



**HAL**  
open science

# Étude de faisabilité d'un entraînement intermodalitaire sur l'amélioration du comportement en lecture et des processus cognitifs sous-jacents dans la dyslexie développementale

Sabrina Courant

► **To cite this version:**

Sabrina Courant. Étude de faisabilité d'un entraînement intermodalitaire sur l'amélioration du comportement en lecture et des processus cognitifs sous-jacents dans la dyslexie développementale. Médecine humaine et pathologie. 2020. dumas-02939740

**HAL Id: dumas-02939740**

**<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-02939740>**

Submitted on 15 Sep 2020

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

MÉMOIRE DE RECHERCHE présenté pour l'obtention du  
**CERTIFICAT DE CAPACITE D'ORTHOPHONISTE  
ET DU GRADE DE MASTER 2 D'ORTHOPHONIE**

Présenté et soutenu le 11 Juin 2020 par

**Sabrina Courant**

**Née le 23 février 1978**

**TITRE**

**ETUDE DE FAISABILITE D'UN ENTRAINEMENT INTERMODALITAIRE SUR  
L'AMELIORATION DU COMPORTEMENT EN LECTURE ET DES PROCESSUS  
COGNITIFS SOUS-JACENTS DANS LA DYSLEXIE DEVELOPPEMENTALE**

Directrice de Mémoire :

Madame Karine HARRAR-ESKINAZI, orthophoniste

Co-directeur de Mémoire :

Monsieur Gilles LELOUP, orthophoniste,

Dr en Sciences du Langage

Nice

**2020**



# Sommaire

Introduction .....	1
Partie théorique .....	3
Chapitre 1 LA LECTURE.....	4
1 Le développement typique .....	4
2 Le trouble .....	5
3 La compréhension .....	7
Chapitre 2 LES PROCESSUS COGNITIFS SOUS-JACENTS .....	8
1 Les processus phonologiques.....	8
2 Les processus visuo-attentionnels.....	9
3 Le processus intermodalitaire .....	10
Chapitre 3 LA REMEDIATION DE LA DYSLEXIE.....	12
1 Principes généraux et recommandations.....	12
2 L'entraînement intermodalitaire .....	13
3 Graphogame (GG) .....	14
Partie pratique .....	17
1 Problématique et objectifs.....	17
2 Méthodologie .....	18
2.1 Echantillon.....	18
2.2 Déroulement de l'étude .....	19
3 Résultats.....	22
3.1 Données issues des évaluations .....	22
3.2 Temps d'entraînement .....	26
Discussion .....	27
Conclusions et Perspectives .....	32
Bibliographie.....	33
Annexes.....	39

# INTRODUCTION

Dans le monde d'aujourd'hui, la maîtrise de la lecture conditionne fortement l'intégration à la société. L'UNESCO défend l'idée que le langage écrit est la porte de la connaissance, le ciment de la confiance en soi et de l'estime de soi. Lire est une nécessité pour prendre des décisions, faire respecter ses droits et construire son avenir (Richmond et al., 2008). C'est pourquoi le trouble développemental du langage écrit, en tant que restriction individuelle et sociale, est intégré dans le champ du handicap de la loi française du 11 février 2005. La remédiation des troubles du langage écrit est donc un enjeu de santé publique, d'autant plus que la pathologie est persistante (Martin et al., 2010; Sprenger-Charolles et al., 2009).

La recherche dans le domaine de la dyslexie développementale propose différents modèles théoriques de l'apprentissage typique de la lecture, plusieurs hypothèses causales au trouble, en lien avec les processus sous-jacents à la lecture (phonologiques, visuo-attentionnels et intermodalitaire), ainsi que des stratégies de remédiation variées. Toutefois, ces stratégies restent majoritairement compensatoires alors qu'une visée curative devrait être systématiquement préférée (Casalis et al., 2019). Pour ce faire, les programmes de rééducation doivent être issus d'une évaluation rigoureuse, adaptés régulièrement aux progrès de l'individu (Ehri et al., 2001; Vellutino et al., 2004) et proposés précocement (Vellutino & Scanlon, 2002). Les entraînements les plus bénéfiques sont intensifs et ciblés (Suggate, 2016; Vellutino et al., 2004). L'entraînement d'un processus cognitif sous-jacent apporte des réponses rapides, durables et généralisables (Magnan & Ecalle, 2017; Zoubrinetzky et al., 2019). Dans ce contexte, nous nous demandons quels effets peut avoir un entraînement intensif, ciblé sur le processus intermodalitaire, sur l'amélioration du comportement en lecture d'enfants de 8 à 11 ans.

Afin de répondre à cette question, nous avons mené une étude prospective préliminaire en trois temps, sur huit enfants scolarisés du CE2 au CM2. Les performances des enfants sont d'abord mesurées avant la rentrée des classes de septembre (T0) puis après huit semaines de scolarité normale et rééducation orthophonique hebdomadaire (T1). Un entraînement sur le logiciel Graphogame (Richardson & Lyytinen, 2014; Ruiz et al., 2017) est ensuite mené pendant huit semaines, avant la dernière évaluation (T2). Les performances évaluées sont la précision et la vitesse de lecture de texte et de mots, l'efficacité des processus phonologiques et visuo-attentionnels ainsi que les compétences en compréhension écrite. Les scores d'un même individu sont comparés pour mesurer les gains avec et sans entraînement intermodalitaire.

La première partie de ce travail explore les données de la littérature. Le premier chapitre de cette partie théorique est consacré à la lecture et décrit le développement typique, le trouble et la question de la compréhension écrite. Le deuxième chapitre s'attache à l'étude des processus cognitifs sous-jacents à la lecture, phonologiques, visuo-attentionnels et intermodalitaire. Le troisième chapitre présente les principes généraux et recommandations pour la remédiation, les caractéristiques de l'entraînement intermodalitaire ainsi que le logiciel Graphogame et trois études essentielles de sa validation. Dans la partie pratique, nous exposons la méthodologie de l'étude, suivie des résultats et de l'analyse statistique des scores obtenus. Enfin, les résultats sont discutés au regard de la littérature disponible et en considérant les limites de notre travail.

# **PARTIE THEORIQUE**

# CHAPITRE 1

## LA LECTURE

### *1 Le développement typique*

La lecture est le produit de deux composantes qui sont l'identification du mot écrit et la compréhension (Gough & Tunmer, 1986). Le processus d'apprentissage d'identification des mots écrits nécessite des compétences linguistiques et sollicite la mise en œuvre de nombreux prérequis et connaissances (Vellutino et al., 2004).

D'après Frith (Frith, 1985) l'identification du mot écrit se fait en trois étapes. Au stade logographique, la lecture n'est possible que par une reconnaissance globale à travers les caractéristiques visuelles saillantes de certains mots. Le stade alphabétique permet de relier chaque unité de la langue écrite à une unité de la langue orale grâce à l'apprentissage de la conversion graphème-phonème (CGP). Le stade orthographique correspond à l'automatisation de la lecture. Le graphème, unité sublexicale de référence au début de l'apprentissage, pourrait se voir substitué par la syllabe au cours du développement (Sprenger-Charolles & Serniclaes, 2003). Plus tard, Ehri a complété ce modèle théorique en subdivisant ou renommant certaines étapes. Au stade alphabétique partiel, seules les lettres saillantes sont mises en connexion avec les sons correspondants. Au stade alphabétique complet, tous les graphèmes et tous les phonèmes sont connectés. Au dernier stade, dit alphabétique consolidé, les connexions sont morphographiques. La CGP est complétée par une lecture automatisée des mots connus, en mode holistique, qui permet le développement du stock lexical orthographique (Ehri, 1995). Ainsi, dans le modèle à deux voies de lecture (Coltheart et al., 2001), l'identification du mot écrit dépend soit de la CGP soit d'une reconnaissance orthographique.

Les procédures de lecture évoluent au cours du développement. La CGP, ou voie sublexicale, est utilisée tout au long de la vie pour lire des mots nouveaux et indépendamment de l'âge de lecture. La reconnaissance orthographique, ou voie lexicale, se développe parallèlement à l'âge de lecture et à la classe, jusqu'à être prioritairement utilisée quand la lecture est automatisée (Ziegler, Bertrand, et al., 2014). En français, la bonne consistance des relations grapho-phonémiques favorise l'apprentissage de la CGP et facilite ainsi la mise en place du lexique orthographique (Sprenger-Charolles, 2005). Selon l'hypothèse du recodage phonologique, chaque décodage réussi permet d'alimenter le stock des représentations orthographiques du lecteur, dès les premiers apprentissages explicites de correspondance graphème-phonème (Share, 1995, 1999; Ziegler, Perry, et al., 2014). Puis, les

représentations orthographiques renforcent le processus de CGP (McArthur et al., 2015). Les deux voies de lecture ne sont donc pas indépendantes ni autonomes.

Au contraire, la modélisation connexionniste postule que l'apprentissage du décodage se fait via les régularités statistiques entre structures orthographiques et phonologiques, extraites des rencontres avec les mots de la langue durant l'apprentissage (Harm & Seidenberg, 1999). La CGP n'est plus un prérequis nécessaire. Une seule procédure, de type holistique, permet la lecture de l'ensemble des mots, préalablement connus ou non. L'implémentation de ce modèle permet à la présentation orthographique du mot d'activer les codes phonologique et sémantique, de manière parallèle et simultanée (Harm & Seidenberg, 2004). La voie orthographe-sémantique-phonologie attribue la prononciation correcte dans les cas d'homographe et est essentielle à la lecture des mots irréguliers. Le modèle génère la forme phonologique des pseudomots avec autant de succès qu'un lecteur expert, sans connaissance des CGP ni système de traitement sériel, dans la limite de mots monosyllabiques.

Le modèle multitraces de lecture (Ans et al., 1998) permet de concilier les points forts des modèles double-voie et connexionnistes. Ce modèle hybride postule l'existence de deux procédures de lecture, globale et analytique, en faisant l'hypothèse qu'un système de CGP n'est pas nécessaire au lecteur expert. A partir d'une information orthographique, l'ensemble des connaissances mémorisées sur les mots auparavant est activé, conduisant à l'activation des couches orthographique et phonologique. La procédure de lecture est toujours globale dans un premier temps. C'est l'échec du mode global qui conduit à basculer en mode analytique. La quantité d'information orthographique traitée se réduit alors pour considérer les unités sublexicales, syllabes ou graphèmes, qui composent le mot. La fenêtre visuo-attentionnelle cadre successivement sur les unités orthographiques pertinentes du mot, par activation en mémoire des mots de la langue renfermant les mêmes unités. Les unités phonologiques correspondantes sont générées progressivement puis assemblées en une réponse phonologique unifiée. La probabilité de traiter les pseudomots en mode global augmente en fonction du nombre de leurs voisins orthographiques. L'intérêt majeur de ce cadre théorique est de postuler que deux types de traitements, phonologiques et visuo-attentionnels, sont inhérents à l'activité de lecture et contribuent indépendamment à cette activité.

## 2 *Le trouble*

La dyslexie développementale (DD) est un trouble de l'apprentissage du langage écrit dont les origines sont neurobiologiques (INSERM, 2007). En 2011, l'Organisation Mondiale de la Santé définit la dyslexie comme un déficit sévère et durable de l'apprentissage de la lecture, à l'exclusion de déficit cognitif ou neurosensoriel, de pathologie neurologique ou psychiatrique, de carence socio-éducative

grave. Le diagnostic est posé si les résultats se situent dans le percentile 5 ou en-dessous (Organisation Mondiale de la Santé, 2011). Au contraire, le DSM-5 (American Psychiatric Association, 2013) précise que les difficultés doivent persister depuis au moins six mois, malgré la mise en place de mesures les ciblant, et interférer avec les performances scolaires ou les activités de la vie quotidienne. Les études sur la prévalence des troubles de la lecture donnent des proportions de 2 à 20%, mais il est considéré qu'un taux de 3 à 5% au moins concerne la dyslexie (INSERM, 2007). Enfin, les études sur les familles à risque montrent qu'à partir des vulnérabilités génétiques, le risque de DD augmente en fonction des compétences cognitives de l'enfant et des facteurs environnementaux (Vellutino et al., 2004). Les compétences exécutives conditionnent également la maîtrise de la lecture (Altemeier et al., 2008; Smith-Spark et al., 2016).

La classification des dyslexies est aujourd'hui consensuellement établie à partir du modèle de lecture à double voie. Les manifestations comportementales de la lecture partagent les dyslexiques en deux groupes, selon la voie de lecture dysfonctionnelle. La dyslexie phonologique serait la conséquence d'une mauvaise utilisation de la CGP tandis que la dyslexie de surface signifierait l'absence de reconnaissance orthographique des mots. Toutefois, dans le cadre de la DD, l'atteinte élective d'une seule voie de lecture est très rare (Sprenger-Charolles, 2005). En effet, un déficit de décodage aux premiers stades d'acquisition de la lecture altère la possibilité d'auto-apprentissage par recodage. Quant au déficit de la procédure lexicale, il entraîne une grande lenteur dans la lecture et un manque d'interprétation sémantique des homophones qui rendent la compréhension difficile (Desrochers & Stanké, 2017).

Contrairement aux cas des adultes cérébro-lésés à la base de la construction du modèle double-voie (Marshall & Newcombe, 1973), la DD devrait donc engendrer des dysfonctions des deux voies de lecture, quoiqu'un des deux dysfonctionnements puisse être d'amplitude plus faible (Sprenger-Charolles, 2005; Ziegler, Perry, et al., 2014). D'autres auteurs démontrent que la notion de sous-types en dyslexie développementale n'est pas assez robuste au vu de l'instabilité dans les proportions des profils de lecture des enfants dyslexiques (Sprenger-Charolles et al., 2011). Pour différencier les dyslexies de surface des dyslexies phonologiques, il faudrait toujours comparer les performances en lecture à la fois en précision et en vitesse. En français, par exemple, les performances des enfants dyslexiques en lecture de pseudomots sont similaires à celles des enfants normolecteurs en précision, mais diffèrent significativement en vitesse. D'autre part, les enfants dyslexiques devraient être comparés à des pairs de même âge chronologique et des pairs de même âge lexicale. Si la voie lexicale est altérée, les performances sont similaires à celles des normolecteurs de même âge lexicale, ce qui

signe un retard dans la trajectoire développementale. Au contraire, quand la voie sublexicale est dysfonctionnelle, la trajectoire est réellement déviante, avec des performances dans les tâches phonologiques en-deçà de celles de normolecteurs de même âge lexique. Les mêmes conclusions sont retrouvées dans la mise en œuvre du modèle connexionniste en triangle (Harm & Seidenberg, 1999). D'après le modèle causal (Morton & Frith, 1995), l'analyse des symptômes ne suffit pas au diagnostic. Il faut rechercher les causes sous-jacentes, biologiques mais surtout cognitives, pour aboutir au diagnostic différentiel. Cette théorie repose sur un modèle en cascade, depuis l'origine biologique des troubles jusqu'à leur expression symptomatique, en passant par les processus cognitifs. Un trouble biologique unique peut donner lieu à des symptômes variés, en qualité et quantité, mais un symptôme unique peut être dû à diverses causes biologiques. Les processus cognitifs entre ces deux niveaux doivent donc être considérés pour établir un diagnostic différentiel, ce que nous traiterons dans le deuxième chapitre.

