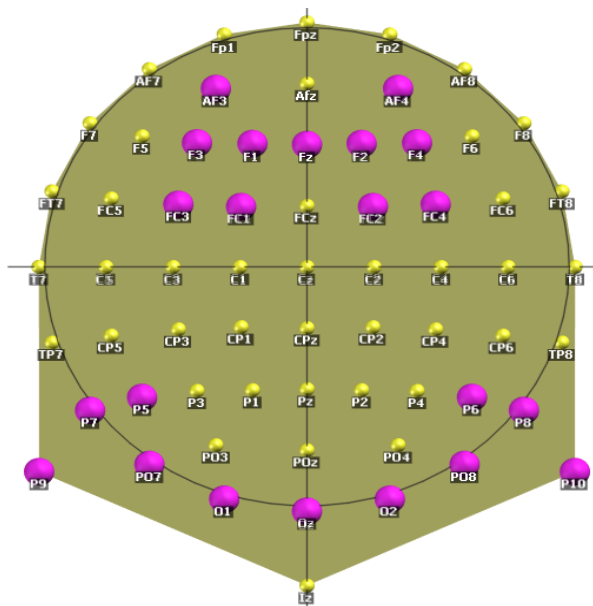


Figure 2. Répartition des électrodes sélectionnées (en violet) pour l'analyse électrophysiologique.

2.4. Statistiques

2.4.1. Mesures comportementales

Pour comparer les performances du groupe Dys et du groupe NL, des analyses de variance (ANOVAs) ont été réalisées avec le logiciel Statistica. Elles portaient sur les temps de réaction moyens et les taux moyens de bonnes réponses, en utilisant le facteur intersujets Groupe, et le facteur intrasujet Type d'amorce. Cette même procédure a été utilisée pour E1 et pour E2.

2.4.2. Mesures électrophysiologiques

Des analyses de variance (ANOVAs) ont été réalisées avec le logiciel Statistica, en utilisant le facteur intersujets Groupe (Dys et NL), et les facteurs intrasujet Type d'amorce (Ph+, S+, Contrôle pour E1 ; Ph+S-, Contrôle 1, Ph+S+, Contrôle 2 pour E2), Site (frontal, postérieur, central), et Hémisphère (gauche, droit, centre). Par ailleurs, en cas d'interaction significative entre plusieurs facteurs, nous avons cherché à identifier quels facteurs contribuaient le plus à l'interaction observée. Ainsi, en cas d'interaction entre deux facteurs, nous avons effectué des analyses post-hoc de Bonferroni. En cas d'interaction entre trois facteurs, nous avons effectué de nouvelles ANOVAs. Cette même procédure a été utilisée pour chaque intervalle temporel (50-125 ms ; 185-250 ms ; 270-400 ms), pour E1 et pour E2.

Résultats

1. Données comportementales

1.1. Données concernant E1

Les données comportementales de E1 sont présentées dans le Tableau 8. Concernant les temps de réaction moyens, les ANOVAs ont montré les résultats suivants. D'abord, un effet significatif du Groupe a été mis en évidence ($F(1,16) = 59.62, p < .01$), témoignant de temps de réaction plus longs pour le groupe Dys que pour le groupe NL. Aucun effet du Type d'amorce n'était observable ($F < 1$), ni d'interaction entre les facteurs Groupe et Type d'amorce ($F < 1$).

Concernant les taux moyens de réponses correctes, les ANOVAs ont montré les résultats suivants. Un effet significatif du groupe a été mis en évidence ($F(1,16) = 10.24, p < .01$), témoignant d'une meilleure précision pour le groupe NL que pour le groupe Dys. Aucun effet du Type d'amorce n'était observable ($F < 1$). Toutefois, bien qu'à la limite du seuil de significativité, une interaction tendancielle entre les facteurs Groupe et Type d'amorce ($F(1,32) = 3.17, p < .06$) a été mise en évidence. Des comparaisons post-hoc de Bonferroni ont montré que la seule différence significative entre les deux groupes concerne les mots précédés d'une amorce syllabique ($p < .01$). Plus précisément, pour le groupe NL, les taux de bonnes réponses sont légèrement meilleurs dans la condition S+ que dans la condition Contrôle. Pour le groupe Dys, en revanche, les taux de bonnes réponses sont légèrement meilleurs dans la condition Contrôle que dans la condition S+.

Tableau 8 : À E1, temps de réaction moyens, et taux moyens de bonnes réponses (et écarts-types correspondants), par groupe et par condition.

Groupe		Type d'amorce		
		Ph+	S+	Contrôle
Temps de réaction (ms)	Dys	801.3 (82.49)	805.8 (77.13)	792.3 (71.86)
	NL	547.9 (65.36)	542.0 (68.05)	545.8 (63.95)
Taux de bonnes réponses (%)	Dys	87.4 (6.24)	84.6 (7.20)	88.0 (4.38)
	NL	89.7 (4.08)	94.2 (1.92)	90.4 (5.44)

1.2. Données concernant E2

Les données comportementales de E2 sont présentées dans le Tableau 9. Les ANOVAs ont été réalisées sur les temps de réaction et sur les taux de réponses correctes, d'une part pour les conditions Ph+ S- (cyrpune - SILENCE) et C1 (murpune - SILENCE), et d'autre part, pour les conditions Ph+ S+ (cyrroune - SILENCE) et C2 (murroune - SILENCE).

Concernant les temps de réaction moyens, les ANOVAs ont montré les résultats suivants. Pour les analyses comparant les conditions Ph+ S- et C1, un effet du facteur Groupe a été observé ($F(1,16) = 51.79, p < .01$), témoignant de temps de réaction plus longs pour le groupe Dys que pour le groupe NL. Aucun effet du facteur Type d'amorce ($F < 1$), ni d'interaction entre les facteurs Groupe et Type d'amorce ($F(1,32) = 1.92, p = .18$) n'ont été mis en évidence. Pour les analyses comparant Ph+ S+ et C2, un effet du Groupe a été observé ($F(1,16) = 1278.52, p < .01$), témoignant là encore de temps de réaction plus longs pour le groupe Dys que pour le groupe NL. Aucun effet du facteur Type d'amorce ($F < 1$) ni d'interaction entre les facteurs Groupe et Type d'amorce ($F(1,32) = 1.71, p = .21$) n'ont été mis en évidence.

