

Unité de Formation et de Recherche de Médecine et des Techniques Médicales

Année Universitaire 2021-2022

Mémoire

Pour l'obtention du

Certificat de Capacité en Orthophonie

**Effets de l'entraînement de la boucle audiophonatoire
par le casque Forbrain sur la précision et la vitesse de
lecture ainsi que sur la mémoire de travail et la mémoire
à court terme verbale chez des patients dyslexiques :**
Etude de cas multiples

Présenté par Sarah LUCAS

Née le 27/12/1997

Président du Jury : Madame Raimbault Alice – Orthophoniste – Chargée de cours

Directrice du Mémoire : Madame Morille Marie-Madeleine – Orthophoniste

Co-Directrice du mémoire : Madame Fioleau Lydie – Orthophoniste – Chargée de cours

Membres du jury : Madame Quémart Pauline – Enseignante Chercheuse – Chargée de cours

Remerciements

Je tiens à remercier Madame Morille pour avoir dirigé ce mémoire et m'avoir permis de réaliser ce protocole afin que ce projet voie le jour. Merci pour votre aide et pour m'avoir accordé votre confiance dès le départ. Nos échanges ont été riches et ont été de réels appuis pour écrire ce mémoire. Je souhaite remercier également Madame Fioleau, co-directrice de ce mémoire, qui m'a encouragée tout au long de cette année et qui m'a accompagnée à construire ce travail avec beaucoup de bienveillance et d'enthousiasme.

Je remercie la présidente du jury, Madame Alice Raimbault ainsi que la membre expert, Madame Quémart, pour leur lecture attentive de mon mémoire.

Je tiens sincèrement à remercier les quatre patients qui ont participé à l'étude de cas, ils se sont montrés volontaires et motivés tout au long du protocole. Sans eux, ce travail n'aurait pas pu aboutir, je leur en suis donc très reconnaissante.

Je souhaite remercier également tous mes maîtres de stage que j'ai pu rencontrer au cours de mon cursus, ils m'ont motivée davantage à faire ce métier. Je remercie particulièrement mes maîtres de stage de cette année : Madame Jouaud, Madame Lebayle-Bourhis, Madame Morille et Madame Pichon. Merci à vous pour la transmission de votre expérience, votre intérêt et nos échanges extrêmement riches qui m'ont fait me questionner sur l'orthophoniste que je souhaite devenir.

Merci à mes amies de promo : Anne-Lise, Marion, Eléonore, Jessica, Camille, Solène, Mathilde, Enola et Mélanie. Ces cinq années ont été merveilleuses à vos côtés. Merci pour tous ces moments de joie et aussi pour ceux qui ont été moins heureux. Mille mercis pour votre soutien, votre écoute et votre bienveillance. Merci aussi évidemment pour tous les « goûters du seum » et les « shogun parties » que nous avons et que nous allons encore partager. Les souvenirs sont innombrables et j'ai hâte que nous nous en façonnions de nouveaux.

Je ne remercierai jamais assez mes parents pour leur soutien infailible depuis toujours et particulièrement depuis que ce projet d'orthophonie est né. La route a été longue et semée de nombreuses embûches mais vous avez toujours su me soutenir et me guider. Je vais enfin pouvoir m'envoler pleinement, et c'est surtout grâce à vous.

Je remercie évidemment Thomas. Merci pour ton soutien et ta bienveillance tout au long de cette longue année. Tu as toujours su m'écouter dans les nombreux moments de doutes ou d'inquiétudes sans jamais faire preuve d'une once d'impatience. Enfin, merci à toi de t'être réjoui avec moi de chaque marche qui avait été franchie. J'ai hâte que nous franchissions les suivantes ensemble.

ANNEXE 9

ENGAGEMENT DE NON-PLAGIAT

« Par délibération du Conseil en date du 7 Mars 1962, la Faculté a arrêté que les opinions émises dans les dissertations qui lui seront présentées doivent être considérées comme propres à leurs auteurs et qu'elle n'entend leur donner aucune approbation ni improbation ».

Engagement de non-plagiat

Je, soussignée Sarah Lucas déclare être pleinement consciente que le plagiat de documents ou d'une partie d'un document publiés sur toutes ses formes de support, y compris l'Internet, constitue une violation des droits d'auteur ainsi qu'une fraude caractérisée. En conséquence, je m'engage à citer toutes les sources que j'ai utilisées pour écrire ce mémoire.

Fait à : Nantes Le 22/04/2022

Signature :

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Sarah Lucas', written over a horizontal line.

INTRODUCTION.....	1
PARTIE THÉORIQUE	2
I- La dyslexie.....	2
1. Définition de la dyslexie	2
2. Elaboration du diagnostic orthophonique de dyslexie	2
1. Origine neurobiologique de la dyslexie	2
2. Déviance développementale et trouble spécifique	3
C) Classification des dyslexies.....	3
1. La dyslexie de surface	4
2. La dyslexie phonologique	4
a) Définition du trouble phonologique.....	4
b) Epreuves de bilan évaluant un trouble phonologique	5
II- La mémoire de travail et la mémoire à court terme verbale.....	5
A) Définition de la mémoire de travail.....	5
B) Le modèle de Baddeley & Hitch (1974)	6
1. L'administrateur central	6
2. Le calepin visuo-spatial.....	6
3. La boucle phonologique ou la mémoire à court terme verbale	6
4. Le buffer épisodique.....	7
C) Comparaison entre mémoire de travail et mémoire à court terme	7
D) La mémoire de travail et l'attention	7
1. Définition de l'attention	7
2. Rôle de l'attention dans le fonctionnement de la mémoire de travail.....	8
E) Déficit de la mémoire de travail et de la mémoire à court terme verbale dans la dyslexie	9
1. Déficit de la mémoire de travail dans la dyslexie	9
a) Déficit d'accès aux représentations phonologiques et mémoire de travail.....	9
b) Implication du trouble de la mémoire de travail sur la lecture	9
2. Déficit de la mémoire à court terme verbale dans la dyslexie.....	10
III- La boucle audiophonatoire	10
A) L'utilisation de la boucle audiophonatoire chez des patients dyslexiques.....	10
B) Définition de la boucle audiophonatoire et intérêt pour la lecture à voix haute	11
1. Rôles de la boucle audiophonatoire	11
2. Le contrôle Feedforward	12
3. Intérêts de la boucle audiophonatoire pour l'activité de lecture à voix haute.....	12

C)	Le système auditif	13
1.	Anatomie de l'oreille et physiologie de l'audition.....	13
2.	Neurodéveloppement de l'audition	13
D)	L'appareil phonatoire	14
1.	L'anatomie et la physiologie de la phonation	14
2.	Les caractéristiques vocales	15
E)	Auto-perception vocale	16
IV-	Le casque Forbrain	16
A)	Fonctionnement et présentation du casque.....	16
B)	Etudes réalisées avec le casque Forbrain	17
1.	Etude de Li et al. (2017).....	17
2.	Etude de Sun et al. (2017)	18
3.	Etude de Gomez Guillermo (2018)	18
4.	Etude de Torabi et al. (2018).....	19
	PROBLÉMATIQUE ET HYPOTHÈSES	20
I-	Problématique.....	20
II-	Hypothèses	20
	PARTIE MÉTHODOLOGIE	21
I-	Le matériel	21
A)	Les outils d'évaluation des pré et post-tests.....	21
1.	Modalités des évaluations pré et post-protocoles.....	21
2.	La lecture de texte non signifiant	22
a)	Évalouette issu du bilan Evaléo 6-15	22
b)	L'Alouette de Lefavrais	22
3.	Les empan de chiffres	23
a)	Empan de chiffres endroit	23
b)	Empan de chiffres envers	23
B)	Le protocole d'entraînement	23
1.	Choix du protocole	23
2.	Modifications du protocole	24
C)	L'enquête de satisfaction.....	25
II-	Les participants	25
A)	Choix de la méthodologie de l'étude de cas.....	25
B)	Critères de recrutement des sujets pour l'étude	26
1.	Critères d'inclusion	26

2.	Critère d'exclusion	26
C)	Présentation des profils des sujets	26
1.	Les sujets testés	26
2.	Les sujets contrôles	26
III-	Modalités d'évaluation de l'entraînement	27
A)	Évaluation avant le protocole	27
B)	Administration du protocole modifié de Torabi et al. (2018)	27
1.	Durée, intensité, matériel utilisé.....	27
2.	Activités mises en place et modalités de passation	28
C)	Evaluation post-protocole et enquête de satisfaction	29
	RÉSULTATS	29
I-	Résultats obtenus lors de la phase de pré-tests.....	29
A)	Indices de vitesse et de précision de lecture	29
1.	Résultats des sujets testés	29
2.	Résultats des sujets contrôles	30
B)	Scores aux empan de chiffres endroits et envers	31
1.	Résultats des sujets testés	31
2.	Résultats des sujets contrôles	32
II-	Analyses quantitatives et qualitatives de l'évolution des scores entre les deux phases de tests	32
A)	L'épreuve de lecture de texte non signifiant	32
1.	Evolutions des indices de vitesse et de précision de lecture chez les sujets testés.....	32
2.	Evolutions des indices de vitesse et de précision de lecture chez les sujets contrôles..	34
B)	Les épreuves d'empan de chiffres	35
1.	Evolutions des empan endroit et envers chez les sujets testés.....	35
2.	Evolutions des empan endroits et envers chez les sujets contrôles	37
III-	Analyses comparative et qualitative des deux groupes entre eux	38
A)	Analyse comparative de l'évolution des scores entre les quatre sujets	38
B)	Analyse qualitative de la lecture	39
C)	Analyse qualitative des empan mnésiques	39
IV-	Enquête de satisfaction auprès des sujets après le protocole	39
A)	Ressentis sur la vitesse de lecture.....	40
B)	Ressentis sur la précision de lecture.....	40
C)	Ressentis sur la mémorisation	41
V-	Observations et remarques supplémentaires des sujets ayant participé à l'étude et au cours de l'étude.....	42

DISCUSSION	42
I- Le matériel utilisé, atouts et limites	43
A) Les tests de lecture d'évaluation pré et post-protocoles.....	43
B) Le protocole modifié de Torabi et al. (2018)	43
C) L'enquête de satisfaction.....	44
II- Les profils des participants de l'étude : similitudes et différences	44
III- Analyse des résultats et vérification des hypothèses	45
A) Les résultats obtenus en vitesse et en précision de lecture.....	45
1. La vitesse de lecture	45
2. La précision de lecture	46
B) Les résultats obtenus en mémoire de travail et mémoire à court terme verbale	46
1. La mémoire de travail	46
2. La mémoire à court terme verbale.....	46
C) Les résultats obtenus aux enquêtes de satisfaction.....	46
IV- Limites et perspectives	47
A) Remarques et propositions sur les résultats de l'étude.....	47
1. La vitesse de lecture	47
2. La mémoire de travail	48
3. La précision de lecture	48
B) Remarques et propositions sur les paramètres de l'étude	48
1. La fréquence d'utilisation du casque.....	48
2. L'attrait pour le port du casque	49
C) Vers une étude sur la compréhension écrite.....	49
CONCLUSION.....	50
BIBLIOGRAPHIE	51
ANNEXES.....	61

Liste des abréviations utilisées

AVC : Accident Vasculaire Cérébral

CP : Cours Préparatoire

CE1 : Cours Élémentaire première année

CE2 : Cours Élémentaire deuxième année

CM1 : Cours Moyen première année

CM2 : Cours Moyen deuxième année

DSM-5 : Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders traduit « Manuel Diagnostique et Statistique des Troubles Mentaux ».

FLE : Français Langue Etrangère

QRU : Question à Réponse Unique

TSLE : Trouble Spécifique du Langage Ecrit.

INTRODUCTION

La dyslexie, ou trouble spécifique du langage écrit (TSLE), se définit par une atteinte de la lecture et de l'orthographe, sans toutefois remettre en cause le niveau d'intelligence du patient (American Psychiatric Association, 2015). Les difficultés de lecture généralement rencontrées par les patients dyslexiques concernent la vitesse et la précision de lecture. Le déchiffrage ne s'automatise pas, ce qui induit une lecture ralentie et peu fluide, mais également la production d'erreurs phonologiques (Habib & Joly-Pottuz, 2008).

La mémoire de travail est une fonction cognitive qui permet d'accéder aux apprentissages et au raisonnement (Villemonteix, 2018). Généralement, les capacités de mémoire de travail chez les personnes dyslexiques sont déficitaires. Ce trouble entraîne donc des difficultés supplémentaires pour l'apprentissage et l'automatisation de la lecture chez les enfants qui présentent ce trouble.

Le casque Forbrain est un outil qui permet de s'entendre parler. Il est utilisé, selon son programme d'affiliation, par environ 2000 orthophonistes et audiologistes dans le monde. Ce casque s'appuie sur des principes de la boucle audiophonatoire mais il est pourvu d'une technologie permettant une rétroaction auditive modifiée. Le casque Forbrain ajuste donc les fréquences de la parole de son utilisateur afin de défier sa boucle audiophonatoire. Il semble que l'utilisation de ce casque dans certaines conditions, permette d'améliorer le niveau de lecture chez des enfants présentant des difficultés dans cet apprentissage (Torabi et al., 2018).