### 3 *La compréhension*

La compréhension d'un texte lu dépend non seulement de la maîtrise des mécanismes spécifiques à la lecture, déficitaires chez les enfants dyslexiques, mais aussi du niveau de compréhension orale, normalement préservé. Le lecteur expert a quasiment immédiatement accès à la fois à la forme visuelle et sonore des mots écrits mais aussi à leur sens (Sprenger-Charolles, 2005). La compréhension sollicite simultanément les mécanismes propres à la lecture, dont la fluidité, les inférences, les stratégies d'auto-évaluation et de régulation, mais aussi les connaissances langagières, les connaissances générales et les fonctions exécutives (Bianco et al., 2017). Le développement du langage et l'engagement dans la lecture se nourrissent mutuellement (Bianco, 2016). La définition de la dyslexie prévoit que les conséquences secondaires du trouble d'identification des mots peuvent inclure une altération de la compréhension en lecture (INSERM, 2007). La compréhension en lecture dépend non seulement de la compréhension orale et de la fluidité de lecture de mots, mais aussi et surtout de la fluidité de lecture en contexte, en tant que médiateur entre l'identification et la compréhension (Kim & Wagner, 2015). L'automatisation de la procédure de lecture allège le coût cognitif et permet la focalisation sur le sens de ce qui est lu (Share, 1995).

## CHAPITRE 2

# LES PROCESSUS COGNITIFS SOUS-JACENTS

### *1 Les processus phonologiques*

La plus robuste et consensuelle explication causale de la DD à ce jour est celle d'un déficit du traitement phonologique (Ramus et al., 2003), dès lors que l'évaluation prend en compte non seulement la précision mais aussi la vitesse de réponse (Martin et al., 2010; Sprenger-Charolles et al., 2000). Les troubles phonologiques étant présents chez des enfants dyslexiques avant même l'apprentissage de la lecture (Sprenger-Charolles et al., 2000), il est admis que les compétences phonologiques sont un processus cognitif sous-jacent à la lecture. Les compétences phonologiques constituent même un prédicteur important des compétences en lecture (Piquard-Kipffer & Sprenger-Charolles, 2013; Scarborough, 2001), dans toutes les langues (Peterson & Pennington, 2012). Les compétences phonologiques sont des déterminants plus forts que les compétences sémantiques ou syntaxiques au début de l'apprentissage de la lecture, mais la tendance s'inverse chez les lecteurs plus avancés (Vellutino et al., 2004). Les simulations conduites dans le cadre du modèle connexionniste en triangle (Harm & Seidenberg, 1999) montrent qu'une atteinte des composants phonologiques du réseau pourrait rendre compte de dyslexies phonologiques comme de dyslexies mixtes, puisqu'un déficit sévère induit une détérioration des performances tant en lecture de pseudo-mots que de mots irréguliers.

Parmi les compétences phonologiques, la plus déterminante est la conscience phonémique dans le cas d'une orthographe opaque, tandis que dans le cas d'une orthographe plus transparente, ce sont les processus phonologiques implicites comme, par exemple, la mémoire verbale (Vellutino et al., 2004). Le traitement des représentations phonologiques est nécessaire à l'identification des sons. L'apprentissage du langage écrit est donc contraint par la qualité des représentations phonémiques de l'enfant (Sprenger-Charolles & Serniclaes, 2003) ou par l'accès à ces représentations (Ramus & Szenkovits, 2008). L'efficacité de la dénomination rapide automatisée (DRA), tâche qui permet d'évaluer la vitesse d'accès aux représentations phonologiques, est un prédicteur fort de la vitesse en lecture pour toutes les langues (Peterson & Pennington, 2012). Ces troubles phonologiques pourraient être expliqués par des déficits de traitement phonologique de bas niveau tels que les compétences de perception catégorielle. Ces compétences, présentes chez tous les enfants à la naissance, se maintiennent au-delà de la fenêtre normale de développement chez les dyslexiques et peuvent être

qualifiées d'allophoniques. Ainsi, comparativement à des normolecteurs, les dyslexiques discriminent moins bien des différences intercatégorielles (d'un phonème à l'autre), mais mieux des différences intracatégorielles (pour un même phonème). Cette hyper-sensibilité entrave la perception de l'environnement linguistique et, par conséquent, l'apprentissage de la CGP (Serniclaes, Heghe, Mousty, Carré, & Sprenger-Charolles, 2004).

Les relations entre analyse phonémique et lecture sont bidirectionnelles (Sprenger-Charolles, 2005). La capacité à segmenter la parole en phonèmes n'émerge qu'au moment de l'apprentissage explicite de la CGP. La lecture et les compétences d'analyse phonémique se soutiennent ensuite mutuellement dans un va-et-vient constant (Castles et al., 2011; Morais et al., 1979). Les performances des dyslexiques à des tâches portant sur le phonème sont généralement inférieures à celles des normolecteurs appariés en âge lexique ou chronologique (Swan & Goswami, 1997). Les études sur les adultes dyslexiques universitaires montrent que le déficit en vitesse de lecture ne se résorbe pas avec le temps ni la rééducation (Martin et al., 2010).

## 2 *Les processus visuo-attentionnels*

Certains enfants souffrant d'un déficit phonologique avéré ont des compétences en lecture dans la norme (Peterson & Pennington, 2012). Ce constat a conduit les scientifiques à rechercher d'autres hypothèses causales à la DD. Le traitement visuo-attentionnel est un processus intervenant en amont des procédures de lecture, comme illustré dans le modèle à deux voies de lecture (Coltheart et al., 2001). La représentation visuelle des lettres, de leur position et de leur enchaînement, mais aussi la conversion grapho-phonémique ou l'accès au stock lexical orthographique dépendent de compétences visuo-attentionnelles. L'élaboration de la représentation orthographique du mot est alors entravée, la CGP et la reconnaissance orthographique sont compromises. Les déficits visuo-attentionnels sont notamment mis en cause dans les performances en fluence, dont le déficit est plus résistant et universel (Peterson & Pennington, 2012).

Certaines hypothèses causales visuo-attentionnelles sont amodales et peuvent être mises en lien avec le trouble phonologique. Un trouble du déplacement temporel et spatial de l'attention perceptive a été mis en évidence (Facoetti et al., 2000). Un dysfonctionnement du système magnocellulaire, caractérisé par des anomalies structurelles cérébrales (Livingstone et al., 1991) a aussi été évoqué. Un ralentissement de l'orientation de l'attention s'exprime alors via un déficit de traitement des stimuli rapides à faible contraste (Stein & Walsh, 1997).

D'autres troubles sont décrits dans la DD, spécifiques à la modalité visuelle. Le phénomène d'encombrement visuel, excessif chez certains dyslexiques, perturbe l'identification précise des lettres

centrales, par l'interférence des lettres adjacentes. La lecture est alors ralentie (Callens et al., 2013). Des troubles d'attention visuo-spatiale déséquilibrent les modes d'analyse global et local d'une scène visuelle complexe. L'analyse exagérée des détails entrave alors l'identification et le codage positionnel efficaces des lettres (Bedoin et al., 2010). Enfin, un empan visuo-attentionnel (EVA) réduit est également considéré comme trouble causal dans la DD (Bosse et al., 2007). En effet, la limitation du nombre de lettres traitées en une seule fixation oculaire explique une lecture plus lente et moins précise. Le concept d'EVA est l'un des composants du modèle multitraces qui a montré l'indépendance des composants visuo-attentionnels par rapport aux composants phonologiques du réseau (Ans et al., 1998). Ainsi, un trouble de l'EVA affecte la performance en lecture des enfants indépendamment de leurs capacités phonologiques. De plus, la contribution de l'EVA est déterminante dès le CP pour la lecture des pseudomots, et forte et constante pour la lecture des mots irréguliers tout au long du primaire (Bosse & Valdois, 2009).

En conclusion, l'analyse des déficits des processus cognitifs sous-jacents devrait permettre de typer des dyslexies phonologiques et/ou visuo-attentionnelles (Valdois et al., 2003). Le trouble phonologique est majoritairement associé à la dyslexie tandis que les troubles visuo-attentionnels sont moins souvent mis en évidence et très rarement isolés (Saksida et al., 2016; Ziegler, Perry, et al., 2014). En clinique, des déficits dans les deux types de processus sont fréquemment retrouvés. De plus, un lien de causalité univoque entre un déficit sous-jacent et une forme particulière de dyslexie est difficile à établir encore aujourd'hui (Zoubrinetzky et al., 2014). L'étiologie de la dyslexie reste potentiellement plurifactorielle (Casalis et al., 2019). Le modèle causal (Morton & Frith, 1995) semble donc le plus adapté pour décrire cette réalité et nous invite à évaluer les processus cognitifs sous-jacents à la lecture pour proposer un traitement adapté.

### 3 *Le processus intermodalitaire*

Le modèle développemental computationnel de l'apprentissage de la lecture a mis en évidence que plus le déficit initial est grand, qu'il soit visuel ou phonémique, plus la performance sera altérée (Ziegler, Perry, et al., 2014). Les enfants qui présentent une DD ne réussissent jamais à optimiser les associations graphème-phonème (Lachmann & van Leeuwen, 2014). La consolidation de la connaissance alphabétique dépend de la conscience phonologique, de la conscience orthographique et de la capacité à faire correspondre les graphèmes aux phonèmes (Vellutino et al., 2004). La réussite de l'apprentissage de la lecture dépendrait de la force des associations entre graphèmes et phonèmes dont la puissance dépend de la langue et des représentations phonémiques de l'apprenant lecteur (Sprenger-Charolles & Serniclaes, 2003).

Le processus intermodalitaire correspond à la généralisation et l'automatisation de l'association lettres/sons (Ehri et al., 2001). L'apprentissage de la CGP passe par un travail explicite qui renforce les connexions entre les structures concernées via la simultanéité répétée des associations (Tallal & Gaab, 2006). Or, un asynchronisme dans la mise en relation graphème-phonème a pu être mis en évidence chez l'adulte dyslexique, qui soutient l'hypothèse d'anomalies physiologiques telles que l'engagement initial de l'hémisphère droit dans les activités de lecture au lieu du gauche, ou l'altération des circuits neuronaux mis en jeu dans la lecture. Le traitement et l'intégration de l'information sont alors ralentis (Breznitz & Meyler, 2003). Plus récemment, un déficit de la fonction d'intégration intermodalitaire du cortex temporal supérieur gauche a été démontré. Cette région, chez l'adulte dyslexique, serait dans l'incapacité de traiter de manière spécifique la congruence entre une lettre et le phonème qui lui correspond et à rejeter comme non congruentes des paires où la lettre et le phonème ne correspondent pas (Blau et al., 2009). Le déficit d'intégration intermodalitaire se retrouve aussi chez des enfants de maternelle à risque de dyslexie, ce qui soutient l'hypothèse d'un processus sous-jacent. L'hypothèse intermodalitaire expliquerait donc à la fois le trouble de la lecture dès le début de l'apprentissage et le déficit persistant en fluence, notoire chez les dyslexiques (Blomert & Froyen, 2010).

D'autres auteurs soutiennent l'hypothèse intermodalitaire en tant que déficit d'automatisation des fonctions nécessaires à la lecture (Lachmann & van Leeuwen, 2014). Dans leur modèle d'apprentissage de la lecture, les dysfonctions respectives de chacune des quatre étapes entraînent des manifestations symptomatiques caractéristiques des hypothèses causales de la DD. Une défaillance du premier niveau, celui du recrutement neuronal, cause un déficit de la perception visuelle et/ou auditive. Un dysfonctionnement du deuxième niveau, celui de la modification ou recyclage neuronal, engendre une incapacité à discriminer des figures symétriques ainsi que des déficits des compétences phonologiques et orthographiques. Une dysfonction du troisième niveau, celui de la coordination ou CGP, se manifeste par des déficits dans le décodage. Enfin, un déficit du dernier niveau, celui de l'automatisation, cause asynchronisme et dysconnexion, conformément à l'hypothèse intermodalitaire.

## CHAPITRE 3

# LA REMEDIATION DE LA DYSLEXIE

### *1 Principes généraux et recommandations*

Les méta-analyses montrent que les entraînements les plus efficaces ne sont pas forcément les plus longs, mais ceux avec le protocole et l'évaluation la plus rigoureuse (Ehri et al., 2001), ou les programmes individualisés, construits à partir d'une évaluation complète, qui fait la part entre un déficit environnemental et un déficit cognitif (Galuschka et al., 2014; Suggate, 2016; Vellutino et al., 2004). Pour proposer un programme d'intervention adéquat, l'évaluation doit surtout se centrer sur le bilan des habiletés déficitaires plutôt que sur une typologie de la dyslexie à partir des deux voies de lecture (Desrochers & Stanké, 2017). Les prédicteurs les plus forts des futures capacités en lecture chez des enfants pré-lecteurs sont aussi des prédicteurs de la réponse au traitement (Peterson & Pennington, 2012). La réponse initiale du patient à l'intervention apportera le meilleur éclairage sur ses besoins rééducatifs à court, moyen ou long terme. Les bénéfices de la remédiation doivent donc être évalués très régulièrement pour adapter progressivement le plan de soins aux besoins du patient (Vellutino et al., 2004). Enfin, la précocité de l'intervention est souvent conseillée (par exemple, Torgesen et al., 1992; Vellutino & Scanlon, 2002).

L'étude du ressenti des adultes dyslexiques a permis de mettre en évidence que la rigidification des stratégies de compensation constitue un véritable handicap causant contresens, lenteur, fatigue et renoncement (Raynaud, 2017). La faveur est donc donnée à une visée curative de la prise en soins qui agit sur les facteurs causaux plutôt qu'à une approche compensatrice qui agit sur les troubles comportementaux (Casalis et al., 2019). Plusieurs méta-analyses rappellent qu'un traitement est plus efficace lorsqu'il cible les entraînements et les limite au maximum à deux par séance (Ehri et al., 2001; Galuschka et al., 2014; Suggate, 2016). Un entraînement ciblé sur un déficit sous-jacent apporte des réponses rapides et durables (Magnan & Ecalle, 2017). L'entraînement d'un processus cognitif sous-jacent améliore l'efficacité ultérieure de ce processus et a des effets de généralisation sur la procédure de lecture correspondant au processus visé, voire même sur d'autres processus cognitifs sous-jacents (Zoubinetzky et al., 2019).