Concernant les taux moyens de réponses correctes, les ANOVAs ont montré les résultats suivants. Pour les analyses comparant les conditions Ph+ S- et C1, un effet du Groupe était à nouveau présent ($F(1,16) = 16.71, p < .01$), témoignant d'une meilleure précision pour le groupe NL que pour le groupe Dys. Aucun effet du facteur Type d'amorce ($F(1,16) = 1.84, p = .19$) ni d'interaction entre les facteurs Groupe et Type d'amorce ($F < 1$) n'ont été mis en évidence. Pour les analyses comparant les conditions Ph+ S+ et C2, aucun effet du facteur Groupe n'a été observé ($F(1,16) = 2.12, p = .16$). Ainsi, aucune différence entre les deux groupes n'a pu être mise en évidence quant à la précision de la lecture. Par ailleurs, un effet du facteur Type d'amorce était présent pour les deux groupes ($F(1,16) = 9.05, p < .01$). Cet effet indique que pour les deux groupes, la précision était meilleure en cas de présentation d'une amorce Ph+S+ qu'en cas de présentation d'une amorce C2. Cet effet d'amorçage syllabique étant commun aux deux groupes, aucune interaction entre les facteurs groupe et condition d'amorçage n'a pu être mise en évidence ($F < 1$).

Tableau 9 : À E2, temps de réaction moyens, et taux de bonnes réponses (et écarts-types correspondants), par groupe et par condition.

Groupe		Type d'amorce			
		Ph+ S-	C1	Ph+ S+	C2
Temps de réaction (ms)	Dys	759.5 (83.53)	752.0 (81.87)	760.3 (96.32)	757.5 (85.56)
	NL	515.5 (60.28)	517.9 (52.65)	514.5 (60.83)	520.2 (53.18)
Taux de bonnes réponses (%)	Dys	88.0 (3.46)	86.4 (5.90)	92.0 (3.32)	87.6 (7.33)
	NL	94.2 (2.54)	92.2 (4.06)	94.7 (3.32)	9.9 (5.84)

2. Données électrophysiologiques

Seules quelques représentations graphiques sont proposées ici (Figures 3 et 4 pour E1 ; Figures 5 et 6 pour E2). Sur chacune, les composantes étudiées sont indiquées par des flèches. Pour d'autres graphiques, voir Annexes 4 et 5.

2.1. Résultats électrophysiologiques de E1

2.1.1. Pour l'intervalle 50-125 ms

Des effets significatifs des facteurs Type d'amorce ($F(2,32) = 4.25, p = .02$) et Site ($F(1,16) = 101.21, p < .01$), ainsi qu'un effet tendanciel du facteur Hémisphère ($F(2,32) = 2.67, p = .08$) ont été observés isolément. Aucun effet du facteur Groupe ($F < 1$) n'a été mis en évidence. Plusieurs interactions se sont révélées statistiquement significatives : entre les facteurs Type d'amorce et Hémisphère ($F(4,64) = 2.69, p = .04$), entre les facteurs Site et Hémisphère ($F(2,32) = 4.02, p = .03$), et entre les facteurs Type d'amorce, Site, et Hémisphère ($F(4,64) = 4.71, p < .01$). Le facteur Groupe n'intervient dans aucune des interactions observées. Afin de mieux comprendre la triple interaction entre les facteurs Type d'amorce, Site et Hémisphère, des ANOVAs ont été effectuées séparément pour les sites frontaux et pour les sites postérieurs. Sur les sites frontaux, aucun effet du Type d'amorce n'a été mis en évidence ($F < 1$), ni interaction entre Type d'amorce et Hémisphère ($F(4,64) = 1.16, p > .30$). Sur les sites postérieurs en revanche, malgré l'absence d'effet du Type d'amorce ($F(2,32) = 1.97, p > .1$), un effet de l'Hémisphère était présent ($F(2,32) = 3.35, p = .05$), ainsi qu'une interaction entre Type d'amorce et Hémisphère ($F(4,64) = 3.92, p < .01$).

Une analyse post-hoc de Bonferroni a été menée sur les sites postérieurs, afin de comparer deux à deux les conditions d'amorçage en fonction du facteur Hémisphère. Elle a montré une différence d'amplitude entre la condition Ph+ (cepaude - SILENCE) et la condition Contrôle (mupaude - SILENCE) sur les sites postérieurs gauches ($p = .02$) et postérieurs centraux ($p = .01$), mais pas sur les sites postérieurs droits ($p > .90$). L'analyse post-hoc n'a montré aucune différence d'amplitude pour les conditions S+ (cypaude - SILENCE) et Contrôle (mupaude - SILENCE) sur les sites postérieurs droits ($p > .90$) ni postérieurs gauches ($p > .90$), mais une différence tendancielle sur les sites postérieurs centraux ($p = .06$). Enfin, l'analyse post-hoc a mis en évidence une différence d'amplitude entre les conditions Ph+ (cepaude - SILENCE) et S+ (cypaude - SILENCE) sur les sites postérieurs gauches ($p < .01$), mais pas postérieurs droits ($p > .90$) ni centraux ($p > .90$).

2.1.2. Pour l'intervalle 185-250 ms

Des effets significatifs des facteurs Type d'amorce ($F(2,32) = 4.17, p = .02$) et Site ($F(1,16) = 15.54, p < .01$) ont été observés isolément. Aucun effet du facteur Groupe ($F < 1$) ou du facteur Hémisphère ($F(2,32) = 1.37, p > .20$) n'a été mis en évidence. Une interaction entre les facteurs Type d'amorce, Site et Hémisphère s'est révélée significative ($F(4,64) = 2.62, p = .04$). De façon intéressante, le facteur Groupe n'intervient pas dans cette interaction. Afin de mieux comprendre la triple interaction entre les facteurs Type d'amorce, Site et Hémisphère, des ANOVAs ont été effectuées séparément pour les sites frontaux et pour les sites postérieurs. Sur les sites frontaux, aucun effet du Type d'amorce n'a pu être mis en évidence ($F < 1$), ni interaction entre Type d'amorce et Hémisphère ($F < 1$). Sur les sites postérieurs en revanche, malgré l'absence d'effet du Type d'amorce ($F(2,32) = 1.93, p > .10$) et de l'Hémisphère ($F(2,32) = 1.45, p > .20$), une interaction entre Type d'amorce et Hémisphère était présente ($F(4,64) = 3.57, p = .01$).