Nous souhaiterions donc tester si le port du casque Forbrain permet d'influer sur la précision et la vitesse de lecture chez deux enfants dyslexiques, ainsi que sur leurs capacités de mémoire de travail. Le travail que nous réalisons est une étude de cas multiples dans laquelle deux jeunes dyslexiques porteront le casque Forbrain et réaliseront le protocole de l'étude de Torabi et al. (2018) auquel nous avons effectué quelques adaptations. Deux autres enfants dyslexiques réaliseront ce même entraînement mais ne porteront pas le casque Forbrain.

Dans un premier temps, nous effectuerons une étude de la littérature récente sur la dyslexie. Puis, nous présenterons le modèle de la mémoire de travail de Baddeley et Hitch (1974) ainsi que les déficits de cette mémoire au sein du TSLE. Ensuite, nous étudierons le processus de la boucle audiophonatoire et son intérêt pour la lecture à voix haute afin d'introduire le casque Forbrain et les études qui ont déjà été menées à partir de cet outil. Dans un second temps, nous présenterons notre protocole et le déroulement de notre étude de cas. Nous exposerons les résultats obtenus et discuterons enfin des points forts de notre étude mais également de ses limites et de ses perspectives.

PARTIE THÉORIQUE

I- La dyslexie

1. Définition de la dyslexie

La dyslexie, ou trouble spécifique du langage écrit, est classée par le manuel diagnostique et statistique des troubles mentaux (DSM-5) parmi les troubles spécifiques des apprentissages qui sont eux-mêmes intégrés au sein des troubles neurodéveloppementaux. Ceux-ci se manifestent précocement dans le développement de l'enfant et ont un impact significatif sur son fonctionnement personnel, social, scolaire ou professionnel (American Psychiatric Association, 2015). En 2007, l'Inserm (2007) fait état d'une prévalence de la dyslexie comprise, au minimum, entre 3 et 5% chez les enfants en France.

La dyslexie est un diagnostic orthophonique qui se caractérise par des difficultés d'identification rapide et précise de mots écrits au cours de tâches de lecture, mais également par un déficit de reconnaissance de l'orthographe des mots. L'apprentissage de l'orthographe étant étroitement lié à celui de la lecture, la dyslexie entraîne alors une dysorthographe qui demeure plus durable dans le temps (Habib & Joly-Pottuz, 2008).

Le terme de « spécificité » de ce trouble de lecture signifie que la dyslexie est un trouble structurel, ou primaire, qui n'est pas la conséquence d'une étiologie connue (Launay, 2018). Afin de déterminer si les difficultés d'apprentissage de la lecture relèvent d'un trouble spécifique ou d'un retard, les orthophonistes réalisent un bilan complet du langage écrit du patient pour y rechercher des critères précis.

2. Elaboration du diagnostic orthophonique de dyslexie

Le diagnostic de dyslexie peut être posé, selon les critères du DSM-5, dès le bilan initial et à partir du troisième trimestre de la classe de Cours Préparatoire (CP) (Launay, 2018).

1. Origine neurobiologique de la dyslexie

Au cours de l'anamnèse, l'orthophoniste recherche tout d'abord des antécédents de troubles des apprentissages au sein de la famille du patient. DeFries et al (1987) ont notamment mis en avant une origine génétique de la dyslexie lors d'une étude auprès de jumeaux homozygotes. Le critère d'hérédité est donc un facteur prédictif d'un trouble des apprentissages. Toutefois, l'absence d'antécédents familiaux ne doit pas exclure le diagnostic de dyslexie puisqu'il peut exister des cas sporadiques (Ramus, 2008). Par ailleurs, les avancées de la recherche ont conclu que l'origine génétique de la dyslexie entraînait des répercussions au

niveau neurobiologique (Sprenger-Charolles, 2009). L'imagerie médicale a notamment permis de mettre en lumière certaines particularités cérébrales chez les dyslexiques par rapport aux normo-lecteurs. En effet, un défaut d'activation au niveau de trois régions cérébrales de l'hémisphère gauche a été repéré. Celles-ci sont le cortex pré-frontal inférieur et le carrefour temporo-pariétal, qui sont respectivement les aires de Broca et de Geschwind. Ces régions corticales sont d'ailleurs connues pour leur implication au sein du langage. La troisième zone cérébrale mise en cause dans la dyslexie est l'aire de la forme visuelle des mots localisée au niveau du gyrus fusiforme gauche. Cette région est en charge de l'attribution du caractère linguistique aux enchaînements de lettres qui constituent les mots. L'aire de la forme visuelle des mots se spécialise donc dès l'entrée dans l'apprentissage de la lecture mais ne semble que partiellement activée chez les individus dyslexiques. Ainsi, la sous-activation des trois aires corticales présentées précédemment entraîne un trouble phonologique qui caractérise une grande majorité des cas de dyslexie (Habib, 2015).

2. Déviance développementale et trouble spécifique

À travers les différentes épreuves du bilan orthophonique, nous cherchons à savoir si les résultats du patient témoignent d'une déviance développementale ou non. Pour ce faire, nous comparons les résultats du patient par rapport à ceux d'enfants de même âge développemental de lecture. Celui-ci s'obtient grâce à la passation d'une tâche de lecture de texte non signifiant. Lors de cette épreuve, la précision et la vitesse de lecture sont évaluées et permettent d'attribuer un âge développemental de lecture au patient en fonction de sa performance. Pour les sujets dyslexiques, cet âge de lecture est généralement inférieur à leur âge biologique. Ensuite, les résultats des autres épreuves du bilan orthophonique réalisé par l'enfant peuvent être comparés à ceux de son âge développemental de lecture, c'est-à-dire à ceux d'enfants plus jeunes. Si les scores du patient sont toujours inférieurs à ceux de la population référente (c'est-à-dire aux enfants de même âge développemental de lecture), ils témoignent d'un trouble spécifique des apprentissages avec déficit de la lecture. Au contraire, si les résultats suivent ceux des courbes des enfants de même âge de lecture, alors le patient présente seulement un retard dans l'acquisition de la lecture, aussi appelé « trouble non spécifique des apprentissages avec déficit de la lecture » (Launay, 2018).

C) **Classification des dyslexies**

Les recherches effectuées lors des dernières décennies ont permis de conclure que les particularités neurologiques des dyslexiques entraînent deux types de troubles cognitifs sous-jacents à leur dyslexie (Valdois, 2017). Il y a d'une part le trouble phonologique et d'autre part

le trouble visuo-attentionnel. Ces troubles cognitifs permettent de classer les dyslexies en trois natures distinctes : phonologique, de surface ou mixte. Un trouble phonologique entraînera une dyslexie phonologique, un trouble visuo-attentionnel conduira à une dyslexie de surface et l'addition des deux troubles engendrera une dyslexie mixte (Launay, 2018). Grâce aux épreuves de bilan, l'orthophoniste évalue si le patient présente un trouble phonologique et/ou un trouble visuo-attentionnel. Cette évaluation permettra d'établir un diagnostic précis du trouble du patient et ainsi de lui proposer un plan de soins adapté à ses besoins. Nous détaillerons davantage la dyslexie phonologique dans le cadre de ce mémoire.

1. La dyslexie de surface

Le trouble visuo-attentionnel est un trouble cognitif qui peut engendrer des difficultés d'identification des mots écrits et donc entraver la lecture. Ce trouble impacte la répartition de l'attention visuelle des patients lors de la lecture d'un mot. Ces lecteurs sont gênés pour identifier une lettre qui est entourée par d'autres à cause d'un effet d'encombrement visuel (Bosse et al., 2009). La dyslexie de surface qui résulte de ce trouble cognitif altère donc la constitution d'un lexique orthographique stable chez ces lecteurs (Bedoin et al., 2010).

Afin de savoir si un patient présente une dyslexie de surface, l'orthophoniste peut évaluer son empan visuo-attentionnel. Cet empan correspond au nombre d'éléments qu'une personne peut analyser en simultané lors d'une seule fixation visuelle (Bosse et al., 2009).

2. La dyslexie phonologique

Par ailleurs, dans la littérature, les auteurs s'accordent sur le fait que le déficit phonologique est lui aussi un trouble cognitif qui impacte encore davantage l'apprentissage de la lecture (Ramus, 2004).

a) Définition du trouble phonologique

Ce trouble phonologique se définit par un déficit de la représentation des sons qui induit d'importantes difficultés de conscience phonologique, c'est-à-dire de manipulation du matériel verbal (Lyon et al., 2003). Par exemple, la segmentation phonologique, c'est-à-dire le découpage des mots en sons, ou le maintien en mémoire à court terme verbale d'une information pertinente lors d'une tâche de rime, sont échoués chez un sujet qui présente un trouble phonologique (Habib & Joly-Pottuz, 2008). En outre, ce trouble se manifeste par un déficit en mémoire à court terme phonologique et un défaut de récupération lexicale des représentations phonologiques (Casalis et al., 2018). En effet, les recherches qui ont été effectuées ont permis de mettre en cause, non pas le système des sons des dyslexiques, mais l'accès à leurs représentations phonologiques comme origine du trouble phonologique (Ramus & Szenkovits,

2008). Les sujets dyslexiques doivent donc mobiliser des ressources attentionnelles importantes pour décoder les mots et les phrases d'un texte, ce qui peut donc altérer leur compréhension de l'écrit (Sitbon et al., 2008). Enfin, le trouble phonologique altère les apprentissages réalisés « par cœur ». En effet, ce déficit conduit généralement à des difficultés lors de l'apprentissage des tables de multiplication ou des poésies (Launay, 2018).

b) Epreuves de bilan évaluant un trouble phonologique

Ainsi, au cours du bilan du langage écrit, les orthophonistes cherchent à savoir si les difficultés du patient sont le reflet d'un trouble phonologique. Pour ce faire, le patient doit être évalué au cours de différentes épreuves. La répétition de pseudomots permet tout d'abord d'évaluer la stabilité des représentations phonologiques du patient ainsi que ses capacités de mémoire à court terme phonologique (Mousty & Alegria, 1999). Ensuite, une épreuve de métaphonologie, telle qu'une tâche de suppression de son, renseigne sur les compétences de conscience phonologique du patient (Sprenger-Charolles et al., 2009). Enfin, une tâche de dénomination rapide permet d'évaluer la récupération lexicale (Casalis et al., 2018).

À travers cette description du trouble phonologique, qui caractérise la dyslexie phonologique, nous avons pu voir que ce déficit correspond à un défaut d'accès aux représentations phonologiques. Cet accès est notamment permis grâce à la mobilisation de certaines fonctions cognitives, telles que la mémoire de travail et la mémoire à court terme verbale (Ramus & Szenkovits, 2008).

II- La mémoire de travail et la mémoire à court terme verbale

A) Définition de la mémoire de travail

La mémoire de travail est un système cognitif qui permet de maintenir, traiter et coordonner des informations stockées au sein de la mémoire à court terme pendant une brève période de temps (Wokuri & Marec-Breton, 2018). La mémoire de travail est considérée, plus précisément, comme l'une des fonctions exécutives (Chevalier, 2010). Ce concept recouvre également les notions de planification, de flexibilité, et d'inhibition. Chacun de ces processus cognitifs est impliqué dans la régulation et le contrôle des comportements complexes qui sont dirigés vers un but (Censabella, 2007). Le maintien et le traitement des informations à court terme réalisés par la mémoire de travail permettent notamment d'accéder aux apprentissages et au raisonnement. Le calcul mental repose par exemple sur cette mémoire puisqu'il nécessite le stockage successif de série de nombres et leur manipulation afin d'obtenir les résultats en chaîne (Villemontheix, 2018).

B) Le modèle de Baddeley & Hitch (1974)

Différents auteurs ont proposé une structure et un fonctionnement propre à la mémoire de travail. Dans ce mémoire, nous nous attacherons à suivre le modèle de Baddeley et Hitch (1974) qui est le plus représenté dans la littérature. Ce modèle permet en effet de définir et de présenter les fonctionnements cognitifs normo-typiques et pathologiques, qu'ils concernent les adultes ou les enfants (Barrouillet & Camos, 2007).

Baddeley et Hitch (1974) proposent en effet que la mémoire de travail soit structurée en plusieurs unités distinctes. Elle est composée selon eux, d'une entité principale appelée administrateur central et de deux sous-systèmes, dépendants de l'administrateur central, que sont le calepin visuo-spatial et la boucle phonologique. En 2000, Baddeley ajoute une nouvelle sous-entité parallèle, qu'est le buffer épisodique (Piolat, 2004). Le modèle actualisé de la mémoire de travail de Baddeley et Hitch est proposé en annexe A.