Plusieurs publications montrent l'efficacité des méthodes de rééducation intensive et quotidienne sur les compétences en lecture et leurs effets sur les activités corticales des réseaux neuronaux impliqués (INSERM, 2007). Les études confirment la nécessité du caractère intensif de la remédiation pour

mobiliser des fonctions cognitives déficitaires (Torgesen et al., 2001; Vellutino et al., 2004), avec des effets sur le long terme et de généralisation. Pour maintenir la fréquence des entraînements et l'implication parentale, l'intérêt de développer des entraînements à domicile a été démontré (McArthur et al., 2015). L'utilisation d'outils standardisés apparaît nécessaire, en recherche comme en pratique clinique, pour contrôler la qualité et la quantité des informations adressées. Le recours aux supports informatisés présente de nombreux avantages. La complexité des exercices est progressive, les exercices s'adaptent même parfois à chaque cas en fonction de l'âge ou de la sévérité des déficits (INSERM, 2007). Le caractère ludique est motivant pour l'enfant. La possibilité de présentation multimodale des stimuli renforce l'attention. La neutralité de l'appareil face aux réponses de l'enfant facilite la correction des erreurs ou encore la reproductibilité des exercices (Cara & Plaza, 2010). Les enfants maîtrisent le support multimédia sans nécessité d'apprentissage.

## 2 *L'entraînement intermodalitaire*

Le processus intermodalitaire est le processus sous-jacent ciblé spécifiquement dans notre protocole. L'entraînement intermodalitaire vise le renforcement des associations lettre-son. Les interventions uniquement ciblées sur un traitement phonologique sans support écrit, avec ou sans renforcement sensoriel ou articulatoire, peuvent relever des gains sur ce qui a été entraîné, mais sans impact sur le développement de la CGP ni généralisation sur la lecture (Ehri et al., 2001; Suggate, 2016). Les entraînements à la conscience phonémique, intégrée dans la conscience phonologique, répondent d'autant mieux qu'ils sont associés à un enseignement explicite de la CGP (Alegria & Morais, 1979; Content et al., 1986). Pour optimiser les effets du travail métaphonologique sur l'acquisition de la lecture, il faut utiliser des exercices associant la décomposition orale et la décomposition écrite (Ehri et al., 2001).

L'enseignement de la CGP est très bénéfique pour tous les enfants, tant dans l'activité de décodage qu'en compréhension écrite, surtout s'il est mené précocement et particulièrement chez les enfants à risque d'apprentissage (Braibant & Gerard, 1996). Les études sur la validation du logiciel Play-On ont relevé une amélioration du décodage (mots cibles et homophones) chez des enfants à risque de dyslexie de fin de maternelle et des enfants dyslexiques âgés de 8 ans 4 à 12 ans 10 (Magnan et al., 2004; Magnan & Ecalle, 2006). Ces résultats suggèrent l'intérêt d'un entraînement purement audio-visuel, en faveur d'une hypothèse intermodalitaire.

Hors stimuli linguistiques, la remédiation intermodalitaire a fait l'objet d'une étude finlandaise en 2001 sur des enfants dyslexiques âgés d'environ 7a (Kujala et al., 2001). L'entraînement consistait à associer des patterns musicaux à leurs représentations graphiques. L'entraînement a eu un effet significatif sur

les performances en vitesse et précision de lecture de mots courts. De plus, les seuils de détection de différence entre deux stimuli (négativité de discordance) ont été abaissés et l'amplitude des potentiels évoqués auditifs a augmenté, suggérant une modification des réseaux neuronaux de la discrimination auditive. Un entraînement du processus intermodalitaire pourrait donc avoir des effets bénéfiques sur les autres processus sous-jacents à la lecture.

### 3 *Graphogame (GG)*

GG (Richardson & Lyytinen, 2014; Ruiz et al., 2017) est un serious game conçu pour automatiser le décodage. L'objectif de GG est de faciliter le décodage à travers l'apprentissage et le renforcement des connexions les plus fréquentes et consistantes entre lettres et sons. Une lettre ou plusieurs sont affichées à l'écran en même temps qu'une stimulation sonore est produite, constituée de segments de parole. Les unités présentées sont des phonèmes, des syllabes et des mots. L'enfant doit appairer un élément visuel au segment sonore, avec ou sans contrainte de temps. La qualité des sons diffusés est spécialement contrôlée pour permettre à l'apprenant de développer ses compétences de perception catégorielle et ses représentations phonologiques. Les items sont répétés massivement pour renforcer l'automatisation de la CGP. Le jeu fournit immédiatement un feed-back, félicitant en cas de réponse correcte et guidant l'apprenant vers celle-ci en cas d'échec. L'enfant est récompensé régulièrement via, par exemple, la possibilité d'acheter des accessoires pour son avatar. Un algorithme calcule en permanence les performances de l'enfant, en précision et en vitesse, pour s'y adapter. Le jeu se compose d'une vingtaine de séquences qui se subdivisent en une dizaine de niveaux chacune. Le passage à un niveau supérieur est conditionné à un taux de réussite de 80%. Ces deux paramètres maintiennent la motivation de l'enfant grâce à l'équilibre entre réussite et défi. Les jeux et leurs environnements graphiques sont variés. L'enfant devra tour à tour identifier, rechercher, discriminer et construire en remettant dans l'ordre. La version française est construite sur une progression systématique qui prend en compte la fréquence des mots rencontrés à l'écrit, tout comme les caractéristiques de l'orthographe du français (graphèmes univalents ou contextuels). Les marques morphologiques écrites, muettes à l'oral, sont également entraînées. L'aspect sémantique aussi est pris en compte (Richardson & Lyytinen, 2014; Ruiz et al., 2017). Cet outil est à la base de notre protocole de remédiation.

GG a été créé en Finlande où il a d'abord été testé sur 25 enfants de CP à risque d'apprentissage du langage écrit, issus de classes moyennes (Saine et al., 2011). Les résultats montrent une augmentation significative des scores en reconnaissance de lettres pour les deux groupes entraînés comparativement au groupe contrôle, avec une progression plus importante pour le groupe entraîné sur GG. En vitesse

et précision de lecture, le groupe GG a respectivement égalé et surpassé les performances du groupe contrôle à 12 et 16 mois après l'arrêt de l'entraînement, contrairement au groupe entraîné sans logiciel (RRI). En orthographe, les performances des deux groupes entraînés ont augmenté significativement plus que celles du groupe contrôle 12 mois après l'arrêt de l'entraînement, et de manière plus rapide pour le groupe GG que pour le groupe RRI. 16 mois après l'arrêt de l'entraînement, le groupe GG a eu des performances comparables à celles du groupe contrôle tandis que le groupe RRI n'a plus progressé. Il est important de noter que 8% des enfants du groupe GG sont restés en-dessous du percentile 10 dans des tâches de reconnaissance des lettres, d'orthographe et de précision en lecture, et 12% en vitesse de lecture.

GG a plus tard été testé en Angleterre, sur des enfants scolarisés en CE1 et déclarés en difficulté de lecture par leurs enseignants (Kyle et al., 2013). Contrairement au finnois, l'anglais est une langue opaque. Deux versions différentes du logiciel ont été utilisées. Une version, proposée à 10 enfants, portait sur l'apprentissage de la CGP (GG-P). L'autre version, proposée à 11 enfants, portait sur les unités orthographiques constitutives de la rime (GG-R). La vitesse et la précision en lecture ont été mesurées ainsi que l'orthographe et la conscience phonémique. L'analyse statistique des résultats relève des effets significatifs de l'entraînement sur toutes les performances pour les deux versions du logiciel, avec une taille de l'effet toujours plus importante pour le groupe GG-R, sauf pour la suppression de phonème. La taille de l'effet du maintien des gains à long terme est grande en orthographe, petite ou moyenne dans les autres domaines mais inexistante en lecture de non-mots. Les écarts types notés dans les résultats laissent supposer que les enfants n'ont pas tous progressé de manière significative, mais la proportion d'enfants n'ayant pas tiré profit de l'entraînement n'est pas précisée.

En France, GG a été testé sur 34 enfants de CP et 35 enfants de CE1 signalés par leurs enseignants comme étant à risque de dyslexie et répartis en deux groupes (Ruiz et al., 2017). Le groupe 1 s'entraînait sur GG pendant que le groupe 2 allait en Activités Pédagogiques Complémentaires (APC, CP) ou s'entraînait sur un logiciel de mathématiques (CE1). Au bout de cinq semaines, les groupes étaient inversés. Les performances des élèves de CP ont augmenté de manière significative à la fois en précision et vitesse de lecture. Pour les mots familiers, la progression est statistiquement reliée à un effet de l'entraînement sur GG, contrairement à l'amélioration des performances en lecture de pseudomots. Les performances en lecture des élèves de CE1 ont augmenté de manière significative, en précision et en vitesse. L'amélioration de la vitesse est statistiquement reliée à un effet de l'entraînement sur GG, contrairement à l'amélioration de la précision. Les résultats ne donnent pas de

précision sur la proportion d'enfants pour qui l'entraînement n'aurait pas été significativement bénéfique. Aucune étude n'a jamais cherché à démontrer l'efficacité d'un entraînement sur GG chez des enfants francophones souffrant de DD.

# PARTIE PRATIQUE

## *1 Problématique et objectifs*

L'évaluation d'un trouble spécifique du langage écrit ne peut se contenter d'une analyse des troubles comportementaux en lecture et en orthographe. En effet, l'hétérogénéité des profils de dyslexie conduit à postuler qu'une classification par voie de lecture n'est pas suffisante. L'évaluation complémentaire des processus cognitifs sous-jacents, phonologiques et visuo-attentionnels, est nécessaire pour établir les causes du trouble et proposer une remédiation spécifique. Le projet de recherche de Madame Harrar-Eskinazi se propose d'évaluer l'efficacité d'une approche remédiative adaptée au profil cognitif de chaque enfant et combinant l'entraînement des trois types de processus sous-jacents. Nous nous inscrivons dans ce cadre en tant qu'étude préliminaire ciblée sur le processus intermodalitaire. Ne disposant pas à ce jour d'outil clinique qui permette d'évaluer l'efficacité de ce processus, nous postulons que si au moins un processus phonologique et un processus visuo-attentionnel sont déficitaires, alors le processus intermodalitaire l'est aussi puisque l'automatisation de l'utilisation coordonnée des deux précédents est impossible.

Cette étude prospective préliminaire a pour objectif principal de comparer les performances en lecture de texte et de mots après un entraînement intermodalitaire spécifique et intensif versus une intervention non spécifique et non intensive chez des enfants âgés de 8 à 11 ans diagnostiqués dyslexiques. L'hypothèse principale est que l'intensité de la remédiation favorise l'automatisation des processus. Le caractère intensif de l'entraînement permet ainsi des gains significatifs en précision et en vitesse de lecture. Le critère de mesure pour la lecture de texte est le nombre de mots correctement lus dans un texte non contextualisé en trois minutes (test de l'Alouette, Lefavrais, 1967, 2005 et Delta Text), et un texte sémantisé en deux minutes (Evaléo, Launay et al., 2015). Les critères de mesure pour la lecture de mots sont la précision et la vitesse d'identification de mots réguliers, irréguliers et pseudomots.

Le premier objectif secondaire est la comparaison de l'efficacité des processus sous-jacents à la lecture, phonologiques et visuo-attentionnels après un entraînement intermodalitaire intensif versus une intervention non spécifique et non intensive. L'hypothèse est que la spécificité de l'entraînement permet l'amélioration du processus sous-jacent visé et la généralisation aux autres processus sous-jacents. Les critères de mesure des compétences phonologiques sont les performances en conscience phonémique (nombre d'erreurs et temps dans des tâches d'élimination du phonème initial), en mémoire à court terme phonologique (empan et temps de répétition de pseudomots) et en dénomination rapide automatisée (temps). Les critères de mesure des compétences visuo-attentionnelles sont l'empan

visuo-attentionnel (report global et report partiel) et l'interférence de la focalisation attentionnelle globale sur le traitement local et inversement (asymétrie d'erreurs et asymétrie de temps).

Le deuxième objectif secondaire est la comparaison des performances en compréhension en lecture de phrases après un entraînement intermodalitaire intensif versus une intervention non spécifique et non intensive. L'hypothèse est que l'augmentation de la vitesse en lecture devrait améliorer les performances en compréhension écrite. Le critère de mesure est le nombre de phrases correctement complétées dans une épreuve à choix multiples (test L3, Lobrot, 1980).

## 2 *Méthodologie*

### 2.1 Echantillon

Les patients ont été recrutés dans les cabinets d'orthophonistes libérales des communes de Besse-sur-Issole, Le Cannet des Maures et Mouans-Sartoux.

Les critères d'inclusion étaient les suivants :

- Enfant âgé de 8 à 11 ans
- Diagnostic de dyslexie
- Performances pathologiques en leximétrie et dans au moins une épreuve phonologique et une épreuve visuo-attentionnelle, en précision ou en vitesse, lors de la visite d'inclusion (évaluation initiale, T0).
- Consentements éclairés signés par les enfants et au moins un de leurs parents.

Les critères de non-inclusion étaient :

- Diagnostic de trouble développemental du langage oral
- Diagnostic de trouble de l'attention avec ou sans hyperactivité
- Diagnostic de trouble du spectre autistique
- Déficience intellectuelle
- Entraînement quotidien réalisé auparavant et ciblé sur un processus sous-jacent (phonologique, visuo-attentionnel ou intermodalitaire)

Dix patients ont été évalués à T0, deux patients ont été exclus au cours de l'étude, un par retrait du consentement de participation et une par non-présentation à l'évaluation finale (T2). Un total de 8 patients constitue donc notre échantillon (Annexe 1 : détail des données individuelles).

## 2.2 Déroulement de l'étude

Cette étude bénéficie de l'autorisation émise par le Comité de Protection des Personnes Ile de France IV, obtenue le 16 juillet 2019, dans le cadre du projet de recherche de Madame Harrar-Eskinazi.

### 2.2.1 Temporalité

L'étude s'articule autour de trois temps d'évaluation. T0 correspond à l'évaluation initiale pour l'inclusion des enfants. T1 correspond à l'évaluation intermédiaire, après huit semaines de scolarité normale et de séances hebdomadaires de trente minutes de rééducation orthophonique. Aucun entraînement n'a dû être donné dans les mois précédant l'expérimentation ni pendant cette période du protocole. T2 correspond à l'évaluation finale, après huit semaines d'entraînement intermodalitaire, à raison de cinq sessions de quinze minutes par semaine, en plus d'une scolarité normale et de séances hebdomadaires de trente minutes de rééducation orthophonique. Le contenu des séances d'orthophonie n'est jamais contrôlé.

<b>T0</b> <b>Visite</b> <b>d'inclusion</b>	Scolarité et orthophonie	<b>T1</b> <b>Evaluation</b> <b>intermédiaire</b>	Scolarité et orthophonie + <b>entraînement</b> <b>intermodalitaire</b>	<b>T2</b> <b>Evaluation</b> <b>finale</b>
--	-----------------------------	--	---	---

### 2.2.2 Epreuves d'évaluation

#### Leximétrie

Le texte non contextualisé est celui du test de l'Alouette (Lefavrais, 1967, 2005). L'enfant a pour consigne de lire le plus rapidement possible avec le moins d'erreurs possible dans un temps limité de 3 minutes. Les données récoltées donnent des indices sur la vitesse de lecture (nombre de mots lus) et la précision (nombre de mots corrects, nombre d'erreurs).