Une analyse post-hoc de Bonferroni a été menée sur les sites postérieurs, afin de comparer deux à deux les conditions d'amorçage en fonction du facteur Hémisphère. Elle a montré une différence d'amplitude entre la condition Ph+ (cepaude - SILENCE) et la condition Contrôle (mupaude - SILENCE) sur les sites postérieurs centraux ($p = .03$), mais pas sur les sites postérieurs droits ($p > .90$) ou gauches ($p > .90$). L'analyse a également montré une différence d'amplitude pour les conditions S+ (cypaude - SILENCE) et Contrôle (mupaude - SILENCE) sur les sites

postérieurs centraux ($p < .01$), mais pas sur les sites postérieurs droits ($p > .70$) ou gauches ($p > .90$). Enfin, l'analyse post-hoc n'a mis en évidence aucune différence d'amplitude entre les conditions Ph+ (cepaude – SILENCE) et S+ (cypaude – SILENCE) sur les sites postérieurs droits, gauches ou centraux ($p > .90$).

2.1.3. Pour l'intervalle 270-400 ms

Un effet significatif du facteur Hémisphère ($F(2,32) = 5.42, p < .01$) a été observé isolément. Aucun effet du facteur Groupe ($F(1,16) = 2.50, p > .10$), du facteur Type d'amorce ($F(2,32) = 1.55, p > .20$), ou du facteur Site ($F < 1$) n'a été mis en évidence. Une interaction entre les facteurs Site, Hémisphère et Groupe s'est révélée significative ($F(2,32) = 5.69, p < .01$). Comme le facteur Type d'amorce n'intervenait pas dans cette interaction, aucune analyse supplémentaire n'a été effectuée.

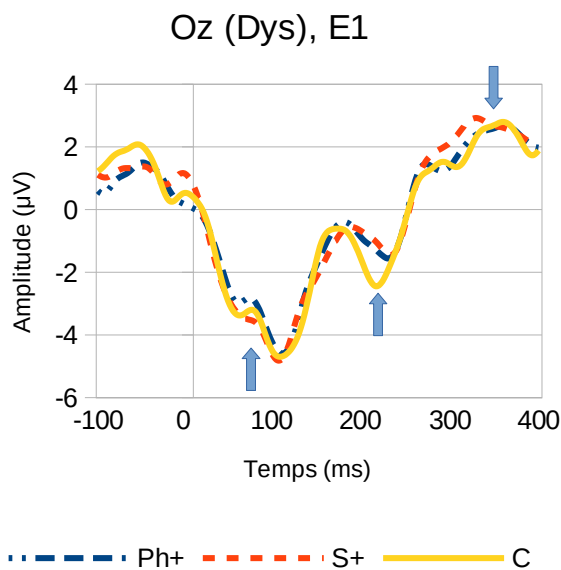


Figure 3. Amplitude moyenne du signal de l'électrode Oz en fonction du temps pour chaque condition, chez le groupe Dys, à E1.

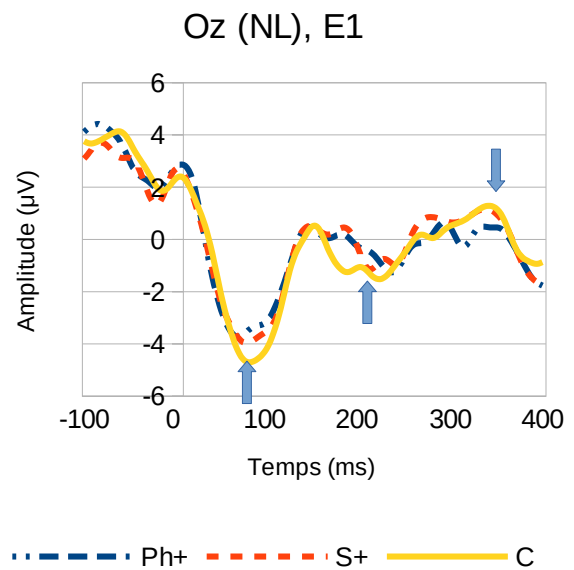


Figure 4. Amplitude moyenne du signal de l'électrode Oz en fonction du temps pour chaque condition, chez le groupe NL, à E1.

2.2. Résultats électrophysiologiques de E2

2.2.1. Pour l'intervalle 50-125 ms

Concernant les conditions Ph+ S- (cyrpune – SILENCE) et C1 (murpune – SILENCE), un effet significatif du facteur Site ($F(1,16) = 102.95, p < .01$) a été observé isolément. Aucun effet du facteur Groupe ($F < 1$), du facteur Type d'amorce ($F(1,16) = 1.78, p = .20$), ou du facteur Hémisphère ($F(2,32) = 1.89, p > .10$) n'a été mis en évidence. Une interaction entre les facteurs Site et Hémisphère ($F(2,32) = 5.68, p < .01$) s'est révélée significative.

Concernant les conditions Ph+ S+ (cyrpune – SILENCE) et C2 (murpune – SILENCE), un effet significatif du facteur Site ($F(1,16) = 93.34, p < .01$) a été observé isolément. Aucun effet des facteurs Groupe ($F < 1$), Type d'amorce ($F < 1$), ou Hémisphère ($F(2,32) = 1.69, p = .20$) n'a été mis en évidence. Une interaction entre les facteurs Site et Hémisphère ($F(2,32) = 4.77, p = .02$) s'est révélée significative.

2.2.2. Pour l'intervalle 185-250 ms

Concernant les conditions Ph+ S- (**cy**rpune – **SILENCE**) et C1 (murpune – SILENCE), un effet significatif du facteur Site ($F(1,16) = 25.46, p < .01$) a été observé isolément. Aucun effet des facteurs Groupe ($F < 1$), Type d'amorce ($F(1,16) = 2.14, p > .10$), ou Hémisphère ($F(2,32) = 2.01, p > .10$) n'a pu être mis en évidence. Aucune interaction n'a été observée.

Concernant les conditions Ph+ S+ (**cy**roune – **SILENCE**) et C2 (muroune – SILENCE), un effet significatif du facteur Site ($F(1,16) = 28.56, p < .01$), ainsi qu'un effet tendanciel du facteur Hémisphère ($F(2,32) = 2.70, p = .08$) ont été observés isolément. Aucun effet des facteurs Groupe ($F(1,16) = 1.66, p > .20$), ou Type d'amorce ($F < 1$) n'a pu être mis en évidence. Une interaction entre les facteurs Groupe et Type d'amorce ($F(1,16) = 4.60, p = .05$) s'est avérée significative. Cette interaction révèle des effets opposés de l'amorce Ph+ S+ entre les deux groupes. Pour le groupe Dys, la négativité était plus importante dans la condition Ph+ S+ que dans la condition C2. Pour le groupe NL, le phénomène inverse était observé (voir Figures 5 et 6).