1. L'administrateur central

Tout d'abord l'administrateur central est considéré comme le processus de supervision de la mémoire de travail. Il a en effet pour rôles de coordonner les actions de la boucle phonologique et du calepin visuo-spatial ainsi que d'assurer la transmission des informations entre ces deux structures et la mémoire à long terme (Vallat, 2005). En outre, l'administrateur central a également pour fonctions de focaliser et de partager l'attention (Olive & Piolat, 2005).

2. Le calepin visuo-spatial

Par ailleurs, le calepin visuo-spatial est l'une des composantes de la mémoire de travail et demeure sous la supervision de l'administrateur central. Ce calepin visuo-spatial assure le stockage des informations visuelles et spatiales et permet la formation ainsi que le traitement des images mentales (Gyselinck et al., 1998).

3. La boucle phonologique ou la mémoire à court terme verbale

De même, la boucle phonologique est également une composante de la mémoire de travail sous la dépendance de l'administrateur central. Elle est aussi appelée « mémoire à court terme verbale » (Bussy et al., 2013). Cette boucle phonologique a pour fonction d'assurer l'activation des informations phonologiques afin qu'elles restent en mémoire. Pour cela, la boucle phonologique sollicite ses deux sous-unités que sont la récapitulation articulatoire subvocale et le stock phonologique (Majerus, 2010). D'une part, le stock phonologique permet de maintenir en mémoire temporairement les informations verbales qui lui sont présentées auditivement. Afin de stocker ces informations, celles-ci sont codées phonologiquement (Poncellet & Van der Linden, 2003). D'autre part, la récapitulation articulatoire subvocale

assure le rafraîchissement de ces codes phonologiques en les réintroduisant, de manière continue, au sein du stock phonologique. Ce processus permet ainsi de contrer la naturelle dégradation des informations phonologiques (Majerus, 2010).

4. Le buffer épisodique

Enfin, le buffer épisodique est la quatrième et dernière unité de la mémoire de travail. Celle-ci a en effet été rajoutée au modèle de Baddeley qui a été révisé en 2000 (Baddeley & Hitch, 2000). Le buffer épisodique agit, comme les deux premiers sous-systèmes, sous le contrôle de l'administrateur central (Quinette et al., 2013). Ce nouveau système esclave a la particularité de traiter des informations multimodales. C'est-à-dire qu'il peut manipuler des stimuli visuels, verbaux, spatiaux et des représentations mentales qui vont être stockés sous forme de codes amodaux. Ces différentes informations sont ensuite stockées temporairement au sein de la mémoire de travail et peuvent être transmises directement à la mémoire à long terme par le biais du buffer épisodique lui-même. En outre, le buffer épisodique permet l'encodage et la récupération des souvenirs au sein de la mémoire épisodique (Eustache, 2009).

C) Comparaison entre mémoire de travail et mémoire à court terme

Les concepts de mémoire à court terme et de mémoire de travail sont souvent confondus de par leur lien étroit. D'une part, la mémoire à court terme stocke les informations perçues dans un temps restreint. Elle repose sur la boucle phonologique pour les informations verbales tandis que les informations visuelles et spatiales sont maintenues en mémoire grâce au calepin visuo-spatial. Selon ces deux définitions, on distingue la mémoire à court terme verbale et la mémoire à court terme visuo-spatiale qui appartiennent toutes les deux au concept de mémoire à court terme. D'autre part, la mémoire de travail a également pour fonction de stocker temporairement des informations, mais elle permet aussi, leur manipulation. Ce traitement différencie donc mémoire à court terme et mémoire de travail, et celui-ci est permis grâce à l'administrateur central (Bussy et al., 2013).

D) La mémoire de travail et l'attention

1. Définition de l'attention

L'attention se définit comme un stock limité de ressources cognitives qui permettent de se centrer sur des éléments externes (objets ou personnes) ou sur soi-même (pensées, souvenirs et émotions) afin d'obtenir des informations ou de réaliser une tâche spécifique (Chevalier, 2010). L'attention joue notamment un rôle dans les processus de mémorisation, mais dépend

pour cela de l'intégrité de facteurs sensoriels, psychiques (disponibilité et motivation), neurologiques et intellectuels (Brin-Henry et al., 2018).

Les auteurs ont répertorié trois composantes attentionnelles qui sont complémentaires :

- L'attention soutenue qui correspond à la capacité à maintenir son attention, de manière stable et efficace, sur une longue durée, lors d'une activité cognitive (Lapointe, 2004).
- L'attention sélective qui se définit par la capacité à traiter les éléments pertinents d'un stimulus tout en résistant aux distracteurs (Bejaoui & Pardinielli, 2010).
- L'attention divisée ou partagée qui correspond à la capacité à traiter au moins deux stimuli simultanément (Brin-Henry et al., 2018).

2. Rôle de l'attention dans le fonctionnement de la mémoire de travail

Comme nous l'avons vu précédemment, l'administrateur central est la composante de la mémoire de travail qui coordonne et supervise les actions des sous-systèmes que sont le calepin visuo-spatial, la boucle phonologique et le buffer épisodique. Or, l'administrateur central a également pour fonctions de focaliser et de partager l'attention entre ces trois sous-systèmes, afin d'assurer le bon fonctionnement de la mémoire de travail (Olive & Piolat, 2005). Ainsi, lors de la mémorisation d'un stimulus cible, plusieurs processus attentionnels sont recrutés. Tout d'abord, l'attention sélective permet d'orienter et de soutenir la centration vers l'élément à retenir tout en inhibant les stimuli alentours. Puis, lorsque l'information cible n'est plus présente dans l'environnement, c'est l'attention soutenue qui permet au stimulus de rester en mémoire. Le stockage de l'information est réalisé grâce à un phénomène de répétition mentale (Villemonteix, 2018). Ce mécanisme, aussi appelé « rafraîchissement attentionnel », permet un déplacement bref de l'attention orienté vers des stimuli récents, afin de réactiver leurs traces mnésiques et de les maintenir actifs au sein de la mémoire de travail (Fanuel et al., 2021).

Les performances de la mémoire de travail sont donc influencées par la disponibilité des ressources attentionnelles. C'est-à-dire qu'une attention labile induit une fragilisation de cette mémoire et se traduit par une haute sensibilité aux interférences. Par exemple, des distracteurs attentionnels tels que le stress, la dépression, la fatigue, les médicaments ou l'alcool vont perturber les performances de la mémoire de travail (Croisile, 2009). Or, la fatigue est une conséquence possible de la lenteur de lecture chez les personnes dyslexiques (Montarnal, 2012). Elle met donc à mal leur ressources attentionnelles qui sont déjà largement sollicitées par le décodage des mots. Cette fatigue peut donc induire une altération des performances en mémoire de travail qui elles, peuvent être d'emblée déficitaires chez les personnes dyslexiques.

E) Déficit de la mémoire de travail et de la mémoire à court terme verbale dans la dyslexie

1. Déficit de la mémoire de travail dans la dyslexie

La mémoire de travail est généralement déficitaire chez les personnes dyslexiques (Alegria & Mousty, 2004). Les enfants présentant ce trouble spécifique des apprentissages obtiennent en effet des résultats aux tâches d'empan en moyenne inférieurs à ceux des normo-lecteurs. Ces déficits concernent tant le matériel linguistique que numérique. Toutefois, il faut bien noter que la dyslexie ne trouve pas son origine dans les troubles de la mémoire de travail (Barrouillet & Camos, 2007).

a) Déficit d'accès aux représentations phonologiques et mémoire de travail

Le trouble phonologique qui caractérise la dyslexie phonologique est dû, comme nous l'avons évoqué antérieurement, à un défaut d'accès aux représentations des sons. Ces représentations, ou codes phonologiques, permettent de stocker les informations verbales au sein de la mémoire de travail. L'accès aux codes phonologiques étant fragilisé chez les sujets dyslexiques, leurs capacités de mémoire de travail sont donc généralement déficientes (Alegria & Mousty, 2004). L'activité phonologique en mémoire de travail est soumise à l'effet de rime et à l'effet de longueur. L'effet de rime consiste à ce que les mots qui riment entre eux soient plus difficiles à récupérer que ceux qui ne riment pas pour une tâche de restitution ordonnée de mots (Alegria & Mousty, 2004). L'effet de longueur quant à lui, signifie que les mots longs sont plus difficiles à maintenir en mémoire que les mots courts. En effet, les mots longs nécessitent de manière logique, plus de temps de répétition au sein de la récapitulation articulatoire de la boucle phonologique (Collette et al., 2007). Ces deux effets sont bien moins marqués chez les dyslexiques et chez les lecteurs débutants que chez les lecteurs experts. Ce qui permet d'appuyer le fait que le déficit en mémoire de travail chez les dyslexiques résulte bien, non pas d'une non-utilisation des représentations phonologiques, mais bien d'un défaut d'accès à celles-ci (Alegria & Mousty, 2004). Dans les cabinets d'orthophonie, l'évaluation de l'empan de la mémoire de travail est réalisée grâce à une tâche de répétition d'une liste de chiffres à l'envers (Majerus, 2018).

b) Implication du trouble de la mémoire de travail sur la lecture

Un trouble de la mémoire de travail chez des enfants dyslexiques peut donc majorer certaines difficultés dans l'activité de lecture. Par exemple, le traitement des informations dans les phrases peut être altéré tout comme l'assemblage phonologique lors de l'identification de mots écrits (Alegria & Mousty, 2004). De même, les capacités de la mémoire de travail chez

les enfants dyslexiques doivent être systématiquement évaluées puisque un déficit de cette mémoire peut entraîner des difficultés pour l'acquisition de l'orthographe, le développement de la conscience syntaxique et la compréhension écrite (De Jong, 2006).

2. Déficit de la mémoire à court terme verbale dans la dyslexie

Par ailleurs, la mémoire à court-terme verbale est elle aussi, généralement déficitaire chez les individus dyslexiques. Ce déficit a pour origine, à la fois une limitation générale dans les capacités de cette mémoire, mais également des confusions de sons lorsque des mots doivent être mémorisés. Les représentations phonologiques des dyslexiques étant instables, les confusions de sons sont donc logiquement majorées au sein de leur mémoire à court-terme verbale (Ramus & Szenkovits, 2008).

Plusieurs études font le constat que les capacités de mémoire à court terme verbale sont en outre, prédictives des capacités d'apprentissage du vocabulaire, du calcul et de la lecture (Attout et al., 2014 ; Leclercq, & Majerus, 2010 ; Majerus, & Boukebza, 2013 ; Martinez Perez et al., 2012). La boucle phonologique est en effet en charge de l'apprentissage du nom de chaque lettre et du phonème qui lui est associé (Barrouillet & Camos, 2007). Un déficit de cette mémoire chez les sujets dyslexiques est donc susceptible de majorer leurs difficultés au cours de l'apprentissage de la lecture (Majerus & Poncelet, 2017).

Dans les cabinets d'orthophonie, l'évaluation de la mémoire à court terme verbale est réalisée grâce à des tâches d'empan. Les patients doivent répéter une liste de chiffres ou de non-mots à l'endroit (Majerus, 2016).

La dyslexie se caractérise par un défaut d'accès aux représentations phonologiques. Celui-ci peut induire entre autres, un défaut de conscience phonologique. Ce déficit est également retrouvé chez les étrangers qui débutent l'apprentissage du français. Afin de faciliter l'émergence de cette conscience phonologique, il leur est proposé en cours de Français Langue Etrangère (FLE) de réaliser un entraînement audiophonatoire (Billières, 2005). Le recours à l'utilisation de la boucle audiophonatoire pour les personnes dyslexiques semble donc être une piste à explorer dans le cadre de la prise en charge de leur trouble phonologique.

III- La boucle audiophonatoire

A) L'utilisation de la boucle audiophonatoire chez des patients dyslexiques

Alexander et al (1991) ont proposé un entraînement qui permet de travailler la conscience phonologique chez des patients dyslexiques âgés entre 8 et 12 ans. Cet entraînement

appelé « Auditory Discrimination in Depth », traduit « La discrimination auditive détaillée » s'appuie sur des activités phonologiques et sur l'impact des feedbacks sensoriels. Les exercices proposés entraînaient notamment l'expression orale et les compétences phonologiques des sujets afin de compenser leurs difficultés en lecture. Avant de commencer l'entraînement, chacun des phonèmes de la langue a été analysé sensoriellement. En effet, les sujets ont pu analyser visuellement les sons à l'aide d'un miroir, pour prendre conscience de la forme buccale nécessaire pour produire ce son. Des appariements de phonèmes visuellement semblables, dits « sosies labiaux », ont donc pu être réalisés, c'est le cas du /p/ et du /b/. Les jeunes ont également pu s'écouter prononcer les sons afin de les décrire jusqu'à leur attribuer leurs caractéristiques phonétiques. Les feedbacks sensoriels ainsi reçus favorisent donc le développement des compétences métalinguistiques des sujets. Ensuite, au cours de l'entraînement, les jeunes devaient apparier des sons et les dessins de bouche correspondants à ces sons afin de réactiver les concepts travaillés au préalable. Ils ont également été entraînés à des activités de conscience phonologique telles que l'épellation et la lecture de pseudomots avant de réaliser ces mêmes tâches avec des mots issus du lexique de la langue. À la fin de l'entraînement, il apparaît que la conscience phonologique, ainsi que les compétences en lecture des sujets testés, ont été significativement améliorées. L'utilisation des feedbacks sensoriels comme outils à la rééducation semble donc intéressante dans la rééducation du langage écrit.