Les textes non sémantisés sont choisis parmi les Delta Text de Nathalie Bedoin. Les mots constitutifs des différents textes sont appariés en fréquence, longueur, complexité et nombre. Un Delta Text différent est choisi à chaque temps d'évaluation, pour contrôler un effet re-test (T0 : Delta Text 1 ; T1 : Delta Text 2 ; T2 : Delta Text 3). La consigne est de lire le plus rapidement possible avec le moins d'erreurs possible, un texte dont tous les mots existent mais sont rassemblés dans un texte qui n'a pas de sens, dans un temps limité de 3 minutes. Les données recueillies sont le nombre de mots lus et le nombre d'erreurs.

Les textes sémantisés sont issus de la batterie d'évaluation Evaléo (Launay et al., 2015). La consigne est de lire le plus rapidement possible avec le moins d'erreurs possible un texte qui a du sens dans un

temps limité de 2 minutes. A T0, les enfants ont lu « La Mouette », à T1 « Le Pingouin » et à T2 « La Mouette ». Les scores sont donnés en nombre de mots lus et nombre de mots corrects.

#### Identification de mots isolés

La batterie EVALEC (Sprenger-Charolles et al., 2010) propose des épreuves informatisées de lecture de mots appariés en longueur et fréquence. L'enfant doit lire à haute voix 36 mots réguliers (12 avec graphèmes simples, 12 avec digraphes et 12 avec graphies contextuelles) et 12 mots irréguliers, avant de lire 36 pseudomots appariés aux 36 mots réguliers précédents. Le temps n'est pas limité. Le logiciel mesure le temps de latence entre la présentation du mot à l'écran et son oralisation par l'individu ainsi que le nombre d'erreurs.

#### Processus sous-jacents phonologiques

Toutes les épreuves choisies sont issues de la batterie EVALEC (Sprenger-Charolles et al., 2010). La conscience phonémique est évaluée via une épreuve de suppression du phonème initial (SPI) dans des pseudomots monosyllabiques à structure consonne-voyelle-consonne (CVC) puis consonne-consonne-voyelle (CCV). Les données recueillies sont le nombre d'erreurs et le temps total de réalisation. La mémoire à court terme phonologique est évaluée via une épreuve de répétition de pseudomots (RPM), de longueur croissante de 3 à 6 syllabes. Les données recueillies sont l'empan phonologique et le temps total de réalisation. Enfin, la dénomination rapide automatisée (DRA) se fait sur reconnaissance des couleurs. L'enfant doit dénommer des rectangles de couleur, six par ligne sur huit lignes, le plus rapidement possible, sans se tromper, en avançant selon le sens de la lecture. Le temps est mesuré. Le temps n'est limité pour aucune de ces épreuves.

#### Processus sous-jacents visuo-attentionnels

Les capacités d'empan visuo-attentionnel (EVA) sont mesurées par la batterie informatisée EVADYS (Valdois et al., 2017). Le report global consiste à rappeler un maximum de lettres apparues à l'écran pendant 200 millisecondes. La tâche de report partiel demande le rappel de la seule lettre sous laquelle une barre est apparue (présentation de la séquence de lettres pendant 200 millisecondes, puis apparition de la barre durant 50 millisecondes).

La focalisation attentionnelle est évaluée par le test informatisé SIGL (Bedoin & Médina, 2014) qui mesure l'équilibre entre le traitement local et le traitement global via des dessins hiérarchisés présentés pendant 175ms. L'enfant donne sa réponse en appuyant sur la touche « lune » ou la touche « étoile » (des gommettes sont positionnées à cet effet sur le clavier de l'ordinateur). Le logiciel donne des valeurs pour les temps de réponse et le taux d'erreurs commises, ainsi que le calcul de l'asymétrie d'interférence entre les données issues du traitement local et les données issues du traitement global.

### Compréhension en lecture

Le test L3 (Lobrot, 1980) consiste en une épreuve de complétion de phrases à choix multiple. Chaque phrase est suivie de 5 mots parmi lesquels un doit être choisi. Le temps de passation est limité à 5 minutes. Le score est donné pour le nombre d'items réussis et le nombre d'erreurs.

#### 2.2.3 Phase d'entraînement

L'entraînement consiste à utiliser en autonomie la version française du logiciel GG (Richardson & Lyytinen, 2014; Ruiz et al., 2017) 15 minutes par jour, 5 fois par semaine, pendant 8 semaines, pour un total estimé à environ 10 heures d'entraînement. L'application présente des stimuli auditifs à associer à des stimuli visuels. La taille des unités varie depuis le phonème jusqu'à la phrase en passant par la syllabe et le mot. A l'écoute du stimulus, l'enfant doit choisir une des représentations visuelles au choix parmi celles proposées (de 2 à 4) ou ordonner les mots donnés pour reconstituer la phrase. Le but est d'automatiser le processus intermodalitaire en couplant le code orthographique au code phonologique. Les réponses du sujet sont enregistrées par le logiciel qui adapte le passage des niveaux en fonction du taux de réussite. La version 0.7.3 de 2016 utilisée pour notre protocole oblige les enfants à compléter les modules dans l'ordre, depuis le premier, même si leur niveau de lecture est supérieur. De plus, cette version ne comporte que 5 niveaux différents.

Certains enfants ont atteint la fin du programme avant la fin des huit semaines d'entraînement. Un entraînement à la mémoire orthographique, ciblant les digraphes non acquis, leur a alors été proposé (Leloup et al., En cours de soumission). Les erreurs en lecture de texte, en lecture de mots et en écriture sous dictée sont répertoriées pour chaque individu. Des diaporamas adaptés sont ainsi constitués, comprenant trois phases. Le premier temps du diaporama propose la lecture à haute voix de 20 mots contenant le digraphe cible. Les mots inconnus doivent être explicités. La copie différée de certains mots ou tous, selon la rapidité de l'enfant, constitue le deuxième temps. Enfin, une lecture à haute voix de la même liste de 20 mots, présentée dans un ordre différent pour éviter un effet de mémoire, clôture la session d'entraînement. Les mots sont sélectionnés via Manulex (Lété et al., 2004), selon des critères de fréquence combinés au niveau scolaire de l'enfant. La supervision des parents est nécessaire. L'entraînement dure 15 minutes. Un même diaporama est travaillé jusqu'à une réussite en lecture et copie différée de 80% pour s'assurer de l'apprentissage de la graphie.

### 3 Résultats

Malgré le nombre restreint de participants à l'étude, il a été décidé de pratiquer le test statistique des rangs signés de Wilcoxon pour vérifier la significativité de l'évolution des performances décrite précédemment. Le test de Wilcoxon est un test non-paramétrique, de comparaison de moyennes de groupes appariés. La grande quantité de données recueillies lors des évaluations nous a conduit à sélectionner un nombre réduit d'indicateurs à analyser, pour limiter le risque de fausse significativité des tests appliqués. Nous avons sélectionné des indicateurs des trois grands domaines évalués par notre protocole : lecture, processus phonologiques et visuo-attentionnels, compréhension écrite. Les résultats sont considérés comme significatifs si  $p < 0,05$ . Nous avons indiqué la taille de l'effet (d de Cohen) pour les valeurs statistiquement significatives. Elle est caractérisée comme faible à 0,1, moyenne à partir de 0,3 et forte à partir de 0,7. Quand les valeurs étaient significatives, nous avons également appliqué le test des rangs signés de Wilcoxon pour vérifier la significativité de la différence de gain avec et sans entraînement ((T2-T1)-(T1-T0)).

#### 3.1 Données issues des évaluations

Compte tenu du nombre important de données récoltées lors de l'expérimentation, nous choisissons de présenter les moyennes des scores du groupe aux trois temps de l'évaluation, accompagnées des écarts types, notes minimales et maximales correspondants (Tableau 1). Une tendance d'évolution se dessine sur le groupe à travers l'étude des moyennes. Toutefois, comme l'indiquent certaines notes minimales et maximales ou certains écarts types, les scores varient sensiblement d'un enfant à l'autre (Annexe 2 : différences des scores T1-T0 et T2-T1 par enfant pour chaque mesure)

##### - Lecture de texte : nombre de mots correctement lus

La moyenne des performances s'améliore progressivement pour tout type de texte, en précision et en vitesse, malgré les variations interindividuelles visibles sur la figure 1.

Figure 1 : évolution des performances individuelles en lecture de texte T0-T1-T2 (nombre de mots correctement lus)

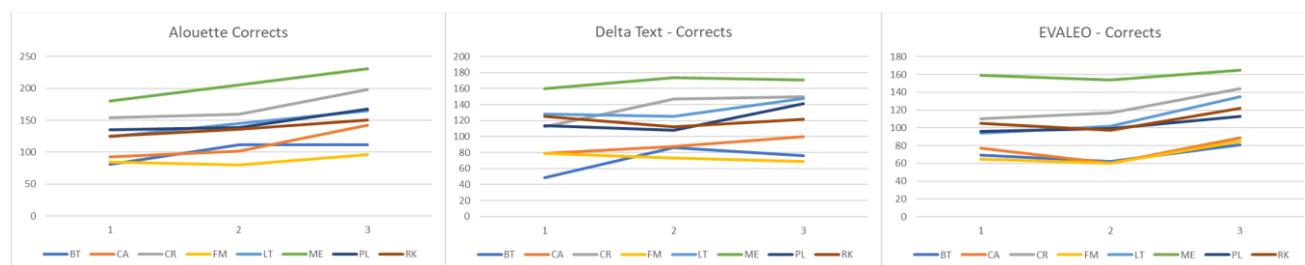


Tableau 1 : domaines évalués, données recueillies, temps d'évaluation ; moyenne (écart type) – minimum/maximum

		T0		T1		D1	T2		D2
		M (ét)	Min/Max	M (ét)	Min/Max		M (ét)	Min/Max	
<b>LECTURE DE TEXTE</b>	<b>ALOUETTE</b>	141,75 (30,93)	100/197	157,25 (34,31)	99/225	-0,47	176,25 (39,78)	112/242	- 0,51
	-Lus								
	-Corrects	122,12 (32,52)	81/180	135 (36,1)	80/206	-0,37	157,87 (40,84)	96/231	- 0,59
	-Erreurs	19,62 (2,91)	15/25	22,25 (6,24)	15/35	0,54	18,37 (6,78)	11/28	0,59
	<b>D T</b>	123,37 (35,99)	57/177	128,25 (32,98)	88/192	-0,14	136,25 (29,56)	87/176	- 0,22
	-Lus								
	-Corrects	105,75 (32,72)	49/160	114,12 (31,6)	73/174	-0,26	122,12 (34,7)	69/171	- 0,24
-Erreurs	17,62 (7,16)	7/27	14,12 (6,11)	5/26	0,52	14,12 (7,51)	5/29	0	
<b>LECTURE DE MOTS</b>	<b>EVALÉO</b>	107,37 (29,17)	74/172	103 (30,66)	68/165	0,01	126,12 (28,78)	87/174	- 0,78
	-Lus								
	-Corrects	96,87 (28,05)	65/159	93,87 (30,75)	60/154	0,1	116,75 (28,51)	81/165	- 0,77
	<b>MR</b>	6,5 (4,03)	3/14	5,12 (4,46)	1/13	0,32	2,62 (2,06)	0/6	0,72
	-Erreurs								
	-Temps	999 (256,79)	549/1325	1120,62 (414,91)	688/1976	-0,35	1196,25 (439,53)	717/2249	- 0,18
	<b>MI</b>	3,87 (1,36)	2/6	3,5 (2,4)	1/8	0,19	2,75 (2,28)	0/7	0,32
-Erreurs									
-Temps	1105,62 (532,95)	503/1990	1156,75 (511,13)	552/2285	-0,1	1188,37 (270,31)	777/1530	- 0,08	
<b>C° ECRITE</b>	<b>PM</b>	18,75 (4,68)	13/29	18,25 (5,04)	8/24	0,1	11,5 (3,77)	6/19	1,52
	-Erreurs								
	-Temps	2030,75 (582,73)	1336/3101	1918 (820,41)	1309/3947	0,16	1947,5 (737,56)	1116/3718	- 0,04
	-Corrects	11,5 (4,9)	5/21	14,12 (5,32)	7/23	-0,51	17,25 (4,57)	10/24	- 0,63
	-Erreurs	2,37 (1,87)	0/5	1,37 (0,99)	0/3	0,67	2,5 (1,5)	1/5	- 0,89
	<b>SPI CVC</b>	2,12 (1,61)	0/4	0,87 (1,05)	0/3	0,92	0,75 (0,66)	0/2	0,14
	-Erreurs								
-Temps	38,76 (5,72)	27,38/45,03	28,34 (7,44)	18,32/42,15	1,57	22,45 (7,52)	14,57/37,66	0,79	
<b>PHONOLOGIE</b>	<b>SPI CCV</b>	5,87 (2,67)	3/11	3,75 (1,71)	1/7	0,94	4 (2,18)	1/8	- 0,13
	-Erreurs								
	-Temps	48,54 (10,72)	34,02/64,44	38,83 (8,6)	22,6/49,09	1	32,71 (6,57)	23,62/41,49	0,8
	<b>RPM</b>	3 (1,32)	0/5	4,37 (0,48)	4/5	-1,38	3,5 (1,5)	0/5	0,78
	-Empan								
	-Temps	76,69 (17,38)	54,14/98,01	62,09 (13,92)	49,3/93,73	0,93	65,84 (18,56)	49,88/109,95	- 0,23
	<b>DRA</b>	62,97 (14,51)	45,21/85,95	56,26 (7,02)	47,9/69,93	0,59	53,12 (7,3)	43,65/64,82	0,44
-Temps									
<b>VISUO-ATTENTIONNEL</b>	<b>EVA</b>	65,87 (7,96)	56/81	72,75 (7,9)	62/84	-0,86	72,25 (11,33)	50/88	0,05
	-RG								
	-RP	39,25 (8,03)	22/48	39,87 (9,14)	22/50	-0,07	42,12 (6,95)	25/48	- 0,28
	<b>Asymétrie L/G</b>	0 (0,07)	-0,12/0,09	0 (0,06)	-0,12/0,07	-0,04	0,06 (0,08)	-0,05/0,18	- 0,79
	-Erreurs								
	-Temps	-60,34 (35,78)	-285,24/ 112,06	-77,13 (137,35)	-363,02/ 92,74	0,17	-10,79 (129,23)	-262,7/ 163,31	- 0,5

**Note :** D1 = d de Cohen (taille d'effet T1-T0) – D2 = d de Cohen (taille d'effet T2-T1) – M = Moyenne – ét = écart type – Min/Max = Minimum / Maximum – DT = Delta Text – MR = Mots Réguliers – MI = Mots Irréguliers – PM = Pseudomots – C° = Compréhension – SPI = Suppression du Phonème Initial – CVC = Consonne-Voyelle-Consonne – CCV = Consonne-Consonne-Voyelle – RPM = Répétition de PseudoMots – DRA = Dénomination Rapide Automatisée – EVA = Empan Visuo-Attentionnel – RG = Report Global – RP = Report Partiel – L/G = Local / Global