2.2.3. Pour l'intervalle 270-400 ms

Concernant les conditions Ph+ S- (**cy**rpune – **SILENCE**) et C1 (murpune – SILENCE), un effet significatif du facteur Hémisphère ($F(2,32) = 6.32, p < .01$) a été observé isolément. Aucun effet des facteurs Groupe ($F(1,16) = 1.90, p > .10$), Type d'amorce ($F < 1$), ou Site ($F < 1$) n'a été mis en évidence. Plusieurs interactions se sont révélées statistiquement significatives : entre les facteurs Site et Groupe ($F(1,16) = 5.85, p = .03$), et entre les facteurs Site et Hémisphère ($F(2,32) = 3.43, p = .04$). Concernant les conditions Ph+ S+ (**cy**roune – **SILENCE**) et C2 (muroune – SILENCE), des effets significatifs des facteurs Groupe ($F(1,16) = 5.97, p = .03$) et Hémisphère ($F(2,32) = 7.07, p < .01$) ont été observés isolément. Aucun effet des facteurs Type d'amorce ($F(1,16) = 2.85, p > .10$) ou Site ($F(1,16) = 1.22, p > .20$), n'a pu être mis en évidence. Une interaction entre les facteurs Site et Groupe ($F(1,16) = 7.45, p = .01$) s'est révélée significative. Comme dans l'intervalle précédent, une interaction tendancielle entre le facteur Type d'amorce et le facteur Groupe ($F(1,16) = 3.50, p = .08$) a également été mise en évidence. Elle révèle des effets opposés de l'amorce Ph+ S+ entre les deux groupes.

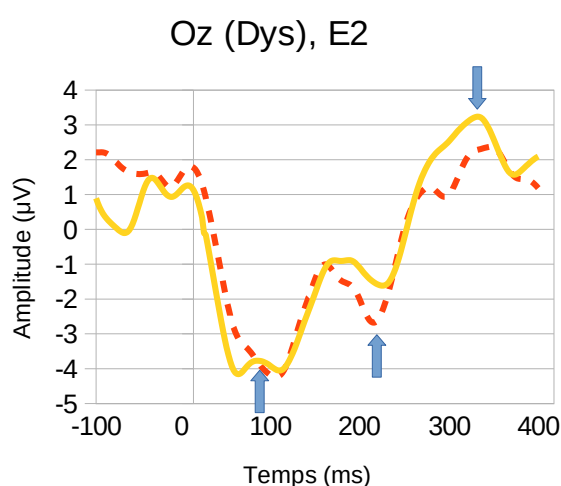


Figure 5. Amplitude moyenne du signal de l'électrode Oz en fonction du temps, pour la condition Ph+ S+ et sa contrôle, chez le groupe Dys.

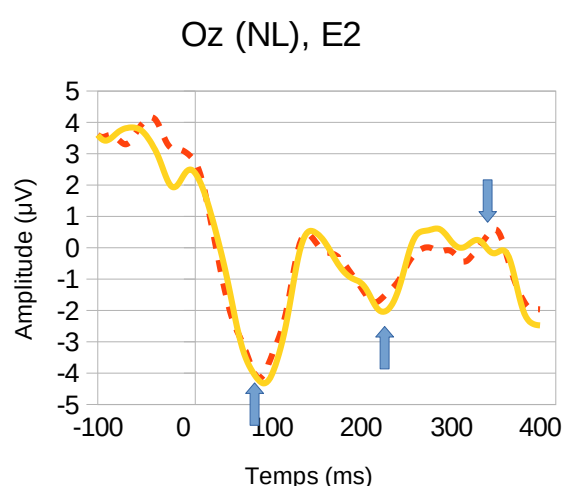


Figure 6. Amplitude moyenne du signal de l'électrode Oz en fonction du temps, pour la condition Ph+ S+ et sa contrôle, chez le groupe NL.

Discussion

Notre étude avait pour objectif de déterminer si l'accès aux représentations phonologiques à partir de l'écrit était systématiquement altéré chez l'adulte dyslexique, ou si ce déficit concernait plus particulièrement un type de représentation (le phonème ou la syllabe). Notre hypothèse était que les participants dyslexiques avaient moins de difficultés à accéder aux représentations syllabiques qu'aux représentations phonémiques. Nous nous attendions donc à observer, chez les participants dyslexiques, une altération des effets facilitateurs du premier phonème uniquement, et une préservation des effets facilitateurs de la syllabe. Pour tester cette hypothèse, nous avons proposé à deux groupes de participants dyslexiques et normo-lecteurs deux expériences (E1 et E2), constituées toutes deux d'une tâche de lecture à haute voix de mots précédés de pseudo-mots amorces. L'expérience E1 visait à comparer un amorçage du premier phonème (Ph+ ; **c**epaude - **SILENCE**) à un amorçage de la première syllabe (S+ ; **cy**paude - **SILENCE**). L'expérience E2 visait à comparer les effets d'un amorçage syllabique incongruent malgré deux premiers phonèmes identiques au mot-cible (Ph+ S- ; **cy**rpune - **SILENCE**), et d'autre part, les effets d'un amorçage syllabique congruent et deux premiers phonèmes identiques au mot-cible (Ph+ S+ ; **cy**roune - **SILENCE**).

1. Discussion concernant E1

1.1. Discussion des résultats comportementaux de E1

Au niveau comportemental, dans E1, nos résultats indiquent que les participants dyslexiques étaient moins précis et moins rapides que les participants normo-lecteurs, quelle que soit la condition d'amorçage. Nous n'avons retrouvé d'effet facilitateur du premier phonème pour aucun des deux groupes. Autrement dit, l'amorçage phonémique (**c**epaude - **SILENCE**) n'a eu aucun impact sur les performances en lecture des participants dyslexiques ou normo-lecteurs, qu'il s'agisse des temps de réaction ou des taux de bonne réponse. Par conséquent, l'information phonémique ne semble ni perturbatrice, ni facilitatrice pour aucun des deux groupes. Chez les participants dyslexiques, l'absence d'effet facilitateur du premier phonème est cohérente avec notre hypothèse d'un déficit d'accès aux représentations phonologiques, qu'il soit global ou spécifique aux représentations phonémiques.