De même, dans le cadre d'atteinte neurologique sévère, l'utilisation d'un feedback auditif est courante, notamment lors de la mise en place d'une synthèse vocale. Ce retour sensoriel constitue en effet une aide en cas de trouble phonologique (Bianco et al., 2006).

Dans ce mémoire, nous ciblerons notre propos sur le feedback auditif comme outil dans la prise en soins de la dyslexie.

B) Définition de la boucle audiophonatoire et intérêt pour la lecture à voix haute

1. Rôles de la boucle audiophonatoire

La boucle audiophonatoire se définit succinctement comme un processus permettant de s'entendre parler. Un schéma représentatif du fonctionnement de la boucle audiophonatoire est proposé en annexe B. Cette boucle permet ainsi de réaliser un rétrocontrôle sur notre voix, afin de réguler nos productions vocales (Brin-Henry et al., 2018). Cette régulation met en jeu quatre phases : la perception du son par l'oreille interne, la transmission de ce son au cerveau, l'analogie entre le son émis et celui qui était attendu et les potentielles corrections apportées par le locuteur. Les rectifications à réaliser peuvent être de différentes natures. Il y a d'une part, les corrections phonatoires qui concernent les paramètres vocaux tels que la hauteur, l'intensité

et le timbre et d'autre part, les corrections motrices qui modifient l'articulation (Ernst, Klein-Dallant, 2016). Le rétrocontrôle auditif permettant ces corrections, agit donc en temps réel, lors de la production de parole du locuteur. Néanmoins, la parole fluente présente un débit élevé. Ainsi, l'analyse réalisée par la rétroaction auditive additionnée aux corrections à apporter semblent trop conséquentes pour être toutes prises en compte instantanément. Un système de contrôle en amont de la production de la parole, appelé « contrôle Feedforward » permet d'éviter cette difficulté.

2. Le contrôle Feedforward

Il est également appelé « le système de commande prédictive ». Celui-ci agit sur la vitesse de la parole ainsi que sur la voix afin d'anticiper des erreurs de production (Verdier & Diday, 2019). Ce processus repose sur les modèles internes correspondants aux apprentissages effectués par le locuteur à partir de ses précédents feedbacks auditifs. Par exemple, le contrôle Feedforward est sollicité dans des situations de phonation dans un environnement sonore bruyant. Le locuteur s'appuie sur ses anciennes expériences, enregistrées sous forme de modèles internes, pour préparer l'appareil phonatoire. De cette manière, il parlera à une hauteur suffisante pour être entendu et à une vitesse de parole moindre, mais régulière, afin d'être intelligible (Selleck & Sataloff, 2014).

3. Intérêts de la boucle audiophonatoire pour l'activité de lecture à voix haute

Au cours de la parole, le locuteur choisit les mots qu'il souhaite employer pour transmettre son message et sa voix est alors le support du langage verbal. Dans le contexte de la lecture à voix haute, le langage utilisé est d'abord écrit par un auteur, puis lu par son lecteur. À noter que nous considérons ici que l'auteur et le lecteur sont deux personnes différentes. Mais, si l'élaboration du message verbal est réalisée au préalable par un tiers, la lecture à voix haute reste toutefois un exercice complexe. Le lecteur doit en effet simultanément comprendre le contenu du texte et, grâce à sa voix, il doit le rendre intelligible. Pour cela, il doit accentuer son articulation, marquer des pauses et des instants de suspension. Afin d'ajuster sa lecture au plus près du texte, le lecteur peut donc s'appuyer sur sa boucle audiophonatoire. Celle-ci va lui permettre d'adapter et de moduler sa voix pour pouvoir traduire au mieux les émotions et le contenu du message transcrit par l'auteur (Tessarech, 2013).

Ainsi, la boucle audiophonatoire est un processus de rétrocontrôle de nos productions vocales. Elle est donc dépendante de notre système auditif, de notre appareil phonatoire et de notre système neurodéveloppemental complexe.

C) Le système auditif

1. Anatomie de l'oreille et physiologie de l'audition

Le système auditif humain est composé de structures périphériques et de zones cérébrales. L'anatomie de l'oreille est en effet organisée en trois parties distinctes qui permettent la transmission de l'onde sonore et sa transformation en influx nerveux jusqu'aux aires auditives (Simon et al., 2009). Tout d'abord, l'oreille externe capte le son grâce au pavillon. Les ondes sonores sont alors conduites au sein du méat acoustique externe (ou conduit auditif externe) jusqu'à atteindre la membrane tympanique. La mise en vibration de celle-ci, grâce au contact de l'onde sonore, entraîne l'activation de la chaîne des osselets, située au niveau de l'oreille moyenne. La mise en mouvement de ces trois os, que sont le marteau, l'étrier et l'enclume, convertit les ondes sonores en ondes mécaniques (Peterson et al., 2021). Cette énergie est ensuite transmise à l'oreille interne au niveau de la cochlée, qui est l'organe sensoriel de l'audition (El-Amraoui & Petit, 2010). Au sein de la cochlée, le son subit un phénomène de transduction mécano-électrique. Cela signifie que les ondes mécaniques sont converties en énergie électrique et ce, grâce aux cellules ciliées internes. Ces cellules sensorielles sont situées sur la cochlée. Lors de la réception du son, elles sont dépolarisées. Cette inversion des charges électriques avec l'extérieur de la cellule, entraîne une libération de neurotransmetteur (le glutamate) à l'origine de l'activation du nerf auditif primaire (El-Amraoui & Petit, 2010). Les signaux électriques obtenus peuvent alors être conduits jusqu'aux voies centrales auditives, pour être analysés par le cerveau (Simon et al., 2009). Par ailleurs les cellules ciliées externes, qui sont elles aussi situées sur la cochlée, réalisent une discrimination fréquentielle très fine des sons. Elles sont particulièrement sensibles aux fréquences de la parole. Le spectre des fréquences audibles chez l'Homme s'étend de 20 à 20 000 Hertz (Hz). Le long de la cochlée, qui a la forme de la coquille d'un escargot, chaque fréquence possède son emplacement spécifique (Ménard, 2008). Les positions suivent l'organisation suivante : la base de la cochlée comprend les hautes fréquences, c'est-à-dire les sons aigus, et son sommet comprend les basses, c'est-à-dire les sons graves (El-Amraoui & Petit, 2010).

2. Neurodéveloppement de l'audition

L'audition se développe chez l'Homme dès le développement in utero. Des réponses auditives franches sont en effet retrouvées à partir du septième mois de vie utérine (Chelli & Chanoufi, 2008). Le cortex auditif se façonne selon les expériences sensorielles auxquelles il est exposé. Ce développement débute in utero et mature tout au long de la vie grâce aux adaptations et aux apprentissages auxquels il est soumis. Chacun de ces changements entraîne

des modifications au niveau des processus auditifs centraux grâce au phénomène de plasticité cérébrale. Par exemple à la naissance, les nourrissons sont sensibles aux différences phonémiques de toutes les langues, mais progressivement ils perdent cette compétence au profit de la spécialisation des représentations linguistiques de leur langue maternelle (Werker & Tees, 2005).

Les sons qui varient rapidement en termes de fréquence et/ou de durée, qu'ils concernent la parole ou non, stimulent le cortex auditif primaire et l'aire associative proche bilatérale. En outre, les sons porteurs de contenu phonologique provoquent la stimulation de la partie médiane des sulcus et gyrus temporaux supérieurs bilatéraux. Une voie ventrale et une voie dorsale interviennent ensuite dans l'audition à partir de cette région. D'une part, la voie ventrale ou du « what » servirait à donner directement accès à l'information lexicale du mot entendu et donc à son sens. D'autre part, la voie dorsale ou du « how » réalise une analyse phonologique des sons qui permet d'identifier la manière dont ceux-ci sont effectués et agencés dans le temps. La voie dorsale permet donc de reconnaître les mots à partir de leur enveloppe de variations temporelles pour ainsi pouvoir accéder au sens (Deggouj & Demanez, 2010).

Par ailleurs, le système phonologique se construit chez l'enfant grâce à la discrimination et à la catégorisation des phonèmes parmi les stimuli auditifs temporels qu'il perçoit. Ce traitement phonologique est ensuite encodé, afin d'être conservé en mémoire. De cette manière, les phonèmes analysés pourront être décodés plus rapidement lors d'une nouvelle présentation auditive et pourront être reproduits par l'enfant. L'encodage phonologique des informations auditives est donc déterminant pour le développement du système phonologique et par extension, pour la construction du langage de l'enfant (Maillart et al., 2005). Ainsi, le développement des processus auditifs dépend d'une part, de l'intégrité des voies nerveuses qui les sous-tendent et d'autre part, d'un environnement sonore et d'un bain de langage riches, immédiats et adaptés à l'âge de l'enfant (Deggouj & Demanez, 2010).

D) L'appareil phonatoire

1. L'anatomie et la physiologie de la phonation

La phonation est permise, au niveau physiologique, grâce à la participation des trois composantes de l'appareil phonatoire, que sont l'appareil respiratoire, le larynx et les résonateurs (Cornut, 2009).

Tout d'abord, l'appareil respiratoire ou « soufflerie pulmonaire » fournit l'énergie aérodynamique nécessaire pour produire l'acte phonatoire (Boyer, 2019). Celui-ci a lieu au cours de l'expiration, qui est qualifiée de passive. Lors d'une production sonore, le temps

expiratoire est augmenté par rapport à la normale et le temps inspiratoire est alors réduit. Au cours de la phonation, les cordes vocales qui sont fixées sur le larynx, sont en adduction. C'est-à-dire qu'elles s'accrochent et créent un obstacle à la remontée de l'air des poumons dans le conduit vocal. Cette adduction induit dès lors une augmentation de la pression sous-glottique. Cette modification pressionnelle est à l'origine de la mise en vibration des cordes vocales, ce qui entraîne l'émission sonore. L'adduction prolongée des cordes vocales implique donc le maintien de l'augmentation de la pression sous-glottique tout au long de la phonation par les muscles respiratoires (Cornut, 2009). L'énergie aérodynamique fournie par les poumons est donc transformée en énergie acoustique au niveau du plan glottique (Boyer, 2019). Enfin, après la vibration des cordes vocales, le son produit se propage dans les cavités bucco-naso-pharyngées qui vont faire office de résonateurs afin de diffuser l'émission sonore dans l'air (Boyer, 2019). Ces résonateurs sont différents selon les locuteurs, ils se distinguent en effet par leur format et leur taille. Ces singularités permettent de qualifier les voix de chaque locuteur et de leur attribuer leur caractère unique (Cornut, 2009).

2. Les caractéristiques vocales

De plus, chaque voix est paramétrée selon trois caractéristiques vocales. Premièrement, l'intensité se définit comme la puissance acoustique d'une onde sonore. Elle est exprimée en décibels (dB). Cette intensité est dépendante de la pression d'air sous le plan glottique et de l'amplitude du son produit. Deuxièmement, le timbre représente la qualité d'un son qui est caractérisée par l'addition des fréquences harmoniques et de la note fondamentale. Au niveau vocal, le timbre définit les caractéristiques spécifiques propres à chaque voix. On peut par exemple définir une voix selon son éclat, c'est-à-dire selon le tonus d'adduction des cordes vocales, et la qualifier de lisse ou de rugueuse. Enfin, la hauteur ou fréquence d'un son définit celui-ci selon s'il est aigu ou grave. Une fréquence élevée caractérise un son aigu et à l'inverse, un son grave est défini par une fréquence basse. Les fréquences sont mesurées en Hertz (Hz) (Brin-Henry et al., 2018). La hauteur vocale correspond à la fréquence fondamentale, notée F_0 , de la voix de l'individu. F_0 est déterminée par la fréquence de vibration des cordes vocales. Cette fréquence d'oscillation dépend de la masse et de la taille des plis vocaux (Gaudrain & Patterson, 2010). La valeur de F_0 est par ailleurs inversement proportionnelle à la longueur des cordes vocales. Celles-ci étant en moyenne 60% plus longues chez les hommes que chez les femmes, les voix masculines sont donc plus graves que les voix féminines (Arnold, 2012). Toutefois, chaque locuteur peut faire varier sa fréquence fondamentale en contractant sa musculature laryngée, élevant ou abaissant son larynx ou modulant la pression sous-glottique.