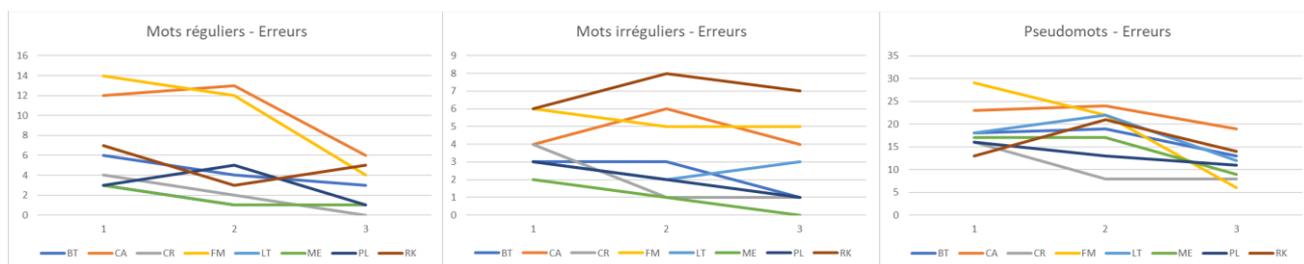
Les résultats ne montrent pas de différence significative sur les performances aux Delta Text. Au test de l'Alouette, une différence significative est relevée entre T0 (m=122,12 ; ET=32,52) et T1 (m=135 ;

ET=36,1) ;  $Z_{(6)}=-2,24$ ,  $p<0,05$ , avec une taille d'effet moyenne :  $d=-0,37$  ainsi qu'entre T1 et T2 ( $m=157,87$  ; ET=40,84) ;  $Z_{(6)}=-2,366$ ,  $p<0,05$ , avec une taille d'effet moyenne :  $d=-0,59$ , sans effet spécifique de l'entraînement. Sur les tests de lecture de texte d'Evaléo, les résultats ne montrent pas de différence significative entre T0 et T1 mais montrent une différence significative entre T1 ( $m=93,87$  ; ET=30,75) et T2 ( $m=116,75$  ; ET=28,51) ;  $Z_{(6)}=-2,524$ ,  $p<0,05$ , avec une taille d'effet forte :  $d=-0,77$ . De plus, ces résultats montrent un effet significatif de l'entraînement  $Z_{(6)}=-2,521$ ,  $p<0,05$ .

- Lecture de mots : nombre d'erreurs

La tendance générale est à la diminution du nombre d'erreurs pour tout type de mots. Mais là encore, des dissociations inter-individuelles sont observables (Figure 2).

Figure 2 : évolution des performances individuelles en lecture de mots T0-T1-T2 (nombre d'erreurs)



Les résultats ne montrent pas de différence significative sur les performances en lecture de mots réguliers et irréguliers. En lecture de pseudomots, les résultats ne montrent pas de différence significative entre T0 et T1 mais montrent une différence significative entre T1 ( $m=18,25$  ; ET=5,04) et T2 ( $m=11,5$  ; ET=3,77) ;  $Z_{(6)}=-2,366$ ,  $p<0,05$ , avec une taille d'effet forte :  $d=-1,52$ , avec une tendance à la significativité statistique du bénéfice de l'entraînement  $Z_{(6)}=-1,752$ ,  $p=0,08$ .

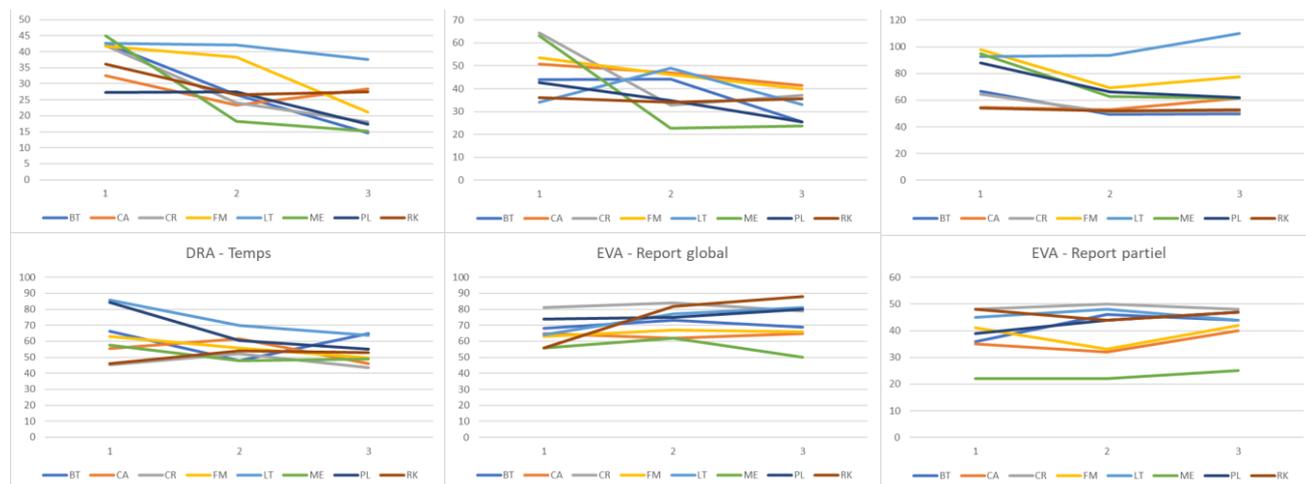
- Processus sous-jacents phonologiques et visuo-attentionnels

La même variabilité dans l'évolution des performances inter-individuelles s'observe dans les épreuves évaluant l'efficacité des processus sous-jacents (Figure 3). Pour les épreuves phonologiques, les courbes des performances en vitesse montrent que les participants ont tous évolué différemment tant sur les tâches de conscience phonologique, qu'en répétition de pseudomots ou en dénomination rapide automatisée.

La seule différence significative relevée concerne le temps nécessaire à la réalisation de la tâche de suppression du phonème initial sur des syllabes de structure consonne-voyelle-consonne entre T0 ( $m=38,76$  ; ET=5,72) et T1 ( $m=28,34$  ; ET=7,44) ;  $Z_{(6)}=-2,38$ ,  $p<0,05$ , avec une taille d'effet forte :

$d=-1,57$ . Les résultats montrent une différence proche de la significativité entre T1 et T2 ( $m=22,45$  ;  $ET=7,52$ ) ;  $Z_{(6)}=-1,82$ ,  $p=0.069$ , avec une taille d'effet forte :  $d=-0,79$ , sans effet significatif de l'entraînement.

**Figure 3 : évolution des performances individuelles T0-T1-T2 dans les processus sous-jacents phonologiques (temps) et visuo-attentionnels (EVA) T0-T1-T2**

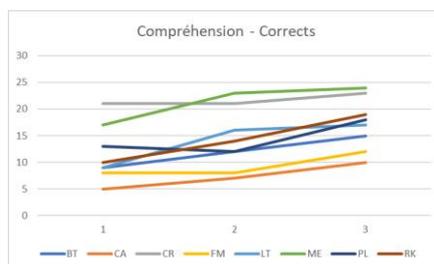


**Note :** SPI CVC = Suppression du Phonème Initial, syllabe de structure Consonne-Voyelle-Consonne ; CCV = Consonne-Consonne-Voyelle ; RPM = Répétition de Pseudomots ; DRA = Dénomination Rapide Automatisée ; EVA = Empan Visuo-Attentionnel

Dans les tâches d'empan visuo-attentionnel, et bien que les performances inter-individuelles soient plus homogènes dans la tâche de report global, les courbes d'évolution montrent également une grande hétérogénéité inter-individuelle (Figure 3). Aucun gain significatif n'est relevé.

#### - Compréhension en lecture de phrases

**Figure 4 : évolution des performances individuelles en compréhension en lecture de phrases T0-T1-T2 (items corrects)**



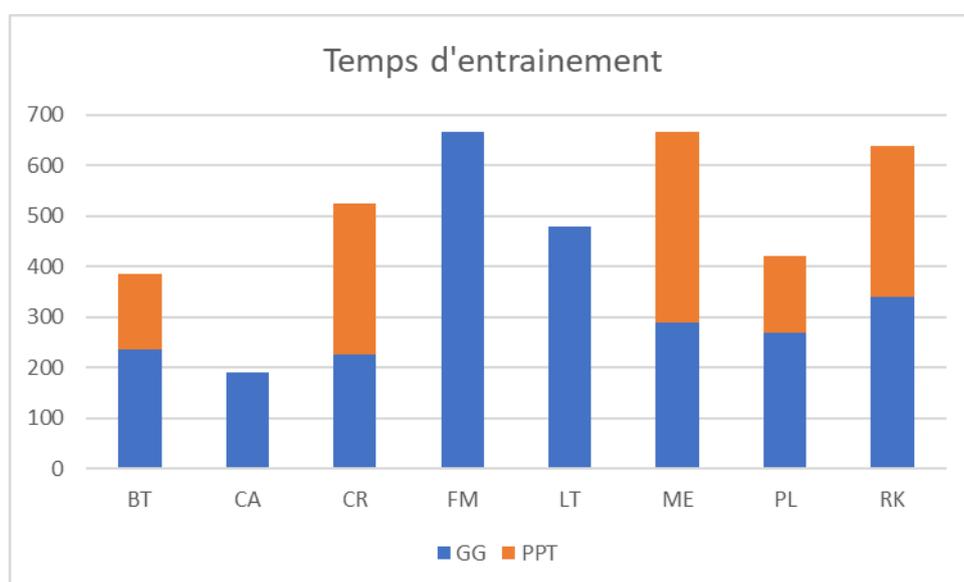
L'évolution inter-individuelle est plus homogène que dans les autres épreuves (Figure 4). En effet, malgré des performances individuelles très variées et une évolution entre T0 et T1 différente selon les cas, tous les participants ont vu leur score augmenter en nombre de phrases correctement complétées entre T1 et T2 et entre T0 et T2. De plus, les résultats montrent une différence significative entre le nombre d'items corrects à T0 ( $m=11,5$  ;  $ET=4,9$ ) et T1 ( $m=14,12$  ;  $ET=5,32$ ) ;  $Z_{(6)}=-1,992$ ,  $p<0,05$ ,

avec une taille d'effet moyenne :  $d=-0,51$ , ainsi qu'entre T1 et T2 ( $m=17,25$  ;  $ET=4,57$ ) ;  $Z_{(6)}=-2,527$ ,  $p<0,05$ , avec une taille d'effet moyenne :  $d=-0,63$ , mais sans effet significatif de l'entraînement.

### 3.2 Temps d'entraînement

Le temps d'entraînement effectué sur GG est donné par le logiciel. Ce cumul est relevé soit au terme des 8 semaines d'entraînement prévues, soit quand l'enfant a terminé le dernier exercice de l'application (Figure 5, barres bleues). Le cumul du temps d'entraînement à la mémoire orthographique

Figure 5 : temps d'entraînement cumulé en minutes pour chaque participant



Note : GG = Graphogame – PPT = entraînement à la mémoire orthographique

est calculé sur la base de 15 minutes par session, cinq fois par semaine. Le total hebdomadaire est donc de 75 minutes (Figure 5, barres orange).

La moyenne du temps d'entraînement sur GG est de 337 minutes avec un écart type de 160 minutes. Le temps minimum d'entraînement est de 190 minutes, le temps maximum de 665 minutes. Le temps d'entraînement est donné par le logiciel lui-même, qui ne tient compte que des intervalles réels d'exposition au contenu éducatif, à l'exclusion des moments de navigation d'un niveau à l'autre. Cinq participants ont atteint et validé le dernier niveau du logiciel dans l'intervalle des 8 semaines d'entraînement. Deux ont atteint l'avant-dernier module d'entraînement et un participant n'a pas dépassé le module 2.1.

La moyenne du cumul de temps d'entraînement total est de 496 minutes avec un écart type de 165 minutes. Le cumul minimum est de 190 minutes et le cumul maximum de 665 minutes.

## DISCUSSION

La nécessité de proposer des entraînements intensifs et ciblés pour une remédiation efficace fait aujourd'hui consensus dans la littérature (INSERM, 2007). Nous avons ici décidé d'évaluer l'efficacité d'un tel entraînement pour la pratique clinique. Notre étude se limite aux entraînements intermodalitaires issus du protocole de recherche de Madame Harrar-Eskinazi. Si le processus intermodalitaire est bien décrit dans la littérature (Blau et al., 2009; Blomert, 2011; Lachmann & van Leeuwen, 2014), les outils d'évaluation clinique sont à ce jour inexistant, et les outils de rééducation peu nombreux. Les résultats issus de la littérature scientifique sur l'amélioration des performances en lecture à la suite d'un entraînement sur le logiciel Graphogame (GG) sont très encourageants (par exemple, Ruiz et al., 2017; Saine et al., 2011). Nous avons souhaité évaluer l'impact de cet entraînement sur les performances d'enfants dyslexiques français âgés de 8 à 11 ans, d'abord en précision et vitesse de lecture, puis dans l'efficacité des processus sous-jacents à la lecture et enfin en compréhension de phrases.

Notre objectif principal est de comparer les performances en lecture de texte et de mots après un entraînement intermodalitaire spécifique et intensif versus une intervention non spécifique et non intensive. Nos résultats montrent que tous les indicateurs de performances progressent en lecture de texte, pour tout type de texte. L'amélioration est significative dans les performances au test de l'Alouette (Lefavrais, 1967, 2005), avec une taille d'effet moyenne. Nos résultats montrent également une différence significative dans les performances en lecture de texte sémantisé (Evaléo, Launay et al., 2015), avec une taille d'effet forte. De plus, les gains en lecture de texte sémantisé sont statistiquement attribuables au bénéfice de l'entraînement. En revanche, aucune significativité n'est retrouvée pour l'amélioration des performances sur la lecture des Delta Text.

Conformément à la littérature, l'intensité de la remédiation favorise l'automatisation des processus sous-jacents et l'amélioration des performances en lecture (INSERM, 2007; Torgesen et al., 2001; Vellutino et al., 2004), même sur une courte période d'entraînement (Ehri et al., 2001). Nos résultats sont en accord avec l'étude de Ruiz et al. (2017) qui a relevé des gains significatifs en précision et vitesse de lecture au test de l'Alouette (Lefavrais, 1967, 2005) chez des enfants de CE1 à risque d'apprentissage du langage écrit, avec un effet spécifique de l'entraînement sur la vitesse de lecture. Les dissociations inter-individuelles observées sur notre échantillon peuvent s'expliquer par des gains plus marqués chez les enfants avec un haut potentiel intellectuel (CR, PL). Le cumul de temps

d'entraînement n'est pas un indicateur à corrélérer aux bénéfices observés (Clark et al., 2016; McTigue et al., 2020). Les bénéfices de l'entraînement sur GG sont mieux corrélés à l'exposition à des niveaux différents, au plus haut niveau atteint, au nombre d'items auxquels l'enfant a été exposé et au nombre total de réponses données par l'enfant (Borleffs et al., 2018). L'analyse des cas particuliers de notre échantillon n'est pas congruente avec ces données, notamment pour FM qui a le temps total d'entraînement au logiciel le plus élevé et un niveau d'exposition au logiciel correct presque complet mais une progression minimale de l'âge lexique. Parmi les nombreuses études menées sur l'efficacité d'un entraînement sur GG, peu mentionnent la proportion d'enfants pour qui l'entraînement n'a pas été bénéfique. Les études qui le font rapportent des taux d'échec allant de 4 à 19% (Borleffs et al., 2018; Saine et al., 2011). Nous savons que la prévalence de la DD est estimée à environ 3 à 5% de la population (INSERM, 2007), ce qui signifierait que le taux d'enfants résistants à l'intervention comprend les enfants dyslexiques recrutés dans les études. Il n'est donc pas étonnant que les résultats de notre étude soient souvent inférieurs aux résultats des études menées sur des enfants tout-venant ou à risque de DD.