En revanche, l'absence d'effet facilitateur du premier phonème chez les normo-lecteurs est plus surprenante, et en contradiction avec les données de la littérature. En langue anglaise, chez des normo-lecteurs issus du milieu universitaire, Timmer et Schiller (2012) ont utilisé un matériel expérimental similaire au nôtre, sans recouvrement orthographique entre l'amorce et la cible (ex. junior – GENIUS). Contrairement à nous, ils ont observé un effet facilitateur du premier phonème d'environ cinq millisecondes. La taille limitée de notre échantillon pourrait expliquer cette absence d'effet dans notre étude. Une autre hypothèse explicative plausible serait liée à la différence de niveau de lecture entre les participants normo-lecteurs de notre étude et ceux de l'étude de Timmer et Schiller (2012). Nous avons en effet observé des temps de réaction moyens inférieurs d'environ 60 ms à ceux mentionnés par ces auteurs. De nombreux participants normo-lecteurs de notre étude ont été recrutés parmi les étudiants en orthophonie de l'Université de Lille, et ont un excellent niveau de lecture, qui pourrait constituer un biais. Ainsi, l'information phonémique aurait bien été traitée par nos participants, mais leurs processus de reconnaissance de mots écrits seraient tellement

automatisés que l'amorçage phonémique n'aurait eu aucun effet visible au niveau comportemental. Cette hypothèse semble se confirmer au niveau électrophysiologique, car nos données indiquent que l'information phonémique a été traitée par les participants normo-lecteurs (voir ci-après).

Nos résultats comportementaux concernant l'effet d'amorçage syllabique sont également très surprenants. L'amorce syllabique (**cypaude** – **SILENCE**) n'a eu aucun effet sur les temps de réaction ou les taux de bonnes réponses, quel que soit le groupe. L'interaction tendancielle entre les facteurs groupe et condition d'amorçage sur les taux moyens de réponses correctes semble indiquer que l'amorce syllabique pourrait avoir légèrement perturbé les participants dyslexiques, et légèrement aidé les participants normo-lecteurs (voir Tableau 8). Globalement, cette absence d'effet semble en contradiction avec les données de la littérature en plusieurs langues, dont le français (Ferrand et al., 1996) et le chinois (You et al., 2012). Dans le cas de Ferrand et al. (1996), cette différence peut être attribuée à des divergences de méthode, et en particulier au fort recouvrement orthographique entre l'amorce et la cible dans leur matériel expérimental (ex. ba%-%-% - BALADE). En revanche, en chinois, le matériel de You et al. (2012) ne comportait pas de recouvrement orthographique entre l'amorce et la cible, tout comme notre matériel. Or, contrairement à nous, ils sont parvenus à mettre en évidence un effet d'amorçage syllabique systématique, dans quatre expériences successives. La taille limitée de nos échantillons constituerait alors le principal facteur expliquant cette absence d'effet. Avec un plus grand nombre de participants, peut-être aurions-nous pu mettre en évidence un effet de l'amorçage syllabique, comme nous l'avons fait pour E2 (voir ci-dessous).

1.2. Discussion des résultats électrophysiologiques de E1

Dans E1, les résultats étaient similaires pour les deux premières composantes étudiées (50-120 ms ; 185-250 ms). Nos résultats montrent des différences d'amplitude en fonction de la condition d'amorçage sur les sites postérieurs (voir Figures 3 et 4). Nous avons observé une amplitude réduite de la négativité de ces deux composantes, en cas d'amorçage phonémique et syllabique, par rapport à un amorçage contrôle. En outre, l'absence d'effet de groupe dans cet intervalle est très intéressante, car elle suggère que les informations phonémiques et syllabiques sont perçues précocement par les deux groupes, et seraient traitées de la même manière. Autrement dit, cela laisse supposer que les processus d'accès précoce aux représentations phonologiques à partir de l'écrit seraient préservés dans la dyslexie, contrairement à notre hypothèse de départ, et à la théorie de Ramus et Szenkovits (2008). Concernant les normo-lecteurs, nos données semblent cohérentes avec celles de la littérature. En lecture silencieuse, Ashby (2010) a observé comme nous une amplitude réduite de la négativité sur les sites centraux en cas d'amorçage syllabique.

Dans le troisième intervalle (270-400 ms), l'interaction mise en évidence entre les facteurs Site, Hémisphère et Groupe indique que, sur les sites postérieurs, la positivité est plus importante chez le groupe Dys que chez le groupe NL (voir Figures 3 et 4). Le phénomène inverse s'observe sur les sites frontaux (voir Annexe 4). Nous remarquons ces différences quelle que soit la condition d'amorçage. Ces données laissent supposer que si les étapes précoces de traitement phonologique sont préservées chez les personnes dyslexiques, des étapes plus tardives pourraient être altérées. Savill et Thierry (2012) étaient parvenus à une conclusion semblable. Ils avaient mis en évidence, chez la personne dyslexique, une altération des processus attentionnels vers les propriétés phonologiques des stimuli écrits. Cette altération se traduisait par l'absence de la composante P3a sur les sites centraux (370-670 ms après présentation de la cible). En revanche, comme nous, ils n'avaient pas mis en évidence de différence entre les groupes concernant les étapes de traitement plus précoces.

2. Discussion concernant E2

2.1. Discussion des résultats comportementaux de E2

Dans E2, les participants revoyaient les mêmes mots-cibles que dans E1, précédés d'une amorce différente. Cette fois, un effet d'amorçage syllabique à la condition Ph+ S+ (**cy**roune – **SILENCE**) a été observé chez le groupe Dys comme chez le groupe NL concernant le taux de réponses correctes. Cet effet d'amorçage syllabique n'avait pas été observé dans E1, peut-être à cause de la taille limitée de nos échantillons (voir-ci dessus). En outre, nous n'avons pu mettre en évidence aucune différence significative entre les deux groupes en cas d'amorçage syllabique : les personnes dyslexiques ont eu une lecture aussi précise que celle des normo-lecteurs. Cet effet d'amorçage n'étant pas présent dans la condition Ph+ S- (**cy**rpune – **SILENCE**), nous en concluons que ce phénomène facilitateur n'est pas simplement dû au partage de phonèmes entre amorce et cible, mais bien à l'unité syllabique elle-même. L'effet d'amorçage syllabique de la condition Ph+ S+ (**cy**roune – **SILENCE**) n'a toutefois eu aucun impact sur les temps de réaction, pour le groupe Dys ou pour le groupe NL. Malgré tout, les temps de réaction moyens du groupe NL dans la condition Ph+ S+ sont inférieurs d'environ 6 ms à ceux de la condition C2. Aussi, avec davantage de participants, peut-être ces résultats auraient-ils été significatifs.