E) Auto-perception vocale

En outre, la perception de notre propre voix repose sur une conduction particulière. En effet, alors que la réception de tous les sons est possible grâce à la conduction aérienne, l'écoute de nos productions phonatoires repose également sur la conduction osseuse (Maurer & Landis, 1990). D'une part le phénomène auditif est transmis par conduction aérienne. Cette voie de transmission par l'air correspond au trajet évoqué précédemment, de la perception du son par le pavillon jusqu'à la réception de l'onde mécanique par la cochlée. Elle concerne en effet l'oreille externe, l'oreille moyenne et l'oreille interne. D'autre part, le signal auditif est transmis par conduction osseuse. C'est-à-dire que le son provoque des vibrations dans l'air qui entraînent elles-mêmes des vibrations des os de la boîte crânienne, qui sont transmises directement à la cochlée, au niveau de l'oreille interne (Buser & Imbert, 1992). La superposition de ces deux signaux modifie la perception que nous avons de notre voix. Nos interlocuteurs bénéficient uniquement de la conduction aérienne quand nous leur parlons, leur perception de notre voix est donc différente de la nôtre (Cornut, 2009). Ce phénomène permet d'expliquer pourquoi nous ne reconnaissons pas notre voix lorsqu'elle est enregistrée, puisque l'écoute d'un enregistrement nécessite uniquement le passage du signal sonore par conduction aérienne (Maurer & Landis, 1990). Il faut toutefois noter que lors d'un enregistrement, le timbre vocal est modifié puisque le signal sonore qui est enregistré est contraint par les capacités fréquentielles du microphone utilisé. La qualité des caractéristiques vocales en est donc impactée.

La perception de la voix est analysée au niveau cérébral, ce qui permet d'identifier un locuteur grâce à la seule écoute de sa voix. Les régions cérébrales spécifiques à ce traitement vocal se situent dans le gyrus temporal supérieur (Aglieri et al., 2018). Celui-ci est notamment connu pour son implication dans l'audition puisqu'il comprend les aires auditives primaire et associative (Oertel & Doupe, 2013).

IV- Le casque Forbrain

A) Fonctionnement et présentation du casque

Le casque Forbrain est un dispositif de rétroaction auditive modifiée, c'est-à-dire un dispositif qui agit sur la boucle audiophonatoire des utilisateurs afin d'améliorer leur parole. Ce casque est un produit élaboré par l'entreprise de neurotechnologie Sound for Life Limited, dont le siège européen est situé au Luxembourg. Une photographie légendée du casque est proposée en annexe C. Le casque Forbrain est composé d'un microphone, d'un filtre dynamique et d'une

paire d'écouteurs osseux (Escera et al., 2018). Tout d'abord, le locuteur parle à voix haute dans un microphone qui est situé à environ trois centimètres de sa bouche. Le microphone capte la production vocale de l'utilisateur, ce qui permet d'activer le filtre dynamique situé au-dessus de l'oreille droite. L'intégration du signal sonore par le filtre est réalisée dans un intervalle de temps compris entre 10 et 200 millisecondes (ms). Au sein de ce filtre à deux bandes, les fréquences du signal sonore sont modifiées. D'une part, les basses fréquences, c'est-à-dire les graves, sont atténuées et d'autre part, les fréquences aiguës, qui sont les plus hautes, sont amplifiées (Escera et al., 2018). De cette manière, le casque améliore la transmission des hautes fréquences qui sont spécifiques à la parole et qui sont à l'origine d'une stimulation cérébrale importante (Gaujarengues & Lohmann, 2015). Les fréquences conversationnelles se situent en effet dans un intervalle compris entre 250 et 4000 Hz (Brin-Henry et al., 2018). Enfin, le nouveau signal est transmis aux écouteurs à conduction osseuse. Le locuteur perçoit donc, en temps réel, sa voix finement modifiée à travers les écouteurs du casque. Ceux-ci sont placés sur l'os temporal devant le pavillon. Le casque est en effet installé « à cheval » sur les oreilles. De cette manière, le conduit auditif externe de l'oreille n'est pas fermé et peut toujours percevoir les bruits environnants ainsi que sa parole, par le biais de la conduction aérienne. Par ailleurs, l'onde sonore préalablement filtrée est transmise directement à la cochlée par conduction osseuse, grâce à la position des écouteurs sur l'os temporal. La cochlée transmet ensuite au cerveau, le signal sonore modifié. La finesse des ajustements opérés permet de défier la boucle audiophonatoire et participent à l'enrichissement de l'environnement sonore. Ces phénomènes conduisent par la suite à des modifications au niveau de la plasticité auditive (Escera, 2014).

Le casque Forbrain, étant un matériel de stimulation sensorielle, il peut entraîner une certaine fatigabilité chez certains utilisateurs. C'est pourquoi son utilisation est contre-indiquée pour : les enfants âgés de moins de 3 ans, les personnes atteintes de la maladie de Parkinson ou celles atteintes d'épilepsie.

B) Etudes réalisées avec le casque Forbrain

L'utilisation du casque Forbrain a fait l'objet de plusieurs études afin de mettre en avant les intérêts thérapeutiques qu'il peut apporter chez certains patients. Nous allons maintenant présenter quatre travaux de recherche distincts qui ont été effectués avec le casque Forbrain.

1. Etude de Li et al. (2017)

Tout d'abord, le casque Forbrain a été utilisé auprès de patients cérébrolésés à travers un entraînement intensif, reposant sur des activités de lecture à voix haute et d'échanges conversationnels (Li et al., 2017). Un groupe contrôle et deux groupes expérimentaux ont été

créés et chaque participant a bénéficié des soins et de rééducations spécifiques à la prise en charge dans les suites d'un Accident Vasculaire Cérébral (AVC). Les soins proposés aux patients comprenaient des séances d'ergothérapie, de kinésithérapie et d'acupuncture. Chaque groupe expérimental a réalisé l'entraînement avec un casque, mais seul le premier groupe disposait d'un casque Forbrain. Les sujets de l'autre groupe bénéficiaient d'un casque permettant de s'entendre parler, mais qui n'était pas muni de la rétroaction auditive modifiée. Les sujets du groupe contrôle quant à eux, n'ont pas réalisé d'entraînement avec un casque mais ont bénéficié uniquement des soins et des rééducations évoquées antérieurement. Finalement les patients ayant été entraînés avec le casque Forbrain ont vu leurs capacités mnésiques et exécutives s'améliorer significativement par rapport aux autres groupes, laissant suggérer l'intérêt de ce dispositif.

2. Etude de Sun et al. (2017)

Par ailleurs, une autre étude a été réalisée auprès de patients ayant subi un accident vasculaire cérébral. La méthodologie choisie était similaire à celle de l'étude précédente. C'est-à-dire que les sujets bénéficiaient d'un même entraînement et qu'ils étaient répartis dans des groupes distincts : ceux bénéficiant d'un entraînement avec le casque Forbrain (groupe 1), ceux ayant été entraînés avec un casque muni de la boucle audiophonatoire, mais dépourvu de rétroaction auditive modifiée (groupe 2) et ceux n'ayant pas de casque (groupe contrôle). Le protocole mis en place se déroulait sur 10 semaines, à une fréquence de 5 séances hebdomadaires et d'une durée de 20 minutes chacune. Au cours de cet entraînement, les sujets devaient lire à voix haute des textes de leur choix et ajuster leur lecture selon les retours auditifs perçus. Les sujets illettrés, quant à eux, pouvaient chanter à voix haute. À la fin de l'étude, les sujets ayant bénéficié de l'entraînement au casque Forbrain témoignaient de meilleures capacités visuospatiales et attentionnelles, par rapport à celles des sujets des deux autres groupes (Sun et al., 2017).

3. Etude de Gomez Guillermo (2018)

Une autre étude auprès d'enfants scolarisés en CP ne présentant pas de difficultés scolaires ou d'antécédents de troubles psychiques, a été réalisée. Les enfants ont bénéficié d'un entraînement pendant près d'une année scolaire avec le casque Forbrain. Une succession de 14 activités de lecture réalisées chaque semaine a été effectuée en individuel et en petits et grands groupes. Il y avait notamment plusieurs activités de lecture à voix haute à partir de textes issus de différents genres littéraires : roman, poésie, ou théâtre. Les enfants étaient également invités à chanter, compter, répéter des phrases, réciter des poésies, mémoriser puis restituer des

devinettes, raconter un souvenir à la classe, ou encore à créer une histoire à partir d'images. Les élèves ont obtenu une amélioration significative des scores en vitesse de lecture et en attention par rapport aux sujets contrôles (Gomez Guillermo, 2018). Ces résultats laissent suggérer l'intérêt que peut avoir ce dispositif pour la lecture.

4. Étude de Torabi et al. (2018)

Enfin, chez des enfants âgés entre 8 et 10 ans présentant des difficultés de lecture, et non un diagnostic de dyslexie, un entraînement avec le casque Forbrain a été effectué. Cet entraînement suivait une progression dans l'utilisation du matériel verbal et s'échelonnait au cours de 20 séances d'une durée de 30 minutes chacune. Dans ce protocole, les auteurs ont ici aussi, proposé aux enfants de chanter, de répéter des mots, de lire et de créer des histoires. Il a également été demandé aux sujets de décrire des images, corriger des pseudomots ou encore d'évoquer des mots à partir d'un son imposé. A la fin de l'étude, les résultats de ces enfants en difficulté de lecture, témoignaient d'une amélioration en compréhension, en tâche de suppression de sons et de lecture de mots (Torabi et al., 2018).

Ainsi, selon les études présentées précédemment, l'utilisation du dispositif Forbrain semble conduire entre autres, à une amélioration des capacités mnésiques, attentionnelles et de lecture. Plus particulièrement, l'entraînement de la boucle audiophonatoire proposé par Torabi et al. (2018) semble avoir permis d'améliorer les compétences en lecture chez des enfants présentant des difficultés dans ce domaine des apprentissages. Nous avons pensé qu'il serait donc intéressant de réaliser un entraînement similaire chez des patients dyslexiques afin de constater si les mêmes effets peuvent être observés. Dans le cadre de ce mémoire, par souci de temps, nous ne pourrions pas étudier l'ensemble des fonctions cognitives et des compétences qui ont été mentionnées antérieurement dans les travaux sur le casque Forbrain. Pour notre étude, nous allons nous intéresser spécifiquement aux effets du dispositif Forbrain sur la vitesse et la précision de lecture ainsi que sur les capacités de la mémoire de travail et de la mémoire à court terme verbale.

PROBLÉMATIQUE ET HYPOTHÈSES

I- Problématique

La dyslexie est un trouble spécifique des apprentissages qui touche la vitesse et la précision de lecture. Dans le cadre des dyslexies phonologiques et mixtes, les patients présentent un déficit phonologique sous-jacent. Ce déficit altère l'accès aux représentations des sons. Or, ces représentations permettent le stockage des informations verbales au sein de la mémoire de travail. Ainsi, les compétences de cette mémoire sont généralement déficitaires chez les patients dyslexiques. De même, la mémoire à court terme verbale est fréquemment atteinte chez ces patients. Ce déficit est dû à une limitation générale des capacités de cette mémoire mais aussi à l'instabilité des représentations phonologiques au sein de celle-ci.

Or, l'utilisation de la boucle audiophonatoire lors de la rééducation orthophonique des TSLE semble améliorer les compétences en lecture. Cette boucle, qui permet de s'entendre parler, est d'ailleurs investie par la technologie du casque Forbrain. Cet outil est pourvu, en plus du retour vocal auditif, d'un filtre qui réalise une rétroaction auditive modifiée. Il semblerait qu'un entraînement avec ce casque influence positivement les compétences mnésiques chez certains patients. En outre, il semblerait que la vitesse et la lecture de mots chez des enfants en difficulté de lecture aient été améliorées après un entraînement avec ce casque (Torabi et al., 2018).

L'objectif de ce mémoire est donc de réaliser l'entraînement de Torabi et al (2018) et de tester si le casque Forbrain induit des effets chez des patients présentant un diagnostic de dyslexie. L'étude portera d'une part, sur la précision et la vitesse de lecture de ces patients et d'autre part, sur leurs capacités de mémoire de travail et de mémoire à court terme verbale.

II- Hypothèses

Hypothèse 1 : Les patients ayant bénéficié de l'entraînement avec le casque Forbrain verront leurs compétences en lecture s'améliorer en termes de précision et/ou de vitesse.

Hypothèse 2 : Les patients ayant bénéficié de l'entraînement avec le casque Forbrain verront leurs capacités de mémoire de travail et de mémoire à court terme verbale s'améliorer.

PARTIE MÉTHODOLOGIE

I- Le matériel

Nous allons présenter ici le matériel qui a été nécessaire au bon déroulement de notre étude. Nous présenterons d'une part les outils de test utilisés pour l'analyse des résultats et d'autre part, le protocole d'entraînement sur lequel nous nous sommes appuyées. Les tests et les séances réalisés pour cette étude ont été effectués sous la supervision directe de Madame Morille, directrice de ce mémoire et orthophoniste libérale.

A) Les outils d'évaluation des pré et post-tests

1. Modalités des évaluations pré et post-protocoles

Pour cette étude, chaque patient a réalisé deux phases de tests identiques. La première phase consistait à évaluer les compétences en lecture et les capacités mnésiques des enfants avant l'administration du protocole. Puis, la deuxième phase consistait à évaluer ces mêmes items après l'entraînement.