En lecture de mots, le nombre d'erreurs diminue progressivement, conformément aux données de la littérature (Kyle et al., 2013; Ruiz et al., 2017; Sucena et al., 2016). Pour les mots réguliers et irréguliers, la progression est observable mais non significative, plus forte sur les mots réguliers que les mots irréguliers. Ces résultats sont à rapprocher des études sur la validation du logiciel Play-On. Ces dernières ont relevé une amélioration significative du décodage (mots cibles et homophones) chez des enfants dyslexiques âgés de 8 ans 4 à 12 ans 10 (Magnan et al., 2004; Magnan & Ecalle, 2006).

En lecture de pseudomots, nos résultats montrent une amélioration significative en précision entre l'évaluation intermédiaire (T1) et l'évaluation finale (T2), avec une taille d'effet forte et une tendance à la significativité de l'effet de l'entraînement. L'entraînement sur GG a donc des effets bénéfiques sur l'efficacité de la CGP. De plus, c'est la seule épreuve de lecture de mots où la vitesse d'identification s'améliore entre l'évaluation initiale (T0) et T2. Ces résultats sont en faveur d'une automatisation du processus de CGP. Ces gains spécifiques sont conformes aux résultats de la littérature (Borleffs et al., 2018; Ruiz et al., 2017; Sucena et al., 2016).

Le modèle connexionniste du développement de la lecture (Harm & Seidenberg, 1999, 2004) et le modèle multitraces (Ans et al., 1998) postulent que les traitements phonologiques et visuo-attentionnels doivent être entraînés simultanément pour améliorer l'efficacité de la lecture. Nos résultats vont dans ce sens et confirment que l'entraînement d'un processus cognitif sous-jacent a des effets de généralisation sur la procédure de lecture correspondant au processus visé (Zoubrinetzky et

al., 2019). Ainsi, l'entraînement à l'automatisation de la CGP via GG permet un décodage plus efficace (Jere-Folotiya et al., 2014) et améliore significativement la précision en lecture de pseudomots. La dissociation des performances entre lecture de mots réguliers et irréguliers va dans le sens de l'hypothèse du recodage phonologique qui postule que plusieurs décodages réussis d'un même mot sont nécessaires au stockage en mémoire orthographique (Share, 1995, 1999; Ziegler, Perry, et al., 2014). Zoubirnetzky et al., (2019) ont montré que l'entraînement de l'empan visuo-attentionnel améliorerait significativement la conscience phonémique chez des enfants dyslexiques âgés de 10 ans 7 en moyenne. Une généralisation à d'autres procédures de lecture que celle visée par l'amélioration du processus entraîné est donc possible, mais nos résultats ne le relèvent pas.

Notre premier objectif secondaire est de comparer l'efficacité des processus sous-jacents à la lecture après un entraînement intermodalitaire spécifique et intensif versus une intervention non spécifique et non intensive. Nous avons déjà évoqué l'absence d'outil clinique pour évaluer le processus intermodalitaire, nos résultats portent donc sur les processus phonologiques et visuo-attentionnels. Nous recherchons un effet de l'entraînement du processus intermodalitaire sur d'autres processus sous-jacents (Kujala et al., 2001). Nous observons une différence significative entre le temps nécessaire à la réalisation de la tâche de suppression de phonème initial dans des syllabes de structure consonne-voyelle-consonne à T0 et T1, avec une taille d'effet forte, ainsi qu'une différence proche de la significativité entre T1 et T2, avec une taille d'effet forte également, mais sans effet significatif de l'entraînement. Les performances aux activités de conscience phonémique sont fortement conditionnées par l'apprentissage de la tâche, d'où une amélioration globale très importante entre T0 et T1. La poursuite de la progression entre T1 et T2 montrerait un effet bénéfique de l'entraînement malgré l'absence de significativité statistique. L'évolution des autres indicateurs n'est pas statistiquement significative. Pourtant, la littérature relève des gains en conscience phonémique et en dénomination rapide automatisée (Borleffs et al., 2018; Kyle et al., 2013; Li et al., 2020; Rosas et al., 2017). La significativité de nos résultats augmenterait peut-être avec la taille de l'échantillon.

Les performances dans les processus sous-jacents visuo-attentionnels ne relèvent aucun effet significatif de l'entraînement malgré l'amélioration constante du score de report partiel d'empan visuo-attentionnel et la progression de l'asymétrie d'interférence du traitement local / global sur les temps de réponse. Nous en déduisons que l'entraînement du processus intermodalitaire ne permet pas de gain significatif sur les tâches mobilisant les processus visuo-attentionnels.

Notre deuxième objectif secondaire est de comparer les performances en compréhension en lecture de phrases après un entraînement intermodalitaire intensif versus une intervention non spécifique et non intensive. Les données scientifiques postulent que l'augmentation de la vitesse en lecture devrait améliorer les performances en compréhension écrite (Kim & Wagner, 2015). L'automatisation de la procédure de lecture allège le coût cognitif et permet la focalisation sur le sens de ce qui est lu (Share, 1995). Puisque les performances en lecture de texte se sont significativement améliorées, avec un effet spécifique de l'entraînement relevé en lecture de texte sémantisé, les performances à la complétion de phrases à choix multiple devraient également s'améliorer. Effectivement, nous relevons une différence significative entre le nombre d'items corrects à T0 et T1 et entre T1 et T2, avec une taille d'effet moyenne à chaque fois, bien que le gain ne soit statistiquement pas attribuable au bénéfice de l'entraînement. A notre connaissance, aucune étude n'a vérifié les gains en compréhension écrite à la suite d'une stimulation intermodalitaire. Notre étude apporte donc un éclairage nouveau sur les améliorations attendues à la suite d'un entraînement sur GG.

Plusieurs limites sont à relever dans cette étude. Notons tout d'abord que nous avons utilisé la version Graphogame 0.7.3 de 2016, seule disponible au moment où nous avons mené notre protocole. Depuis le mois de février, une version finalisée a été augmentée pour prolonger l'entraînement sur des niveaux de lecture supérieurs. Le nouveau développement du logiciel propose également de faire démarrer l'enfant à son niveau de lecture actuel. L'offre est donc plus précisément adaptée aux données récoltées lors de l'évaluation et accompagne les enfants plus longtemps. Ne disposant pas de cette version, nous avons dû compléter le protocole par un entraînement à la mémoire orthographique pour les enfants ayant atteint le dernier niveau de Graphogame avant la fin des 8 semaines. Lors d'investigations futures, la nouvelle version du logiciel devrait permettre son usage exclusif pour toute la durée d'entraînement prévue au protocole.

La petite taille de l'échantillon que nous présentons est une autre limite importante. La base de données de cette étude préliminaire devra être enrichie par l'inclusion future de nouveaux participants. La significativité de la valeur ajoutée de l'intervention n'a été calculée et présentée qu'à titre d'exploration et devrait être plus forte avec l'augmentation du nombre d'enfants.

Par suite d'une erreur de manipulation, les données de l'orthographe n'ont pas pu être exploitées. L'analyse complémentaire des performances en dictée de phrases après un entraînement intermodalitaire spécifique et intensif, versus une intervention non spécifique et non intensive, serait pertinente au vu des résultats de la littérature existante.

Une récente méta-analyse (McTigue et al., 2020) montre que les modèles d'intervention les plus bénéfiques sur la lecture sont ceux où le degré d'interaction adulte-enfant est le plus élevé. Or, notre protocole laissait l'enfant utiliser le logiciel GG en toute autonomie. Les gains observés auraient peut-être été meilleurs avec une présence adulte plus prégnante ou des encouragements plus fréquents et soutenus (Ecochard, 2015; Kyle et al., 2013).

Enfin, nous avons proposé l'entraînement intermodalitaire seul et en première intention de traitement. Le projet de recherche de Madame Harrar-Eskinazi, actuellement en cours, relèvera peut-être des bénéfices supérieurs de cet entraînement s'il intervient après la rééducation des processus sous-jacents phonologiques et visuo-attentionnels.

## CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Un entraînement intensif ciblé sur le processus intermodalitaire devrait améliorer les performances en lecture de texte et de mots, l'efficacité des processus sous-jacents à la lecture et les compétences en compréhension écrite. C'est de cette hypothèse qu'est né notre travail de recherche. Nous avons mené une étude prospective préliminaire pour évaluer les effets d'un entraînement sur Graphogame versus une intervention non spécifique et non intensive chez des enfants diagnostiqués dyslexiques âgés de 8 à 11 ans.

Nos résultats ont montré des gains significatifs dans les performances en lecture de texte non contextualisé au test de l'Alouette (Lefavrais, 1967, 2005), avec une taille d'effet moyenne, ainsi que dans les performances en lecture de texte sémantisé (Evaléo, Launay et al., 2015), avec une taille d'effet forte et un effet statistiquement significatif de l'entraînement. La précision en lecture de pseudomots a augmenté significativement avec une taille d'effet forte et une tendance à la significativité de l'efficacité de l'entraînement. L'amélioration du temps nécessaire à la suppression du phonème initial dans une syllabe de structure consonne-voyelle-consonne est proche de la significativité avec une taille d'effet forte. Enfin, les compétences en compréhension en lecture se sont significativement améliorées avec une taille d'effet moyen. Le reste des indicateurs n'ayant pas montré de différence statistique significative, nous concluons que l'entraînement sur Graphogame a eu des effets bénéfiques sur la lecture de texte, la lecture de pseudomots et la compréhension en lecture, sans montrer d'effet significatif sur l'efficacité des processus sous-jacents. Nos résultats mettent en évidence l'intérêt d'une rééducation intensive ciblée sur un processus sous-jacent pour une pratique clinique basée sur les preuves.

La poursuite de cette étude préliminaire semble intéressante pour augmenter la valeur statistique des résultats déjà obtenus parallèlement à la grandeur de l'échantillon. D'autre part, cette étude mérite d'être enrichie des scores en orthographe des participants. Un projet de recherche de plus grande envergure est en cours, qui cherche à démontrer l'efficacité de l'entraînement des processus sous-jacents à la lecture sur les performances en langage écrit et l'efficacité des processus sous-jacents, en contrôlant l'ordre de présentation des entraînements. Les résultats de ce projet apporteront des réponses capitales pour la pratique clinique orthophonique de la remédiation de la dyslexie développementale.

## BIBLIOGRAPHIE

- Alegria, J., & Morais, J. (1979). Le développement de l'habileté d'analyse phonétique consciente de la parole et l'apprentissage de la lecture. *Archives de psychologie*, *XLVII*(183), 251-270.
- Altemeier, L. E., Abbott, R. D., & Berninger, V. W. (2008). Executive functions for reading and writing in typical literacy development and dyslexia. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, *30*(5), 588-606. <https://doi.org/10.1080/13803390701562818>
- American Psychiatric Association. (2013). *DSM-5 : Diagnostic and statistical manual of mental disorders*. Washington D.C American Psychiatric Association. <https://www.psychiatry.org/psychiatrists/practice/dsm>
- Ans, B., Carbonnel, S., & Valdois, S. (1998). A connectionist multiple-trace memory model for polysyllabic word reading. *Psychological Review*, *105*(4), 678-723. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.105.4.678-723>
- Bedoin, N., Kéïta, Luc, Leculier, Laure, Roussel, Coline, Herbillon, Vania, & Launay, Laurence. (2010). Diagnostic et remédiation d'un déficit d'inhibition des détails dans la dyslexie de surface. *Le Langage oral : données actuelles et perspectives en orthophonie*.
- Bedoin, N., & Médina, F. (2014). *SIGL : logiciel d'évaluation des compétences de sélection et inhibition des traitements global et local*. Gnosia.
- Bianco, M. (2016). *Du langage oral à la compréhension de l'écrit*. PUG.
- Bianco, M., Brèthes, H., & Colé, P. (2017). La compréhension de l'écrit chez l'élève dyslexique : Quelques pistes pour la remédiation. *ANAE*, *148*, 321-332.
- Blau, V., van Atteveldt, N., Ekkebus, M., Goebel, R., & Blomert, L. (2009). Reduced Neural Integration of Letters and Speech Sounds Links Phonological and Reading Deficits in Adult Dyslexia. *Current Biology*, *19*(6), 503-508. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2009.01.065>
- Blomert, L. (2011). The neural signature of orthographic-phonological binding in successful and failing reading development. *NeuroImage*, *57*(3), 695-703. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2010.11.003>
- Blomert, L., & Froyen, D. (2010). Multi-sensory learning and learning to read. *International Journal of Psychophysiology*, *77*(3), 195-204. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2010.06.025>
- Borleffs, E., Glatz, T. K., Daulay, D. A., Richardson, U., Zwarts, F., & Maassen, B. A. M. (2018). GraphoGame SI: The development of a technology-enhanced literacy learning tool for Standard Indonesian. *European Journal of Psychology of Education*, *33*(4), 595-613. <https://doi.org/10.1007/s10212-017-0354-9>
- Bosse, M.-L., Tainturier, M. J., & Valdois, S. (2007). Developmental dyslexia : The visual attention span deficit hypothesis. *Cognition*, *104*(2), 198-230. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2006.05.009>
- Bosse, M.-L., & Valdois, S. (2009). Influence of the visual attention span on child reading performance : A cross-sectional study. *Journal of Research in Reading*, *32*(2), 230-253. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9817.2008.01387.x>
- Braibant, J. M., & Gerard, F. M. (1996). Savoir lire : Une question de méthodes? *Bulletin de Psychologie scolaire et d'orientation*, *1*, 7-45.
- Breznitz, Z., & Meyler, A. (2003). Speed of lower-level auditory and visual processing as a basic factor in dyslexia : Electrophysiological evidence. *Brain and Language*, *85*(2), 166-184. [https://doi.org/10.1016/S0093-934X\(02\)00513-8](https://doi.org/10.1016/S0093-934X(02)00513-8)
- Callens, M., Whitney, C., Tops, W., & Brysbaert, M. (2013). No deficiency in left-to-right processing of words in dyslexia but evidence for enhanced visual crowding. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *66*(9), 1803-1817. <https://doi.org/10.1080/17470218.2013.766898>