Autrement dit, à E2, l'amorçage syllabique n'a pas permis aux participants dyslexiques de rendre leur lecture plus rapide. En revanche, cet amorçage les a aidés à améliorer leur précision, jusqu'au niveau des participants normo-lecteurs. Chez ces derniers, l'amorçage syllabique semble capable d'améliorer non seulement la précision, mais aussi la vitesse, ce qui est cohérent avec les données de la littérature observées en français (Ferrand et al., 1996), en anglais (Ferrand et al., 1997), et en chinois (You et al., 2012). Il est toutefois important de noter que, dans notre étude, la répétition du mot-cible a été nécessaire chez les participants dyslexiques comme chez les participants normo-lecteurs pour que ces effets comportementaux, absents dans E1, puissent être observés dans E2. Ce besoin de répétition des mots-cibles pourrait peut-être expliquer la non-reproductibilité des effets d'amorçage syllabique dans certaines études (Brand et al., 2003 ; Schiller, 1998 ; Schiller, 1999).

Globalement, nos résultats comportementaux à E2 sont encourageants : la syllabe serait une unité sur laquelle les participants dyslexiques pourraient s'appuyer pour compenser leurs difficultés et gagner en précision.

2.2. Discussion des résultats électrophysiologiques de E2

Dans E2, nos résultats électrophysiologiques diffèrent de ceux observés dans E1. Plus particulièrement, durant l'intervalle 50-125 ms, nous n'avons observé aucune différence en fonction du groupe ou de la condition d'amorçage. Cela signifie que chez les deux groupes, l'effet d'amorçage phonémique et syllabique observé durant cet intervalle à E1 ne s'est pas maintenu à E2. Dans le cas de l'amorçage phonémique, cela pourrait être dû à une différence de structure syllabique. En effet, les amorces Ph+ (**ce**paude - **SILENCE**) et Contrôle (mupaude – **SILENCE**) utilisées dans E1 n'ont pas la même structure syllabique que les amorces Ph+ S- (**cy**rpune – **SILENCE**) et C1 (murpune – **SILENCE**) utilisées dans E2. L'hypothèse que l'effet d'amorçage phonologique serait particulièrement sensible à la structure syllabique avait déjà été formulée par certains auteurs (Schiller, 1999). Dans le cas de l'amorçage syllabique, toutefois, cette hypothèse n'est pas valable. En effet, la structure syllabique des amorces S+ utilisées dans E1 (**cy**paude – **SILENCE**) et Ph+ S+ utilisées dans E2 (**cy**roune – **SILENCE**) est identique. La structure des

amorces Contrôle (mupaude – SILENCE) utilisées dans E1 et C2 (muroune – SILENCE) utilisées dans E2 est identique elle aussi. Là encore, la faible taille de nos échantillons pourrait être la cause de cette absence de reproductibilité des résultats.

Durant l'intervalle 185-250 ms, en ce qui concerne l'amorçage phonémique, nous dressons un constat similaire. Aucun effet du groupe ou du facteur Type d'amorce n'a pu être observé concernant les conditions Ph+ S- (**cy**rpune – **SILENCE**) et C1 (murpune – SILENCE). Comme pour l'intervalle 50-125 ms, ces résultats sont en contradiction avec ceux observés à E1. Concernant l'amorçage syllabique, nos résultats sont très intéressants. En effet, s'agissant des conditions Ph+ S+ (**cy**roune – **SILENCE**) et C2 (muroune – SILENCE), l'interaction entre les facteurs Groupe et Type d'amorce (voir Figure 5) semble indiquer que l'unité syllabique est perçue par les sujets normo-lecteurs comme par les sujets dyslexiques, mais que les deux groupes ne s'en servent pas de la même façon. Ces résultats sont à mettre en lien avec les résultats comportementaux. En effet, il est particulièrement important de noter que c'est aussi dans la condition Ph+ S+ (**cy**roune – **SILENCE**) que la lecture des participants dyslexiques est la plus précise, à tel point que leur taux de bonnes réponses ne diffère pas significativement de celui des participants normo-lecteurs. Cela pourrait indiquer chez les personnes dyslexiques le recours à une stratégie de traitement alternative de l'unité syllabique, qui leur aurait permis d'améliorer la précision de leur lecture.

En outre, nos résultats suggèrent que ces effets d'amorçage syllabique seraient suffisamment forts pour persister lors de l'intervalle suivant (270-400 ms), comme en témoigne l'interaction entre les facteurs Groupe et Type d'amorce. Plus généralement, nos résultats durant ce dernier intervalle (270-400 ms) sont cohérents avec ceux obtenus dans E1. Comme dans E1, la positivité est plus importante chez le groupe Dys que chez le groupe NL sur les sites postérieurs (voir Figures 5 et 6), quelle que soit la condition d'amorçage. Là encore, ces résultats signifieraient que des étapes de traitement tardives, liées à des processus attentionnels, pourraient être altérées chez la personne dyslexique (Savill & Thierry, 2012).

3. Implications orthophoniques

En France, de notre expérience personnelle, la méthode phonético-gestuelle de Suzanne Borel-Maisonny, bien qu'initialement conçue pour les personnes sourdes, demeure à ce jour très utilisée auprès des personnes dyslexiques (Borel-Maisonny, 1968). Cette méthode vise à compenser les difficultés à intégrer les correspondances graphèmes-phonèmes par le recours au canal kinesthésique, en associant un geste à chaque phonème de la langue.

Malgré les limites de notre étude, nos résultats suggèrent qu'une aide syllabique pourrait être plus facilitante qu'une aide phonémique, et permettrait d'améliorer la précision de la lecture de mots chez l'adulte dyslexique. Ainsi, l'utilisation de méthodes gestuelles permettant de donner une visibilité à l'unité syllabique pourrait être intéressante dans la prise en charge de la dyslexie. De telles méthodes sont déjà utilisées dans la prise en charge de la surdité et des troubles du langage oral, comme la méthode verbo-tonale développée par Guberina durant les années 1950 (Guberina & Asp, 1981).

Par ailleurs, nos résultats n'entrent pas en contradiction avec l'hypothèse, dans la dyslexie, d'un déficit d'orientation attentionnelle vers les propriétés phonologiques des mots écrits (Savill & Thierry, 2012). Il paraît donc important de rendre ces propriétés phonologiques (et notamment, syllabiques) plus saillantes au sein des mots. La méthode de lecture par imprégnation syllabique (Garnier-Lasek, 2012), utilisée dans la prise en charge orthophonique de l'enfant dyslexique, attribue des couleurs alternées à chaque syllabe des mots. Elle aide ainsi à la mise en place des

processus de décodage. Toutefois, de tels moyens de compensation pourraient demeurer utiles pour les personnes dyslexiques, même à l'âge adulte.