Chaque sujet a effectué des tests identiques avant et après le protocole. Cependant, les quatre patients n'ont pas réalisé les mêmes tests. Nous savons que cette différenciation entre les enfants constitue un premier biais méthodologique. Toutefois, ce mémoire s'articule autour d'une étude de cas multiples. C'est-à-dire que chaque sujet verra ses résultats aux pré-tests comparés avec ceux qu'il a obtenus aux post-tests. Les résultats quantitatifs ne seront pas comparés entre les différents sujets. Nous pourrions néanmoins effectuer des remarques qualitatives sur les résultats obtenus entre les différents sujets. Les tests choisis pour chaque enfant leur ont été attribués afin d'éviter qu'un effet retest perturbe les résultats de notre étude. C'est-à-dire, pour éviter que les scores obtenus aux différentes épreuves ne soient pas influencés par la répétition de l'administration de ces tests. Ces patients étant en effet tous suivis en prise en soins orthophonique, certains ont passé les mêmes intitulés d'épreuves que celles nécessaires pour l'étude lors de leur dernier bilan orthophonique. Pour ce mémoire, nous avons donc proposé à chaque sujet des tests qu'ils n'avaient pas passés au cours des derniers mois. Les tests étant effectués deux fois pour notre étude, avant et après l'entraînement, et ce à cinq mois d'intervalle, une passation supplémentaire en amont aurait pu fausser les résultats. Selon McArthur (2007), la lecture de mots réels est d'ailleurs l'un des tests qui est le plus susceptible de provoquer un effet retest après la compréhension écrite. Nous avons donc préféré différencier les épreuves de lecture entre les enfants, afin d'éviter que les résultats de l'étude soient compromis par cet effet retest.

2. La lecture de texte non signifiant

Afin d'évaluer la précision et la vitesse de lecture de chaque sujet, nous leur avons fait passer une tâche de lecture de texte non signifiant. Cette épreuve permet en effet d'évaluer la qualité du déchiffrement de l'enfant, et donc son identification des mots écrits, sans que celui-ci puisse s'appuyer sur sa compréhension. En outre, les résultats obtenus à cette tâche permettent d'attribuer un âge développemental de lecture à l'enfant, qui est donc à comparer à son âge réel.

a) **Évalouette issu du bilan Evaléo 6-15**

Les deux enfants de l'étude qui ont réalisé l'entraînement avec le casque ont lu le texte non signifiant Évalouette. Ce texte est issu de la batterie d'évaluation orthophonique Evaléo 6-15 (Launay et al., 2018). Cette batterie diagnostique permet d'évaluer les compétences des enfants âgés de 6 à 15 ans, dans les domaines du langage oral et écrit. Un troisième domaine d'évaluation regroupe plusieurs sous-domaines qui investiguent des comorbidités ou des facteurs explicatifs aux troubles du langage oral et/ou du langage écrit. Certains tests de cette batterie sont informatisés. Par ailleurs, la batterie de bilan Evaléo 6-15 propose un étalonnage en centiles avec une répartition des résultats entre sept classes distinctes. C'est-à-dire qu'en fonction des résultats obtenus à chaque épreuve, la population testée a été partagée en sept. Les classes 3, 4 et 5 représentent la normalité, ce qui correspond à 60% de la population. Les classes 6 et 7 représentent les zones supérieure et très supérieure à la moyenne, tandis que la classe 2 correspond à la zone de fragilité et la classe 1 à la zone dite « pathologique ».

La lecture à voix haute du texte Évalouette est limitée dans le temps. Le lecteur a en effet deux minutes pour lire le plus de mots et ce, le mieux possible. Le texte est proposé à l'enfant au format papier. Parallèlement, l'évaluateur suit le texte sur l'ordinateur. Il peut ainsi signaler les mots lus incorrectement ou omis pendant la lecture et pourra coter les erreurs à la fin de l'épreuve. Enfin, au cours du test, un signal sonore retentit toutes les 30 secondes afin que l'évaluateur puisse signaler où l'enfant est rendu dans sa lecture. Ces informations supplémentaires permettent d'observer un éventuel indice de dégradation au cours de la lecture. C'est-à-dire que cet indice permet d'analyser si le nombre de mots lus par tranche de 30 secondes, évolue au cours du temps. Si ce nombre diminue, l'enfant présente une fatigabilité au cours de l'activité de lecture à voix haute.

b) **L'Alouette de Lefavrais**

Les deux enfants qui ont réalisé l'entraînement sans le casque ont lu le texte non signifiant l'Alouette (Lefavrais, 1967). La lecture à voix haute de ce texte est là aussi, chronométrée mais dure trois minutes. Les mots proposés dans ce texte sont peu fréquents,

certaines sont proches phonologiquement et quelques distracteurs visuels sont glissés autour du texte (un dessin d'écureuil est placé à côté du mot « écueil »). Ce texte est référencé pour le dépistage de la dyslexie, tant chez les enfants, que chez les adultes (Mathis et al., 2018).

Cette épreuve propose un étalonnage en centiles avec une répartition des résultats de la population en cinq classes. La première et la deuxième classes correspondent aux scores situés au-delà du centile 75. La troisième zone représente les valeurs moyennes comprises entre les centiles 75 et 25. La quatrième classe correspond à la zone de fragilité puisque comprend les scores inférieurs au centile 25 et supérieurs au centile 10. Enfin, la cinquième et dernière classe, dite « pathologique », répertorie les 10% des scores les plus faibles.

3. Les empan de chiffres

a) **Empan de chiffres endroit**

Chacun des quatre enfants de l'étude a réalisé une tâche d'empan de chiffres endroit. Cette épreuve permet d'évaluer leurs capacités de mémoire à court terme verbale. Ce test consiste à répéter des listes de chiffres à l'endroit, qui ont été dictées à l'oral. Dans le cadre de ce mémoire, les listes sont dictées par l'ordinateur. La première liste est composée de trois chiffres et l'empan augmente progressivement. L'épreuve s'arrête quand le sujet cumule trois échecs. À la fin de l'épreuve, nous obtenons l'empan endroit du sujet. Les listes d'empan qui ont été utilisées dans le cadre de ce mémoire sont issues de la batterie Évaléo 6-15 (Launay et al., 2018).

b) **Empan de chiffres envers**

De même, les quatre enfants de l'étude de cas multiples ont réalisé une tâche d'empan de chiffres envers. Cette épreuve permet d'évaluer leurs capacités de mémoire de travail. Ce test consiste à répéter des listes de chiffres à l'envers qui sont dictées à l'oral. Les conditions de passation de cette épreuve sont identiques à celle de l'empan endroit. Les listes de chiffres qui ont été utilisées dans le cadre de ce mémoire sont également issues de la batterie Évaléo 6-15 (Launay et al., 2018).

B) Le protocole d'entraînement

1. Choix du protocole

Afin de tester si le casque Forbrain a permis d'influencer les scores des patients dyslexiques, en termes de précision et de vitesse de lecture, ainsi que leurs capacités de mémoire de travail et de mémoire à court terme verbale, nous nous sommes appuyées sur le protocole d'entraînement de Torabi et al. (2018). Le protocole initial et une version traduite de celui-ci

peuvent être retrouvés en annexes D et E. Deux sujets suivront cet entraînement avec le casque Forbrain et deux autres effectueront ce même protocole, mais sans le casque Forbrain.

L'entraînement qui est proposé par Torabi et al. (2018) comprend vingt séances d'une durée de 30 minutes chacune. Dans notre étude, toutes ces séances se sont échelonnées à partir de la fin du mois de septembre 2021 et ce jusqu'à la mi-février 2022. Chaque sujet venait à une fréquence d'une à deux séances par semaine. Ce rythme nous a permis de réaliser intégralement l'entraînement dans le délai que nous avons estimé.

Dans le protocole de Torabi et al. (2018), plusieurs activités sont proposées au sein de chaque séance. Celles-ci s'orientent autour de tâches de lecture à voix haute, de répétitions de mots et d'activités de conscience phonologique.

2. Modifications du protocole

Tout d'abord, nous avons ajusté les exercices pour notre étude. En effet, les activités proposées dans cet entraînement s'adressent à des enfants âgés de 8 à 10 ans. Or, les sujets qui ont intégré notre étude ont entre 11 et 12 ans. Madame Morille et moi-même, avons donc modifié certaines activités du protocole. Nous avons adapté les exercices afin que ceux-ci ne soient pas infantilisants et qu'ils participent à entretenir la motivation de ces jeunes pour leurs séances d'orthophonie. Par exemple, l'activité de chant n'a été réalisée qu'à une seule reprise, contre trois prévues initialement dans le protocole. Le chant n'ayant pas eu un franc succès auprès des adolescents. À la place, des activités de conscience phonologique et d'apprentissage d'orthographe d'usage ont été privilégiées. Nos objectifs thérapeutiques au cours de l'étude étaient : l'automatisation de la lecture de mots et de phrases, l'augmentation du lexique orthographique interne et l'amélioration de la conscience phonologique.

Par ailleurs, nous avons fait le choix d'ajuster les activités proposées à chaque enfant, afin qu'elles soient spécifiques à leurs difficultés. Ce choix a été fait car notre étude intervient et s'insère au sein de leur rééducation orthophonique. Dans cette perspective, elle se doit de suivre et de respecter les axes thérapeutiques en cours. Ainsi, la réalisation du protocole a été différenciée pour chaque enfant en termes de contenu linguistique. C'est-à-dire que tous les enfants ont réalisé les mêmes activités dans leur forme, mais que le fond a pu être hétérogène. Par exemple, dans le cadre d'un travail de conscience phonologique, nous avons pu travailler le son /j/ avec un premier enfant et le son /õ/ avec un autre. Nous avons conscience que cette différenciation constitue un biais pour l'étude. Mais notre travail consiste à réaliser une étude de cas multiples, de ce fait, chaque sujet sera comparé par rapport à lui-même. La méthodologie de l'étude de cas nous permet donc de nous autoriser ces ajustements.

C) L'enquête de satisfaction

À la fin de notre protocole, nous avons souhaité recueillir les ressentis des quatre jeunes ayant participé à l'étude, afin de compléter nos observations cliniques. Nous avons donc réalisé une enquête de satisfaction, comprenant cinq questions, qui peut être retrouvée en annexe F. Pour faciliter la tâche de nos patients dyslexiques, une seule question nécessitait le passage à l'écrit, les quatre autres étaient proposées sous forme de Question à Réponse Unique (QRU). Notre enquête a été construite à partir de la méthodologie des échelles de type Likert (Demeuse, 2007). Les questions concernaient les ressentis des sujets à propos de : leur précision de lecture, leur vitesse de lecture, l'efficacité de leur mémoire et l'éventualité qu'ils aient développé des stratégies de mémorisation. Cette dernière question a été ajoutée au questionnaire car les exercices réalisés au cours du protocole ont pu faire réfléchir les enfants sur leurs capacités de mémorisation. Enfin, la question ouverte offrait la possibilité aux sujets ayant développé de nouvelles stratégies de mémorisation, d'expliquer le fonctionnement de celles-ci.

II- Les participants

A) Choix de la méthodologie de l'étude de cas

Pour notre étude, nous avons fait le choix de réaliser une étude cas multiples. Nous ne pouvions pas élargir le nombre de participants pour des raisons matérielles. En effet, notre travail repose sur le casque Forbrain que possède Madame Morille. Nous devions donc choisir des enfants issus de sa patientèle, qui soient d'accord pour réaliser le protocole. Nous ne pouvions donc pas agrandir notre effectif à des enfants dyslexiques n'étant pas pris en soins par Madame Morille.

Nous savons d'ores et déjà que les résultats que nous obtiendrons ne seront pas généralisables à la population des jeunes dyslexiques, mais les analyses et les observations qui seront faites pourront peut-être constituer des pistes pour des travaux de plus grande ampleur.

Notre étude de cas multiples est constituée de quatre sujets qui ont entre 11 et 12 ans et sont tous scolarisés au collège à Nantes en classe de sixième ou de cinquième. Chaque patient fait partie de la patientèle de Madame Morille.

Pour chacun d'entre eux, un diagnostic de dyslexie a été posé au cours de leur prise en soins orthophonique. Afin d'intégrer l'étude, chacun des sujets devait respecter des critères spécifiques d'inclusion et d'exclusion.

B) Critères de recrutement des sujets pour l'étude

1. Critères d'inclusion

- Présenter un diagnostic de dyslexie.
- Bénéficier d'une prise en soins orthophonique par Madame Morille dans le cadre du TSLE.
- Être âgé entre 6 et 15 ans pour pouvoir être évalué par les batteries de langage écrit sélectionnées.

2. Critère d'exclusion

- Présenter des troubles visuels non corrigés.