- Cara, B. D., & Plaza, M. (2010). *Les outils informatisés d'aide à la lecture : Un bilan des recherches*. 7.
- Casalis, S., Parriaud, F. B., & Leloup, Gilles. (2019). *Prise en charge des troubles du langage écrit chez l'enfant*. Elsevier Masson. <https://play.google.com/books/reader?id=ctmiDwAAQBAJ&hl=fr&lr=&printsec=frontcover>
- Castles, A., Wilson, K., & Coltheart, M. (2011). Early orthographic influences on phonemic awareness tasks : Evidence from a preschool training study. *Journal of Experimental Child Psychology*, 108(1), 203-210. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2010.07.006>
- Clark, D. B., Tanner-Smith, E. E., & Killingsworth, S. S. (2016). Digital Games, Design, and Learning : A Systematic Review and Meta-Analysis. *Review of Educational Research*, 86(1), 79-122. <https://doi.org/10.3102/0034654315582065>
- 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. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.108.1.204>
- Content, A., Morais, J., Alegria, J., & Bertelson, P. (1986). Acquisition de la lecture et analyse segmentale de la parole. *Psychologica Belgica*, XXVI-I, 1-15.
- Desrochers, A., & Stanké, B. (2017). Evaluation de la lecture et de l'orthographe et intervention rééducative. *ANAE*, 148, 219-246.
- Ecochard, S. (2015). *Learning to read with Graphogame, an ethnography in a Peruvian rural school*. <https://jyx.jyu.fi/handle/123456789/48501>
- Ehri, L. C. (1995). Phases of development in learning to read words by sight. *Journal of Research in Reading*, 18(2), 116-125. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9817.1995.tb00077.x>
- Ehri, L. C., Nunes, S. R., Willows, D. M., Schuster, B. V., Yaghoub-Zadeh, Z., & Shanahan, T. (2001). Phonemic Awareness Instruction Helps Children Learn to Read : Evidence From the National Reading Panel's Meta-Analysis. *Reading Research Quarterly*, 36. <https://doi.org/10.1598/RRQ.36.3.2>
- Facoetti, A., Paganoni, P., & Lorusso, M. L. (2000). The spatial distribution of visual attention in developmental dyslexia. *Experimental Brain Research*, 132(4), 531-538. <https://doi.org/10.1007/s002219900330>
- Frith, U. (1985). Beneath the surface of developmental dyslexia. In *Surface Dyslexia, Neuropsychological and Cognitive Studies of Phonological Reading* (p. 13; 301-330). Lawrence Erlbaum Associates, Publishers. <https://www.taylorfrancis.com/books/e/9781315108346>
- Galuschka, K., Ise, E., Krick, K., & Schulte-Körne, G. (2014). Effectiveness of Treatment Approaches for Children and Adolescents with Reading Disabilities : A Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *PLOS ONE*, 9(2), e89900. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0089900>
- Gough, P. B., & Tunmer, W. E. (1986). Decoding, Reading, and Reading Disability. *Remedial and Special Education*, 7(1), 6-10. <https://doi.org/10.1177/074193258600700104>
- Harm, M. W., & Seidenberg, M. S. (1999). Phonology, reading acquisition, and dyslexia : Insights from connectionist models. *Psychological Review*, 106(3), 491-528. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.106.3.491>
- Harm, M. W., & Seidenberg, M. S. (2004). Computing the Meanings of Words in Reading : Cooperative Division of Labor Between Visual and Phonological Processes. *Psychological Review*, 111(3), 662-720. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.111.3.662>
- INSERM. (2007). *Dyslexie, dysorthographe, dyscalculie : Bilan des données scientifiques* (p. 844) [Rapport de recherche]. INSERM. <https://hal-lara.archives-ouvertes.fr/hal-01570674>
- Jere-Folotiya, J., Chansa-Kabali, T., Munachaka, J. C., Sampa, F., Yalukanda, C., Westerholm, J., Richardson, U., Serpell, R., & Lyytinen, H. (2014). The effect of using a mobile literacy game

- to improve literacy levels of grade one students in Zambian schools. *Educational Technology Research and Development*, 62(4), 417-436. <https://doi.org/10.1007/s11423-014-9342-9>
- Kim, Y.-S. G., & Wagner, R. K. (2015). Text (Oral) Reading Fluency as a Construct in Reading Development: An Investigation of its Mediating Role for Children from Grades 1 to 4. *Scientific studies of reading: the official journal of the Society for the Scientific Study of Reading*, 19(3), 224-242. <https://doi.org/10.1080/10888438.2015.1007375>
- Kujala, T., Karma, K., Ceponiene, R., Belitz, S., Turkkila, P., Tervaniemi, M., & Näätänen, R. (2001). Plastic neural changes and reading improvement caused by audiovisual training in reading-impaired children. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 98(18), 10509-10514. <https://doi.org/10.1073/pnas.181589198>
- Kyle, F., Kujala, J., Richardson, U., Lyytinen, H., & Goswami, U. (2013). Assessing the Effectiveness of Two Theoretically Motivated Computer-Assisted Reading Interventions in the United Kingdom: GG Rime and GG Phoneme. *Reading Research Quarterly*, 48(1), 61-76. <https://doi.org/10.1002/rrq.038>
- Lachmann, T., & van Leeuwen, C. (2014). Reading as functional coordination: Not recycling but a novel synthesis. *Frontiers in Psychology*, 5. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.01046>
- Launay, L., Maeder, C., Roustit, J., & Touzin, M. (2015). *Evaléo 6-15 : Évaluation du langage écrit et du langage oral*. OrthoEdition.
- Lefavrais, P. (1967). *Test de l'Alouette*. ECPA.
- Lefavrais, P. (2005). *Test de l'Alouette-R (révision)*. ECPA.
- Leloup, G., Lebel, L., & Drouillard, A. (En cours de soumission). *Entraînement du lexique orthographique*.
- Lété, B., Sprenger-Charolles, L., & Colé, P. (2004). MANULEX: A grade-level lexical database from French elementary school readers. *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers*, 36(1), 156-166. <https://doi.org/10.3758/BF03195560>
- Li, Y., Chen, X., Li, H., Sheng, X., Chen, L., Richardson, U., & Lyytinen, H. (2020). A computer-based Pinyin intervention for disadvantaged children in China: Effects on Pinyin skills, phonological awareness, and character reading. *Dyslexia (Chichester, England)*, 1-17. <https://doi.org/10.1002/dys.1654>
- Livingstone, M. S., Rosen, G. D., Drislane, F. W., & Galaburda, A. M. (1991). Physiological and anatomical evidence for a magnocellular defect in developmental dyslexia. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 88(18), 7943-7947. <https://doi.org/10.1073/pnas.88.18.7943>
- Lobrot, M. (1980). *Lire avec épreuves pour évaluer la capacité de lecture (D-OR-LEC)*. ESF.
- Magnan, A., & Ecalte, J. (2006). Audio-visual training in children with reading disabilities. *Computers & Education*, 46(4), 407-425. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2004.08.008>
- Magnan, A., & Ecalte, J. (2017). Traitement graphosyllabique et discrimination phonologique chez les dyslexiques: Des recherches fondamentales à la remédiation. *ANAE*, 148, 344-352.
- Magnan, A., Ecalte, J., Veuillet, E., & Collet, L. (2004). The effects of an audio-visual training program in dyslexic children. *Dyslexia*, 10(2), 131-140. <https://doi.org/10.1002/dys.270>
- Marshall, J. C., & Newcombe, F. (1973). Patterns of paralexia: A psycholinguistic approach. *Journal of Psycholinguistic Research*, 2, 175-199.
- Martin, J., Colé, P., Leuwers, C., Casalis, S., Zorman, M., & Sprenger-Charolles, L. (2010). Reading in French-speaking adults with dyslexia. *Annals of Dyslexia*, 60(2), 238-264. <https://doi.org/10.1007/s11881-010-0043-8>
- McArthur, G., Castles, A., Kohnen, S., Larsen, L., Jones, K., Anandakumar, T., & Banales, E. (2015). Sight Word and Phonics Training in Children With Dyslexia. *Journal of Learning Disabilities*, 48(4), 391-407. <https://doi.org/10.1177/0022219413504996>

- McTigue, E. M., Solheim, O. J., Zimmer, W. K., & Uppstad, P. H. (2020). Critically Reviewing GraphoGame Across the World: Recommendations and Cautions for Research and Implementation of Computer-Assisted Instruction for Word-Reading Acquisition. *Reading Research Quarterly*, 55(1), 45-73. <https://doi.org/10.1002/rrq.256>
- Morais, J., Cary, L., Alegria, J., & Bertelson, P. (1979). Does awareness of speech as a sequence of phones arise spontaneously? *Cognition*, 7(4), 323-331. [https://doi.org/10.1016/0010-0277\(79\)90020-9](https://doi.org/10.1016/0010-0277(79)90020-9)
- Morton, J., & Frith, C. (1995). Causal modelling a structural approach to developmental psychopathology. *Manual Dev. Psychopathol.*, 1.
- Organisation Mondiale de la Santé. (2011). *Classification statistique internationale des maladies et des problèmes de santé connexes* (4ème éd., Vol. 1-1). OMS.
- Peterson, R. L., & Pennington, B. F. (2012). Developmental dyslexia. *The Lancet*, 379(9830), 1997-2007. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(12\)60198-6](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(12)60198-6)
- Piquard-Kipffer, A., & Sprenger-Charolles, L. (2013). Early predictors of future reading skills : A follow-up of French-speaking children from the beginning of kindergarten to the end of the second grade (age 5 to 8). *L'Année Psychologique*, Vol. 113(4), 491-521.
- Ramus, F., Rosen, S., Dakin, S. C., Day, B. L., Castellote, J. M., White, S., & Frith, U. (2003). Theories of developmental dyslexia: Insights from a multiple case study of dyslexic adults. *Brain*, 126(4), 841-865. <https://doi.org/10.1093/brain/awg076>
- Ramus, F., & Szenkovits, G. (2008). What phonological deficit? *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 61(1), 129-141. <https://doi.org/10.1080/17470210701508822>
- Raynaud, S. (2017). Les troubles de la lecture : De la pratique à la théorie. *ANAE*, 148, 367-378.
- Richardson, U., & Lyytinen, H. (2014). The GraphoGame Method: The Theoretical and Methodological Background of the Technology-Enhanced Learning Environment for Learning to Read. *Human Technology: An Interdisciplinary Journal on Humans in ICT Environments*, 10(1), 39-60. <https://doi.org/10.17011/ht/urn.201405281859>
- Richmond, M., Robinson, C., Sachs-Israel, M., & Sector, E. (2008). *The global literacy challenge*. Paris : UNESCO.
- Rosas, R., Escobar, J.-P., Ramírez, M.-P., Meneses, A., & Guajardo, A. (2017). Impact of a computer-based intervention in Chilean children at risk of manifesting reading difficulties / Impacto de una intervención basada en ordenador en niños chilenos con riesgo de manifestar dificultades lectoras. *Journal for the Study of Education and Development*, 40(1), 158-188. <https://doi.org/10.1080/02103702.2016.1263451>
- Ruiz, J.-P., Lassault, J., Sprenger-Charolles, L., Richardson, U., Lyytinen, H., & Ziegler, J. C. (2017). GraphoGame : Un outil numérique pour enfants en difficultés d'apprentissage de la lecture. *ANAE*, 148, 333-343.
- Saine, N. L., Lerkkanen, M.-K., Ahonen, T., Tolvanen, A., & Lyytinen, H. (2011). Computer-Assisted Remedial Reading Intervention for School Beginners at Risk for Reading Disability : Computer-Assisted Reading Intervention. *Child Development*, 82(3), 1013-1028. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8624.2011.01580.x>
- Saksida, A., Iannuzzi, S., Bogliotti, C., Chaix, Y., Démonet, J.-F., Bricout, L., Billard, C., Nguyen-Morel, M.-A., Le Heuzey, M.-F., Soares-Boucaud, I., George, F., Ziegler, J. C., & Ramus, F. (2016). Phonological skills, visual attention span, and visual stress in developmental dyslexia. *Developmental Psychology*, 52(10), 1503-1516. <https://doi.org/10.1037/dev0000184>
- Scarborough, H. S. (2001). Connecting early language and literacy to later reading (dis)abilities : Evidence, theory, and practice. In Neuman, S.B. & Dickinson, D.K. (Éds.), *Handbook of Early Literacy Research* (Vol. 1, p. 97-110). The Guilford Press.

- Share, D. L. (1995). Phonological recoding and self-teaching : Sine qua non of reading acquisition. *Cognition*, 55, 151-218. [https://doi.org/10.1016/0010-0277\(94\)00645-2](https://doi.org/10.1016/0010-0277(94)00645-2)
- Share, D. L. (1999). Phonological Recoding and Orthographic Learning : A Direct Test of the Self-Teaching Hypothesis. *Journal of Experimental Child Psychology*, 72(2), 95-129. <https://doi.org/10.1006/jecp.1998.2481>
- Smith-Spark, J. H., Henry, L. A., Messer, D. J., Edvardsdottir, E., & Zięcik, A. P. (2016). Executive functions in adults with developmental dyslexia. *Research in Developmental Disabilities*, 53-54, 323-341. <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2016.03.001>
- Sprenger-Charolles, L. (2005). Les procédures d'accès aux mots écrits : Développement normal et dysfonctionnements dans la dyslexie développementale. *Rééducation Orthophonique*, 222(4), 69-100.
- Sprenger-Charolles, L., Bogliotti, C., Piquard-Kipffer, A., & Leloup, G. (2009). Stabilité dans le temps des déficits en et hors lecture chez des adolescents dyslexiques (données longitudinales). *ANAE*, 103, 243-253.
- Sprenger-Charolles, L., Colé, P., Lacert, P., & Serniclaes, W. (2000). On subtypes of developmental dyslexia : Evidence from processing time and accuracy scores. *Canadian Journal of Experimental Psychology/Revue canadienne de psychologie expérimentale*, 54(2), 87-104. <https://doi.org/10.1037/h0087332>
- Sprenger-Charolles, L., Colé, P., Piquard-Kipffer, A., & Leloup, Gilles. (2010). *EVALEC : Batterie informatisée d'évaluation diagnostique des troubles spécifiques d'apprentissage de la lecture*. OrthoEdition.
- Sprenger-Charolles, L., & Serniclaes, W. (2003). Acquisition de la lecture et de l'écriture et dyslexie : Revue de la littérature. *Revue française de linguistique appliquée*, VIII, 63-90.
- Sprenger-Charolles, L., Siegel, L. S., Jiménez, J. E., & Ziegler, J. C. (2011). Prevalence and Reliability of Phonological, Surface, and Mixed Profiles in Dyslexia : A Review of Studies Conducted in Languages Varying in Orthographic Depth. *Scientific Studies of Reading*, 15(6), 498-521. <https://doi.org/10.1080/10888438.2010.524463>
- Stein, J., & Walsh, V. Q. (1997). To see but not to read; the magnocellular theory of dyslexia. *Trends in Neurosciences*, 20, 147-152. [https://doi.org/10.1016/S0166-2236\(96\)01005-3](https://doi.org/10.1016/S0166-2236(96)01005-3)
- Sucena, A., Silva, A. F., Cruz, J. S. F. da, & Viana, F. L. (2016). *Portuguese Foundation Graphogame : Preliminary results*. 259-262. <http://repositorium.sdum.uminho.pt/>
- Suggate, S. P. (2016). A Meta-Analysis of the Long-Term Effects of Phonemic Awareness, Phonics, Fluency, and Reading Comprehension Interventions. *Journal of Learning Disabilities*, 49(1), 77-96. <https://doi.org/10.1177/0022219414528540>
- Swan, D., & Goswami, U. (1997). Phonological Awareness Deficits in Developmental Dyslexia and the Phonological Representations Hypothesis. *Journal of Experimental Child Psychology*, 66(1), 18-41. <https://doi.org/10.1006/jecp.1997.2375>
- Tallal, P., & Gaab, N. (2006). Dynamic auditory processing, musical experience and language development. *Trends in Neurosciences*, 29(7), 382-390. <https://doi.org/10.1016/j.tins.2006.06.003>
- Torgesen, J. K., Alexander, A. W., Wagner, R. K., Rashotte, C. A., Voeller, K. K. S., & Conway, T. (2001). Intensive remedial instruction for children with severe reading disabilities : Immediate and long-term outcomes from two instructional approaches. *Journal of Learning Disabilities*, 34, 33-58.
- Torgesen, J. K., Morgan, S. T., & Davis, C. (1992). Effects of Two Types of Phonological Awareness Training on Word Learning in Kindergarten Children. *Journal of Educational Psychology*, 84(3), 364-370.