Conclusion

En lien avec la théorie formulée par Ramus et Szenkovits (2008), nous avons cherché à déterminer la nature du déficit d'accès aux représentations phonologiques à partir de l'écrit dans la dyslexie. Notre hypothèse initiale était que ce déficit n'englobait pas l'ensemble des unités phonologiques, c'est-à-dire que l'accès syllabique était préservé par rapport à l'accès phonémique. À travers deux expériences impliquant une tâche de lecture à haute voix de mots, nous avons utilisé le paradigme d'amorçage masqué et l'électroencéphalographie. Nous nous attendions à observer en électroencéphalographie, chez les participants dyslexiques, une altération des effets facilitateurs du premier phonème uniquement, et une préservation des effets facilitateurs de la syllabe.

Bien que nos résultats aient manqué de reproductibilité, nous avons pu mettre en évidence lors de notre première expérience une sensibilité cérébrale postérieure (50-125 ms ; 185-250 ms) à l'amorçage syllabique et phonologique chez les participants dyslexiques comme chez les participants normo-lecteurs. Ce constat, contraire à nos attentes et à notre hypothèse initiale, laisse supposer que l'accès précoce aux représentations phonologiques pourrait être préservé chez l'adulte dyslexique. Les différences entre nos deux groupes apparaissent plus tardivement (270-400 ms), et pourraient être cohérentes avec l'hypothèse, formulée par Savill et Thierry (2012), d'une altération des processus d'orientation attentionnelle vers les propriétés phonologiques des stimuli écrits dans la dyslexie.

De façon très intéressante, les participants dyslexiques ont été sensibles à l'amorçage syllabique dans la deuxième expérience, c'est-à-dire dès lors que le mot-cible était présenté une seconde fois. Au niveau électrophysiologique, cette sensibilité, s'est traduite par un pic de négativité sur la deuxième composante étudiée (185-200 ms). Chez les participants normo-lecteurs, cette sensibilité existait aussi, mais l'effet était opposé. Les participants dyslexiques semblent donc s'être servis de l'unité syllabique comme d'un moyen pour mettre en œuvre une stratégie de traitement alternative, leur permettant d'améliorer la précision de leur lecture au niveau de celle des sujets normo-lecteurs.

Au vu de la taille limitée de nos échantillons dans le cadre d'une étude électrophysiologique, nos résultats doivent toutefois être nuancés. Aussi, la poursuite de cette étude par le recrutement de nouveaux participants dyslexiques semble nécessaire afin de valider ou non les effets que nous avons pu mettre en évidence. Sur le plan clinique, cette étude pourrait avoir d'importantes implications dans la prise en charge orthophonique des personnes dyslexiques, et favoriser l'émergence de nouvelles méthodes compensatoires centrées sur la syllabe.

Bibliographie

- American Psychiatric Association. (2013). *Diagnostic and statistical manual of mental disorders* (5th ed.). Washington, DC.
- Anthony, J. L., & Francis, D. J. (2005). Development of Phonological Awareness. *Current Directions in Psychological Science*, 14(5), 255-259.
- Araújo, S., Bramão, I., Faísca, L., Petersson, K. M., & Reis, A. (2012). Electrophysiological correlates of impaired reading in dyslexic pre-adolescent children. *Brain and Cognition*, 79(2), 79-88.
- Araújo, S., Faísca, L., Bramão, I., Reis, A., & Petersson, K. M. (2015). Lexical and sublexical orthographic processing: An ERP study with skilled and dyslexic adult readers. *Brain and Language*, 141, 16-27.
- Ashby, J. (2010). Phonology is fundamental in skilled reading: Evidence from ERPs. *Psychonomic Bulletin & Review*, 17(1), 95-100.
- 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.
- Boets, B., Op de Beeck, H. P., Vandermosten, M., Scott, S. K., Gillebert, C. R., Mantini, D., ... Ghesquiere, P. (2013). Intact But Less Accessible Phonetic Representations in Adults with Dyslexia. *Science*, 342(6163), 1251-1254.
- Borel-Maisonny, S. (1968). Exposé d'une méthode phonétique et gestuelle. *Rééducation orthophonique*. Paris: Masson.
- Brand, M., Rey, A., & Peereman, R. (2003). Where is the syllable priming effect in visual word recognition?. *Journal of Memory and Language*, 48(2), 435-443.
- Brybaert, M. (2013). Lextale_FR a fast, free, and efficient test to measure language proficiency in French. *Psychologica Belgica*, 53(1), 23-37.
- Carreiras, M., Ferrand, L., Grainger, J., & Perea, M. (2005). Sequential effects of phonological priming in visual word recognition. *Psychological science*, 16(8), 585-589.
- Carreiras, M., Perea, M., Vergara, M., & Pollatsek, A. (2009). The time course of orthography and phonology: ERP correlates of masked priming effects in Spanish. *Psychophysiology*, 46(5), 1113-1122.
- Cavalli, E., Lellou, G., El Ahmadi, A., Poracchia, F., Sprenger-Charolles, L., & Colé, P. (2018). Le test de l'Alouette validé pour les jeunes adultes dyslexiques. *Ortho magazine*, 139, 12-15.
- Chiappe, P., Stringer, R., Siegel, L. S., & Stanovich, K. E. (2002). Why the timing deficit hypothesis does not explain reading disability in adults. *Reading and Writing*, 15(1), 73-107.

- 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.
- Demont, E. & Gombert, J.E. (1996). Phonological awareness as a predictor of decoding skills, syntactic awareness as a predictor of comprehension skills. *British Journal of Educational Psychology*, 66, 315-332.
- Doignon-Camus, N., Seigneuric, A., Perrier, E., Sisti, A., & 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), 117-132.
- Doignon-Camus, N., & Zagar, D. (2014). The syllabic bridge: the first step in learning spelling-to-sound correspondences*. *Journal of Child Language*, 41(05), 1147-1165.
- Ferrand, L., Segui, J., & Grainger, J. (1996). Masked priming of word and picture naming: The role of syllabic units. *Journal of Memory and language*, 35(5), 708-723.
- Ferrand, L., Segui, J., & Humphreys, G. W. (1997). The syllable's role in word naming. *Memory & Cognition*, 25(4), 458-470.
- Forster, K. I., & Davis, C. (1991). The density constraint on form-priming in the naming task: Interference effects from a masked prime. *Journal of Memory and Language*, 30(1), 1-25.
- Frederickson, N., Frith, U., & Reason, R. (1997). *Phonological assessment battery: Manual and test materials*. Windsor, UK: NFER-NELSON Publishing Company Ltd.
- Froyen, D. J. W., Bonte, M. L., van Atteveldt, N., & Blomert, L. (2009). The Long Road to Automation: Neurocognitive Development of Letter–Speech Sound Processing. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 21(3), 567-580.
- Froyen, D., Willems, G., & Blomert, L. (2011). Evidence for a specific cross-modal association deficit in dyslexia: an electrophysiological study of letter-speech sound processing: Cross-modal association deficit in dyslexia. *Developmental Science*, 14(4), 635-648.
- Garnier-Lasek, D. (2012). *L'imprégnation syllabique*. Isbergues, France : Ortho-Editions
- Gola-Asmussen, C., Lequette, C., Pouget, G., Rouyer, C., & Zorman, M. (2010). *Outil d'évaluation de compétences de lecture chez l'adulte de plus de 16 ans*. Université de Provence Aix-Marseille, 1.
- Guberina, P., & Asp, C. W. (1981). The verbo-tonal method for rehabilitating people with communication problems. *Monograph 13, World Rehabilitation*.
- Kinoshita, S. (2000). The left-to-right nature of the masked onset priming effect in naming. *Psychonomic bulletin & review*, 7(1), 133-141.
- Kinoshita, S., & Woollams, A. (2002). The masked onset priming effect in naming: Computation of phonology or speech planning?. *Memory & Cognition*, 30(2), 237-245.
- Kujala, T., & Näätänen, R. (2001). The mismatch negativity in evaluating central auditory dysfunction in dyslexia. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 25(6), 535-543.