C) Présentation des profils des sujets

Afin de choisir les sujets de ce mémoire, nous avons présélectionné quatre jeunes dyslexiques parmi la patientèle de Madame Morille. Nous les avons ensuite interrogés pour savoir s'ils étaient intéressés et motivés pour intégrer notre étude. Ils y ont tous été favorables. Puis, nous avons demandé à chaque sujet s'il souhaitait réaliser l'entraînement avec, ou sans le casque Forbrain. Nous le leur avons présenté au préalable. De cette manière, nous avons obtenu deux sujets qui utiliseraient le casque et deux qui ne l'utiliseraient pas.

1. Les sujets testés

Sujet A : Le premier enfant est un jeune garçon âgé de 11 ans et 5 mois au début de l'étude. Il est scolarisé en classe de sixième. Un diagnostic de dyslexie a été posé en 2019 par une collègue de Madame Morille, qui l'a suivi jusqu'à la fin du Cours Moyen deuxième année (CM2). Le sujet A est suivi en orthophonie depuis mars 2018. Madame Morille a poursuivi sa prise en soins à partir de l'été 2021 à raison d'une à deux séances hebdomadaires.

Sujet B : Le deuxième enfant de notre étude est une jeune fille âgée de 11 ans et 6 mois au début de notre étude. Elle est scolarisée en classe de sixième. Cette enfant a été suivie en orthophonie en fin de primaire pour un bégaiement qui a aujourd'hui quasiment disparu. Puis, cette jeune a entamé une prise en soins orthophonique pour des troubles du langage écrit. Son orthophoniste, Madame Morille, lui a diagnostiqué une dyslexie en 2020. Le sujet B bénéficie d'un suivi orthophonique qui a également une fréquence d'une à deux séances par semaine.

2. Les sujets contrôles

Sujet C : Le troisième enfant est un jeune adolescent âgé au début de notre étude, de 12 ans et un mois. Ce jeune est scolarisé en classe de cinquième. Il a bénéficié d'un suivi orthophonique

lorsqu'il était en scolarisé en CP et en Cours Élémentaire première année (CE1) pour des difficultés d'apprentissage de la lecture. Puis en classe de sixième, une nouvelle prise en soins orthophonique a débuté, toujours pour du langage écrit. L'orthophoniste qui conduit cette rééducation est Madame Morille. Celle-ci a posé un diagnostic de dyslexie pour ce patient à la fin de l'année 2020. Aujourd'hui ce jeune est toujours suivi par Madame Morille à raison d'une à deux séances hebdomadaires.

Sujet D : Le dernier enfant est un jeune adolescent âgé de 11 ans et 5 mois au début de notre étude. Cet adolescent est scolarisé en classe de sixième. Il a bénéficié d'un suivi en Centre Médico-Psychologique pour le soutenir dans ses apprentissages et diminuer ses troubles du comportement. Madame Morille a ensuite entamé avec ce jeune une prise en soins orthophonique, orientée sur le langage écrit. Celle-ci a posé un diagnostic de dyslexie en 2021. Le suivi orthophonique se poursuit aujourd'hui, à raison d'une à deux séances hebdomadaires.

III- Modalités d'évaluation de l'entraînement

A) Évaluation avant le protocole

Pour réaliser ce mémoire, nous avons réalisé une phase de pré-tests afin d'évaluer les compétences des sujets en vitesse et en précision de lecture, ainsi que leurs capacités de mémoire de travail et de mémoire à court terme verbale. Ces tests ont été réalisés avant le début du protocole, soit vers la mi-septembre 2021. Les résultats obtenus pour chaque enfant permettent d'établir une ligne de base afin d'observer les effets de l'entraînement avec et sans le casque Forbrain.

B) Administration du protocole modifié de Torabi et al. (2018)

1. Durée, intensité, matériel utilisé

Le protocole a eu une durée de 20 séances, comme celui de Torabi et al. (2018). Il a débuté pour tous les sujets à la mi-septembre 2021 et s'est arrêté, selon les enfants, courant ou fin février 2022. Le protocole s'est échelonné à une fréquence d'une ou deux sessions hebdomadaires, selon la disponibilité des jeunes et du contexte sanitaire lié à la pandémie. Chaque séance a eu une durée de 30 minutes.

Le matériel utilisé pour les activités du protocole a été choisi parmi les outils orthophoniques de Madame Morille. Les cartes de « La course à l'apprentissage », (OrthoEdition) ont permis de travailler les fluences phonologiques et la création d'histoires à

partir de mots. Par exemple, les sujets devaient évoquer le plus de mots possibles à l'oral se terminant par la graphie « -cien » et ce, dans un temps restreint. Ensuite, ils devaient comparer les syntagmes qu'ils avaient trouvés, avec ceux proposés par la carte. S'ils n'avaient pas dit tous les mots de la carte, alors les jeunes étaient invités à créer une courte histoire, répertoriant tous les mots, afin de les récupérer en mémoire, lors du prochain tour. Cette activité permettait donc de travailler de manière ludique, l'orthographe d'usage, la fluence phonologique et la mémoire. Les cartes de « Fantômophonie » (OrthoEdition) ont également été utilisées au cours du protocole. À partir de ces cartes, des activités d'évocation de lexique catégoriel ont pu être réalisées. Par exemple, une carte indiquait le mot « bleu » et les jeunes devaient trouver au moins trois mots qu'ils rapprochaient de ce mot. Nous nous sommes également appuyées sur ce jeu pour réaliser des activités d'inversion syllabique au sein d'un mot et de reconstitution de mots sur épellation. Nous avons aussi utilisé certaines planches issues des manuels « Où est Charlie ? » afin de réaliser les activités d'évocation à partir d'images.

Par ailleurs, de nombreux temps de lecture à voix haute ont été effectués. Ces activités ont été réalisées à partir de romans adaptés aux âges des sujets. Tous les enfants ont par exemple lu « L'œil du loup » de Daniel Pennac que Madame Morille utilise régulièrement dans son exercice. Ce livre bénéficie d'une édition adaptée pour les personnes dyslexiques. C'est-à-dire que les pages sont peu chargées visuellement puisque les mots sont plus espacés entre eux par rapport à ce qui est retrouvé dans une édition classique. Sa lecture en est donc facilitée pour les enfants, qui ont particulièrement apprécié l'histoire. Les sujets ont également pu lire « Le petit prince » d'Antoine de Saint-Exupéry. À partir des histoires lues, des questions de compréhension de texte ont pu être posées aux jeunes, pour vérifier leur traitement de certaines inférences. Les illustrations des livres et des albums, ont également été utilisées dans notre protocole. Celles-ci ont permis de réaliser à l'oral des descriptions d'images.

2. Activités mises en place et modalités de passation

À chaque séance, un temps de lecture à voix haute était proposé. Celui-ci pouvait être réalisé uniquement par l'enfant ou en alternance avec l'orthophoniste. Ce changement de lecteur a permis de soulager l'effort fourni par le jeune et lui a procuré du plaisir à lire un roman.

Nous avons beaucoup travaillé à partir de mots présentant des sons ou des suffixes identiques. Par exemple, tous les enfants ont cherché des syntagmes commençant par « ex- ». Certaines listes de mots étaient issues de cartes de jeux orthophoniques et étaient complétées par les évocations des enfants. Afin de les conserver en mémoire, et aussi d'en intégrer l'orthographe, les enfants étaient amenés à les écrire et à créer des histoires à l'oral avec tous

les mots choisis. Les syntagmes leur étaient ensuite redemandés lors de la séance suivante, à l’oral et à l’écrit. Nous avons constaté que cette méthode permettait généralement aux enfants de retrouver tous les mots, ce qui les rendait réellement fiers d’eux.

C) Évaluation post-protocole et enquête de satisfaction

Afin de tester si l’entraînement avec le casque Forbrain a permis d’influencer les compétences en lecture et les capacités mnésiques des enfants, nous avons réalisé une phase de post-tests. Chaque enfant a relu le texte non signifiant qui lui avait été présenté en septembre et a effectué les tâches d’empans de chiffres endroit et envers. Cette phase de tests post-protocole a eu lieu, selon les enfants, à la fin du mois de février ou au cours de la première semaine de mars 2022.

Par ailleurs, nous avons souhaité faire passer une enquête de satisfaction aux quatre sujets ayant réalisé d’étude. Ceux-ci l’ont complétée au début du mois d’avril 2022. Le délai entre la passation des post-tests et celle de l’enquête s’explique par le fait que nous avons pensé à créer cette enquête au cours de l’analyse des résultats quantitatifs. Il nous a en effet semblé pertinent d’apporter une approche qualitative à l’étude, grâce à nos observations cliniques, mais également à travers un questionnaire adressé directement aux jeunes.

RÉSULTATS

I- Résultats obtenus lors de la phase de pré-tests

A) Indices de vitesse et de précision de lecture

1. Résultats des sujets testés

Le tableau 1 répertorie les scores de lecture des sujets qui ont réalisé l’entraînement avec le casque Forbrain ; c’est-à-dire les sujets testés. Pour chacun, le tableau reprend le nombre de mots correctement lus par l’enfant, le nombre total de mots lus, le score de précision et enfin, l’âge développemental de lecture. Les données sont issues du logiciel de la batterie de bilan Evaléo 6-15 suite à la passation des lectures du texte non signifiant Evalouette (Launay et al., 2018). Les indices de précision de lecture, exprimés en pourcentages, sont obtenus en divisant le nombre de mots correctement lus, par le nombre de mots lus au total, ce résultat étant ensuite multiplié par 100. L’indice de vitesse est quant à lui évalué grâce au nombre total de mots lus.

Les pré-tests ont été effectués en septembre. Nos sujets sont alors scolarisés en début de 6^{ème}. Nous pouvons donc comparer leurs résultats avec les étalonnages de CM2 et observer ces mêmes résultats par rapport à ceux d'élèves de 6^{ème}.

Tableau 1 : Scores de vitesse et de précision de lecture des sujets testés aux pré-tests.

Sujets		
Natures des scores	Sujet A	Sujet B
Nombre de mots correctement lus	82	145
Nombre de mots lus (Indice de vitesse)	90	156
Indice de précision	91,1%	92,9%
Âge développemental de lecture	CE1 1 ^{er} trimestre	CM1

Le sujet A obtient un indice de vitesse de lecture qui le situe dans la zone pathologique, c'est-à-dire en-deçà du centile 7. Son indice de précision est lui, situé dans la zone de fragilité ou dite « à risque », c'est-à-dire en-deçà du centile 20. Ces classifications correspondent à l'étalonnage de CM2. Si nous comparons ces scores à ceux d'élèves de 6^{ème}, la précision de lecture intègre la zone pathologique.

Le sujet B obtient des scores de vitesse et de précision de lecture qui le situent dans la zone de fragilité pour les deux critères. Ces résultats correspondent à l'étalonnage de la batterie pour des enfants scolarisés en CM2. Si nous comparons les résultats du sujet B avec ceux d'élèves de 6^{ème}, l'indice de vitesse est toujours dans la zone de fragilité. Toutefois, l'indice de précision bascule dans la zone pathologique.

À travers le Tableau 1, nous pouvons constater que les sujets A et B présentent chacun un âge développemental de lecture inférieur à leur classe d'âge. Nous notons par ailleurs, que le sujet A est davantage en difficulté par rapport au sujet B. Sa lecture est plus lente et moins précise.

2. Résultats des sujets contrôles

Dans le tableau 2 sont répertoriés les scores de lecture des enfants qui ont réalisé l'entraînement sans le casque. Les résultats sont issus de leur lecture du texte l'Alouette (Lefavrais, 1967). Pour ce test, le calcul de l'indice de précision est identique à celui de la batterie Evaléo 6-15. Toutefois, le calcul permettant d'obtenir l'indice de vitesse est différent pour l'Alouette. En effet, il faut ici multiplier le nombre de mots lus correctement par 180, qui correspond au temps en secondes attribué pour le test, puis diviser le nombre obtenu par le

temps de lecture en secondes. Pour ce tableau, nous différencions donc les scores de nombre de mots lus et d'indice de vitesse.

Tableau 2 : Scores de vitesse et de précision de lecture des sujets contrôles aux pré-tests.

Sujets		
Natures des scores	Sujet C	Sujet D
Nombre de mots correctement lus	229	83
Nombre de mots lus	241	92
Indice de précision	95%	90%
Indice de vitesse	229	83
Âge développemental de lecture	CM1	CE1

Les pré-tests ont été effectués en septembre. Le sujet C est alors scolarisé en début de 5^{ème} et le sujet D en début de 6^{ème}. De la même manière que pour les sujets testés, nous pouvons respectivement comparer les résultats de nos sujets contrôles avec les étalonnages de 6^{ème} et 5^{ème} (sujet C) ainsi que de CM2 et de 6^{ème} (sujet D).

Le sujet C obtient un indice de vitesse qui le situe en-deçà du centile 10, c'est-à-dire dans la zone pathologique. Ces résultats correspondent à l'étalonnage d'enfant scolarisés en 6^{ème} et en 5^{ème}. Néanmoins, son indice de précision se situe dans la zone de fragilité, c'est-à-dire entre le 10^{ème} et le 25^{ème} centile, et ce, pour les deux étalonnages qui le concernent.