- Valdois, S., Bosse, M.-L., Ans, B., Carbonnel, S., Zorman, M., David, D., & Pellat, J. (2003). Phonological and visual processing deficits can dissociate in developmental dyslexia: Evidence from two case studies. *Reading and Writing, 16*(6), 541-572. <https://doi.org/10.1023/A:1025501406971>
- Valdois, S., Guinet, E., & Embs, J.-L. (2017). *EVADYS : évaluation de l'empan visuo-attentionnel en contexte dyslexique*. Happyneuron.
- Vellutino, F. R., Fletcher, J. M., Snowling, M. J., & Scanlon, D. M. (2004). Specific reading disability (dyslexia): What have we learned in the past four decades? *Journal of Child Psychology and Psychiatry, 45*(1), 2-40. <https://doi.org/10.1046/j.0021-9630.2003.00305.x>
- Vellutino, F. R., & Scanlon, D. M. (2002). The Interactive Strategies approach to reading intervention. *Contemporary Educational Psychology, 27*(4), 573-635. [https://doi.org/10.1016/S0361-476X\(02\)00002-4](https://doi.org/10.1016/S0361-476X(02)00002-4)
- Ziegler, J. C., Bertrand, D., Lété, B., & Grainger, J. (2014). Orthographic and phonological contributions to reading development: Tracking developmental trajectories using masked priming. *Developmental Psychology, 50*(4), 1026-1036. <https://doi.org/10.1037/a0035187>
- Ziegler, J. C., Perry, C., & Zorzi, M. (2014). Modelling reading development through phonological decoding and self-teaching: Implications for dyslexia. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, 369*(1634), 20120397. <https://doi.org/10.1098/rstb.2012.0397>
- Zoubrinetzky, R., Bielle, F., & Valdois, S. (2014). New Insights on Developmental Dyslexia Subtypes: Heterogeneity of Mixed Reading Profiles. *PLoS ONE, 9*(6), e99337. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0099337>
- Zoubrinetzky, R., Collet, G., Nguyen-Morel, M.-A., Valdois, S., & Serniclaes, W. (2019). Remediation of Allophonic Perception and Visual Attention Span in Developmental Dyslexia: A Joint Assay. *Frontiers in Psychology, 10*. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.01502>

# ANNEXES

## Annexe 2 : données individuelles des participants

Patients	BT	CA	CM	CR	FM	GE	LT	ME	PL	RK
Sexe	M	M	M	F	F	F	M	F	M	M
Age (années ; mois)	10	8;3	8	10;4	8;8	10;3	8;2	10	8;8	10;1
Classe	CM1	CE2	CE2	CM2	CM1	CM1	CE2	CM2	CM1	CM2
Latéralité	G	D	D	D	D	D	G	D	D	D
Particularités	ATCD	-	HPI ATCD	HPI ATCD	ATCD	-	ATCD	ATCD	HPI ATCD	ATCD
Niveau atteint dans GG	Fin	2;1	-	Fin	4;1	-	4;2	Fin	Fin	Fin
Age lexique (années ; mois)	T0	7;1	6;7	7;11	6;11	6;9	7;6	8;1	7;8	7;5
	T1	7;1	-	7;11	6;11	6;10	7;10	8;4	7;8	7;7
	T2	7;7	-	8;2	7	-	8	8;8	8;1	7;8
Lecture de mots - T0 (écarts types)	MR	-5,4	-4,48	-2,37	-13,2	-7,36	-0,28	-1,61	-2,46	-4,63
	Temps	-1,82	1,1	-1,08	-1,52	-4,17	-0,45	-0,49	-0,84	0,42
MI	Précision	-2,38	-0,87	-3,84	-5,3	-6,27	-0,34	-1,52	-2,38	-6,17
	Temps	-2,59	0,84	0,13	0,32	-0,62	-1,82	-0,57	-0,46	1,34
PM	Précision	-5,52	-3,02	-3,98	-9,43	-5,87	-1,98	-4,21	-4,81	-2,88
	Temps	-3,29	0,4	-7,59	-2,7	-3,8	-0,59	-0,35	-0,06	-1,29
Profil de dyslexie	Mixte	Phono	Mixte	Mixte	Mixte	Mixte	Mixte	Mixte	Mixte	Mixte
Processus sous-jacents altérés - T0	P : Cs Ph	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	P : MCTV	X	X		X	X			X	
	P : DRA	X	X				X		X	
	VA : EVA	RG			RG	RG		RG/RP		RG
VA : FA L/G	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Note : Exclusions : M = masculin ; F = Féminin ; G = gaucher ; D = droitier ; HPI = Haut Potentiel Intellectuel ; ATCD = Antécédents familiaux de dyslexie ; MR = Mots Réguliers ; MI = Mots Irréguliers ; PM = Pseudomots ; P = Phonologique ; Cs Ph = Conscience Phonémique ; MCTV = Mémoire à Court Terme Verbale ; DRA = Dénomination Rapide Automatisée ; VA = Visuo-Attentionnel ; EVA = Empan Visuo-Attentionnel ; RG = Report Global ; RP = Report Partiel ; FA L/G = Focalisation Attentionnelle Locale / Globale ; X = au moins un score pathologique (<1,5 écart type) en précision ou vitesse

Annexe 2 : différences des scores T1-T0 et T2-T1 par enfant pour chaque mesure

	BT		CA		CR		FM		LT		ME		PL		RK	
	T1-T0	T2-T1	T1-T0	T2-T1	T1-T0	T2-T1	T1-T0	T2-T1	T1-T0	T2-T1	T1-T0	T2-T1	T1-T0	T2-T1	T1-T0	T2-T1
<b>LECTURE de texte</b>	Alouette - Lus	9	-9	10	-8	6	0	-2	-3	-4	2	-8	1	-5	0	6
	Alouette - Erreurs	31	0	9	40	6	38	-5	16	21	26	25	4	29	11	15
	Alouette - Corrects	39	-2	12	25	23	0	-14	-1	-23	24	15	-16	-5	33	-8
	DT - Lus	37	-10	9	12	35	3	-6	-4	-3	23	14	-3	-6	33	-13
	DT - Corrects	-6	19	-19	31	0	32	-5	22	8	30	-7	9	2	11	-8
<b>LECTURE de mots</b>	Evaléo - Lus	-7	19	-17	29	7	27	-5	25	8	33	-5	11	3	14	-8
	Evaléo - Corrects	-2	-1	1	-7	-2	-2	-2	-8	-2	0	-2	0	2	-4	-4
	MR - Erreurs	651	-600	139	278	-278	465	-44	1052	-123	51	-18	46	-190	-148	836
	MR - Temps	0	-2	2	-2	-3	0	-1	0	-1	1	-1	-1	-1	-1	2
	MI - Erreurs	314	-805	-134	357	488	0	151	468	-527	67	-127	331	40	-382	204
<b>C° écrite</b>	MI - Temps	1	-6	1	-5	-8	0	-7	-16	4	-10	0	-8	-3	-2	8
	PM - Erreurs	-822	-217	-294	494	-726	223	1439	-229	-366	182	36	345	-27	21	-142
	PM - Temps	3	3	2	3	0	2	0	4	7	1	6	1	-1	6	4
	Corrects	1	0	-2	2	0	1	0	2	-3	0	-2	3	-1	0	-1
	Erreurs	-3	-2	-2	-1	0	0	-2	-1	1	-3	-1	1	1	-1	-4
<b>PHONOLOGIE</b>	SPI-CVC - Erreurs	-15,99	-12,04	-9,32	5,05	-17,9	-6,06	-3,36	-17,25	-0,43	-4,49	-26,71	-3,15	0,03	-10,04	-9,66
	SPI-CVC - Temps	-2	-1	0	0	0	3	2	1	-5	0	-3	0	-3	0	-6
	SPI-CCV - Erreurs	0,3	-18,66	-3,72	-5,42	-31,64	4,4	-7,33	-6,16	15,07	-16,08	-40,58	1,02	-7,77	-9,31	-2,01
	SPI-CCV - Temps	1	-1	5	-5	0	0	1	-1	1	0	1	0	1	0	1
	RPM - Empan	-17,46	0,58	-1,72	8,56	-13,64	0,76	-28,69	8,12	0,94	16,22	-32,4	-0,99	-21,56	-4,33	-2,28
<b>VISUO-ATTENTIONNEL</b>	RPM - Temps	-18,43	16,92	6,12	-15,43	6,97	-8,53	-7,25	-6,46	-16,02	-6,01	-9,73	1,14	-23,65	-5,5	8,24
	DRA - Temps	5	-4	-3	3	3	-5	4	-1	13	4	6	-12	1	5	26
	EVA - RG	10	-2	-3	8	2	-2	-8	9	3	-4	0	3	5	3	-4
	EVA - RP	-0,02	0,16	-0,19	0,3	0,08	-0,11	0,14	-0,05	-0,07	-0,03	0,03	0,12	0,1	0,02	-0,05
	FAL/G - <del>Asym</del> E	-	526,33	-39,92	274,06	177,81	-81,6	-	124,37	148,22	-70,49	-13,24	24,69	112,55	45,65	-

Note : T1-T0 = gain entre la 1° et la 2° évaluations ; T2-T1 = gain entre la 2° et la 3° évaluations ; DT = Delta Text ; MR = Mots Réguliers ; MI = Mots Irréguliers ; PM = Pseudomots ; C° = compréhension ; SPI = Suppression de Phonème Initial ; CVC = syllabe de structure Consonne Voyelle Consonne ; CCV = syllabe de structure Consonne Voyelle ; RPM = Répétition de Pseudomots ; DRA = Dénomination Rapide Automatisée ; EVA = Empan Visuo-Attentionnel ; RG = Report Global ; RP = Report Partiel ; FA L/G = Focalisation Attentionnelle Local/Global ; ~~Asym~~ E = Asymétrie du taux d'erreurs ; ~~Asym~~ T = Asymétrie du temps de réponse

Courant Sabrina

## ETUDE DE FAISABILITE D'UN ENTRAINEMENT INTERMODALITAIRE SUR L'AMELIORATION DU COMPORTEMENT EN LECTURE ET DES PROCESSUS COGNITIFS SOUS-JACENTS DANS LA DYSLEXIE DEVELOPPEMENTALE

### **Résumé**

La dyslexie est un trouble neurodéveloppemental persistant qui constitue un handicap désormais reconnu. La classification des dyslexies est depuis toujours basée sur les manifestations comportementales de la lecture. Toutefois, la littérature évoque aujourd'hui trois hypothèses causales en lien avec les processus cognitifs sous-jacents à la lecture. Ainsi, le trouble serait le résultat de l'altération isolée ou combinée des processus phonologiques, visuo-attentionnels et intermodalitaire. Les recommandations des méta-analyses pour la remédiation préconisent une intervention basée sur une évaluation précise et régulière. La rééducation doit être précoce, intensive et ciblée sur un processus sous-jacent déficitaire. C'est ce qui nous a conduit à proposer un entraînement du processus intermodalitaire. La stimulation était répétée 15 minutes par jour, 5 fois par semaine pendant 8 semaines, via le logiciel Graphogame. La validation de ce serious game a montré des bénéfices dans de nombreuses langues. En France, il a été testé sur des enfants à risque d'apprentissage. Nous avons souhaité évaluer ses effets sur des enfants diagnostiqués dyslexiques âgés de 8 à 11 ans. Les performances en lecture de texte et de mots, l'efficacité des processus sous-jacents et les compétences en compréhension écrite ont été évaluées au début du protocole, après huit semaines sans entraînement et à la fin de l'entraînement. Nos résultats relèvent des gains significatifs sur les performances en lecture de texte et de pseudomots ainsi qu'en compréhension écrite. Notre étude préliminaire suggère l'intérêt d'un entraînement du processus intermodalitaire dans la remédiation de la dyslexie. Ces résultats devront être confirmés après augmentation de la taille de l'échantillon.

### **Mots-clés**

Dyslexie – Remédiation – Intermodalitaire – Etude de faisabilité – Enfant (8-11 ans)

## **Abstract**

Dyslexia is a persistent neurodevelopmental disorder that is now a recognized handicap. The classification of dyslexia has always been based on the behavioral manifestations of reading. However, the literature today raises three causal hypotheses related to the cognitive processes underlying reading. Thus, the disorder would be the result of the isolated or combined alteration of the phonological, visual attentional and letter-speech sound association processes. The recommendations of meta-analyses advocate an intervention based on a precise and regular assessment. Rehabilitation must be early, intensive and targeted on an underlying process deficit. This is what led us to offer a letter-speech sound association training. The stimulation was repeated 15 minutes a day, 5 times a week for 8 weeks, using the Graphogame software. The validation of this serious game has shown benefits in many languages. In France, it has been tested on children at risk of learning. We wanted to assess its effects on children diagnosed with dyslexia aged 8 to 11. Text and word reading performance, efficiency of the underlying processes, and reading comprehension skills were assessed at the start of the protocol, after eight weeks of no training, and at the end of the training. Our results show significant gains in text and pseudowords reading performance as well as in written comprehension. Our preliminary study suggests the value of training the letter-speech sound process in the remediation of dyslexia. These results should be confirmed after increasing the sample size.

## **Keywords**

Dyslexia – Remediation – Letter-speech sound association – Feasibility study – Children (8-11)