- Landerl, K., Wimmer, H., & Frith, U. (1997). The impact of orthographic consistency on dyslexia: A German-English comparison. *Cognition*, 63(3), 315-334.
- Lefavrais, P. (1965). *L'alouette: test d'analyse de la lecture et de la dyslexie*. Centre de psychologie appliquée.
- Lefly, D., & Pennington, B. (2000). Reliability and Validity of the Adult Reading History Questionnaire. *Journal of Learning Disabilities*, 33(3), 286-296.
- Lemhöfer, Kristin; Boersma, Mirjam. 2012. Introducing LexTALE: a quick and valid lexical test for advanced learners of English. *Behavior Research Methods* 44(2), 325-343.
- Mahé, G., Pont, C., Zesiger, P., & Laganaro, M. (2018). The electrophysiological correlates of developmental dyslexia: New insights from lexical decision and reading aloud in adults. *Neuropsychologia*, 121, 19-27.
- Morgan, W. P. (1896). A Case of Congenital Word Blindness. *British Medical Journal*, 2(1871), 1378.
- New, B., Pallier, C., Ferrand, L., & Matos, R. (2001). Une base de données lexicales du français contemporain sur internet: LEXIQUE™//A lexical database for contemporary french: LEXIQUE™. *L'année Psychologique*, 101(3), 447-462.
- Organisation Mondiale de la Santé. (2018). *Classification Internationales des Maladies* (11ème révision).
- Paulesu, E. (2001). Dyslexia: Cultural Diversity and Biological Unity. *Science*, 291(5511), 2165-2167.
- Protopapas, A. (2007). Check Vocal: A program to facilitate checking the accuracy and response time of vocal responses from DMDX. *Behavior research methods*, 39(4), 859-862.
- Rack, J. P., Snowling, M. J., & Olson, R. K. (1992). The nonword reading deficit in developmental dyslexia : A review. *Reading Research Quarterly*, 27(1), 29-53.
- Ramus, F. (2003). Theories of developmental dyslexia: insights from a multiple case study of dyslexic adults. *Brain*, 126(4), 841-865.
- Ramus, F, & Szenkovits, G. (2008). What phonological deficit? *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 61(1), 129-141.
- Raven, J., & Raven, J. C. (1998). Court, JH. (1998). *Manual for Raven's progressive matrices and vocabulary scales*.
- Ritsher, J. E. B., Warner, V., Johnson, J. G., & Dohrenwend, B. P. (2001). Inter-generational longitudinal study of social class and depression: a test of social causation and social selection models. *The British Journal of Psychiatry* (Suppl.40), 84–90
- Savill, N. J., & Thierry, G. (2012). Decoding ability makes waves in reading: Deficient interactions between attention and phonological analysis in developmental dyslexia. *Neuropsychologia*, 50(7), 1553-1564.

- Schiller, N. O. (1998). The effect of visually masked syllable primes on the naming latencies of words and pictures. *Journal of Memory and Language*, 39(3), 484-507.
- Schiller, N. O. (1999). Masked syllable priming of English nouns. *Brain and Language*, 68(1-2), 300-305.
- Schiller, N. O. (2004). The onset effect in word naming. *Journal of Memory and Language*, 50(4), 477-490.
- Serniclaes, W., Sprenger-Charolles, L., Carré, R., & Demonet, J.-F. (2001). Perceptual Discrimination of Speech Sounds in Developmental Dyslexia. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 44(2), 384-399.
- Snowling, M. J. (2000). *Dyslexia* (2^e éd.). Oxford : Blackwell.
- Timmer, K., Ganushchak, L. Y., Ceusters, I., & Schiller, N. O. (2014). Second language phonology influences first language word naming. *Brain and Language*, 133, 14-25.
- Timmer, K., & Schiller, N. O. (2012). The role of orthography and phonology in English: An ERP study on first and second language reading aloud. *Brain Research*, 1483, 39–53.
- Van Ijzendoorn, M. H., & Bus, A. G. (1994). Meta-Analytic Confirmation of the Nonword Reading Deficit in Developmental Dyslexia. *Reading Research Quarterly*, 29(3), 266.
- Wolf, M., Bowers, P. G., & Biddle, K. (2000). Naming-Speed Processes, Timing, and Reading: A Conceptual Review. *Journal of Learning Disabilities*, 33(4), 387-407.
- You, W., Zhang, Q., & Verdonschot, R. G. (2012). Masked syllable priming effects in word and picture naming in Chinese. *PloS one*, 7(10).
- Ziegler, J. C., Goswami, U. (2005). Reading Acquisition, Developmental Dyslexia, and Skilled Reading Across Languages: A Psycholinguistic Grain Size Theory. *Psychological Bulletin*, 131(1), 3-29
- Zoccolotti, P., De Luca, M., Di Filippo, G., Marinelli, C. V., & Spinelli, D. (2018). Reading and lexical-decision tasks generate different patterns of individual variability as a function of condition difficulty. *Psychonomic Bulletin & Review*, 25(3), 1161-1169.

Liste des annexes

Annexe n°1 : Matériel de la première expérience (E1)

Annexe n°2 : Matériel de la deuxième expérience (E2)

Annexe n°3 : Items fillers

Annexe n°4 : Exemples de représentations graphiques du signal électrophysiologique, pour E1

Annexe n°5 : Exemples de représentations graphiques du signal électrophysiologique, pour E2

Annexe n°6 : Lettre d'information