Le sujet D obtient un indice de vitesse qui est très en-deçà de sa classe d'âge puisqu'il correspond à celui d'enfants scolarisés en CE1 (Cours Élémentaire première année). Son score le situe donc au niveau du centile 10 dès l'étalonnage des élèves de CM2. En outre, l'indice de précision du sujet D se situe en-deçà du 10^{ème} centile de la population des enfants scolarisés en CM2. Ce jeune est donc particulièrement en difficulté dans l'activité de lecture à voix haute.

B) Scores aux empan de chiffres droits et envers

1. Résultats des sujets testés

Le tableau 3 référence les scores des empan de chiffres droit et envers des sujets ayant réalisé l'entraînement avec le casque Forbrain. Ces empan correspondent respectivement aux capacités de mémoire à court terme verbale et de mémoire de travail.

Le sujet A et le sujet B présentent un empan droit qui les situe dans la zone de fragilité par rapport aux étalonnages d'enfants scolarisés en CM2 et en 6^{ème}. Toutefois leurs scores sont différents pour l'empan envers. Le score obtenu par le sujet A, le situe dans la moyenne basse,

c'est-à-dire dans la norme, et le score du sujet B, le situe dans la zone pathologique, et ce quel que soit l'étalonnage. Les capacités de mémoire de travail du sujet B sont donc inférieures à la moyenne et à celles du sujet A.

Tableau 3 : Scores d'empans de chiffres endroit et envers des sujets testés aux pré-tests.

Sujets Nature de l'empan	Sujet A	Sujet B
Empan endroit	4	4
Empan envers	3	2

2. Résultats des sujets contrôles

Le tableau 4 référence les scores des empans de chiffres endroit et envers des sujets ayant réalisé l'entraînement sans le casque.

Les sujets C et D ont obtenu les mêmes scores aux tâches d'empan. Pour chacun d'eux, l'empan endroit se situe dans la zone de fragilité, quels que soient les étalonnages. Par ailleurs, leurs résultats obtenus pour l'empan envers les situent dans la norme, au niveau de la moyenne basse. Les empans des sujets contrôles étant identiques lors des pré-tests, il sera intéressant d'analyser leur évolution, pour chacun et l'un par rapport à l'autre, à la fin de l'entraînement.

Tableau 4 : Scores d'empans de chiffres endroit et envers des sujets contrôles aux pré-tests.

Sujets Nature de l'empan testé	Sujet C	Sujet D
Empan endroit	4	4
Empan envers	3	3

II- Analyses quantitatives et qualitatives de l'évolution des scores entre les deux phases de tests

A) L'épreuve de lecture de texte non signifiant

1. Evolutions des indices de vitesse et de précision de lecture chez les sujets testés

Nous allons maintenant analyser pour chaque sujet, ayant réalisé l'entraînement avec le casque, l'évolution de ses scores en lecture en termes de vitesse et de précision. Les post-tests

ayant eu lieu en mars, les résultats des sujets seront comparés uniquement à ceux d'élèves scolarisés en 6^{ème}. Les scores pour chaque sujet sont détaillés et répertoriés en annexe G.

Tout d'abord, nous allons nous intéresser aux résultats du sujet A. Son indice de vitesse est toujours situé dans la zone pathologique. Toutefois, nous pouvons constater qu'il a lu plus de mots à la phase de post-tests. Il a en effet lu 28 mots supplémentaires. Cela signifie que ce jeune identifie désormais plus rapidement, les mots mais que la lecture reste toutefois coûteuse (Figure 1). De plus, son nouvel indice de précision demeure dans la zone pathologique malgré là encore, une amélioration du score en lui-même (Figure 2). Enfin, son âge développemental de lecture en mars 2022, correspond à celui d'un enfant scolarisé en Cours Élémentaire deuxième année (CE2). Son niveau de lecture est donc inférieur à son niveau scolaire, mais ses efforts lui ont permis de compenser, en partie, ses difficultés.

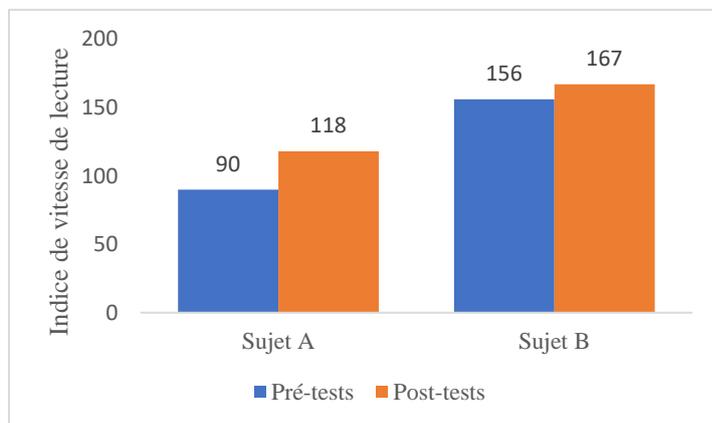


Figure 1 : Graphique d'évolution de l'indice de vitesse de lecture des sujets testés entre les deux phases de tests.

Ensuite, nous allons analyser les résultats obtenus par le sujet B. Son indice de vitesse à la phase de post-tests se situe toujours dans la zone de fragilité. Nous pouvons toutefois observer une augmentation du score qui passe de 156 à 167 (Figure 1). Par ailleurs, l'indice de précision s'est amélioré pour le sujet B (Figure 2). La jeune patiente obtient un score de 96,4% ce qui la situe dans la norme, au niveau de la moyenne basse. L'âge développemental de sa lecture est toujours égal à celui d'un élève scolarisé en Cours Moyen première année (CM1). Cette enfant compense donc bien sa dyslexie, mais a besoin de temps supplémentaire pour pouvoir réaliser une lecture efficace.

Nous pouvons donc constater pour les deux sujets, que tous les scores de la phase de post-tests, sont supérieurs à ceux de la phase de pré-tests. Certains gains sont tout de même

faibles. En effet, les résultats du sujet A ne lui ont pas permis de sortir de la zone pathologique et ceux du sujet B se sont normalisés uniquement pour la précision.

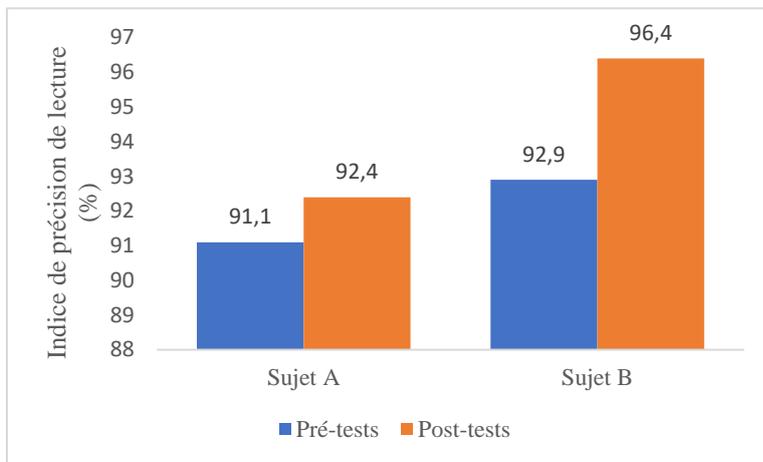


Figure 2 : Évolution de l'indice de précision de lecture des sujets testés entre les deux phases de tests.

2. Évolutions des indices de vitesse et de précision de lecture chez les sujets contrôles

À travers ces graphiques nous pouvons analyser l'évolution des scores pour chacun des sujets contrôles. Les résultats pour chaque sujet sont détaillés et répertoriés en annexe G.

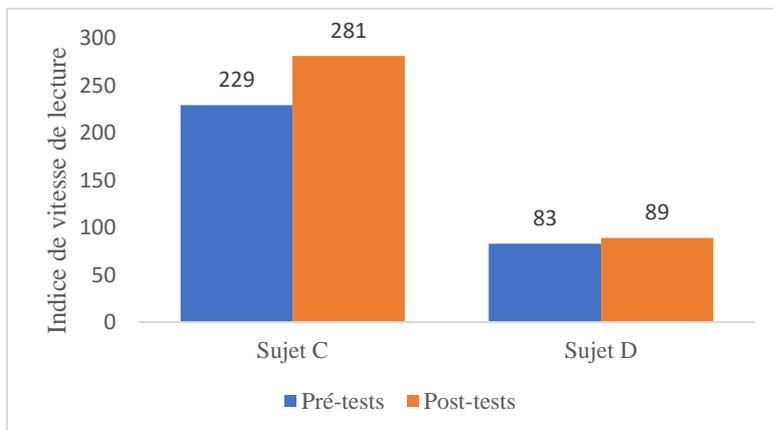


Figure 3 : Évolution de l'indice de vitesse de lecture des sujets contrôles entre les deux phases de tests.

Nous pouvons observer que le sujet C a vu son indice de vitesse s'améliorer puisqu'il a réussi à terminer sa lecture avant le temps imparti lors de la phase de post-tests (Figure 3). Son score se situe désormais entre les centiles 25 et 50 par rapport à un étalonnage de jeunes scolarisés en 5^{ème}. La vitesse de lecture du sujet C s'est donc quasiment normalisée.

Néanmoins, l'indice de précision de lecture de ce jeune a diminué entre les deux phases de tests (Figure 4). Ces résultats sont toutefois à nuancer. En effet, lors de la première lecture

de l'Alouette en septembre 2021, le sujet C avait obtenu un score de précision de 95%, mais avait lu 241 mots. Tandis que lors de la deuxième lecture en mars 2022, il a obtenu un indice de précision de 94%, mais en ayant lu 265 mots, soit l'intégralité du texte. Cette différence de score ne témoigne pas d'une régression, mais d'une augmentation proportionnelle du nombre d'erreurs, par rapport au nombre de mots lus. Ce phénomène peut être dû à une fatigabilité liée à l'activité de lecture à voix haute et/ou au déficit phonologique à l'origine de la dyslexie. L'indice de précision de lecture du sujet C correspond toujours à un âge développemental de lecture d'enfant scolarisé en CM1.

Nous pouvons analyser l'évolution du sujet D entre les deux phases de tests. Son indice de vitesse de lecture se situe toujours en-deçà du centile 10 (Figure 3). De plus, l'indice de précision de lecture de ce jeune est de 80%, ce qui correspond à un âge développemental de lecture d'un élève de CP. Par rapport à des enfants scolarisés en 6^{ème}, le sujet D se situe donc en-deçà du centile 10. Là encore, l'indice de précision a diminué en comparaison à la phase de pré-tests (Figure 4). Tout comme le jeune précédent, le sujet D a lu plus de mots lors de la deuxième phase de tests. La fatigabilité et le déficit phonologique peuvent être à l'origine de ce phénomène. Le sujet D reste donc toujours très en difficulté dans l'activité de lecture à voix haute.

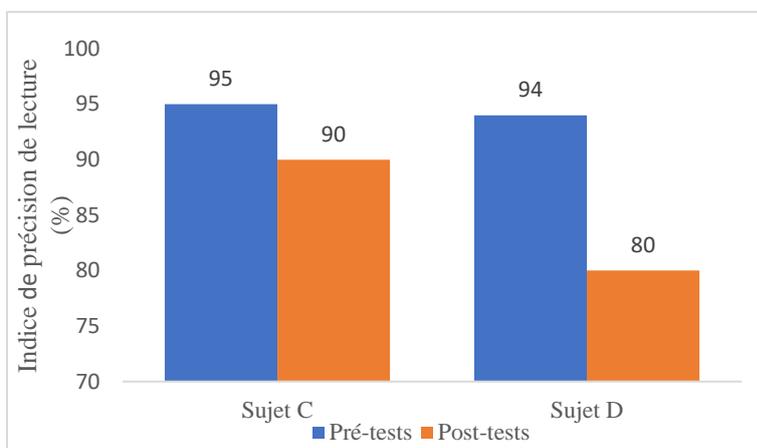


Figure 4 : Évolution de l'indice de précision de lecture des sujets contrôles entre les deux phases de tests.

B) Les épreuves d'empan de chiffres

1. Evolutions des empan endroit et envers chez les sujets testés

Nous allons maintenant analyser pour chaque sujet ayant réalisé l'entraînement avec le casque Forbrain, l'évolution de ses scores aux tâches d'empan. Les post-tests ayant eu lieu en

En mars, les résultats des sujets seront comparés uniquement à ceux d'élèves scolarisés en 6^{ème}. Les scores pour chaque sujet sont détaillés et répertoriés en annexe H.

Le sujet A présente aux post-tests le même score à la tâche d'empan endroit que lors des pré-tests (Figure 5). Ce qui le situe toujours dans la zone de fragilité. Ses capacités de mémoire à court terme verbale ne se sont donc pas améliorées entre les deux phases de tests. En revanche, son empan envers est désormais de 4 contre 3 en septembre 2021 (Figure 6). Ce nouveau score le situe désormais dans la zone de normalité. Sa mémoire de travail constitue donc une ressource sur laquelle il peut s'appuyer pour ses apprentissages.

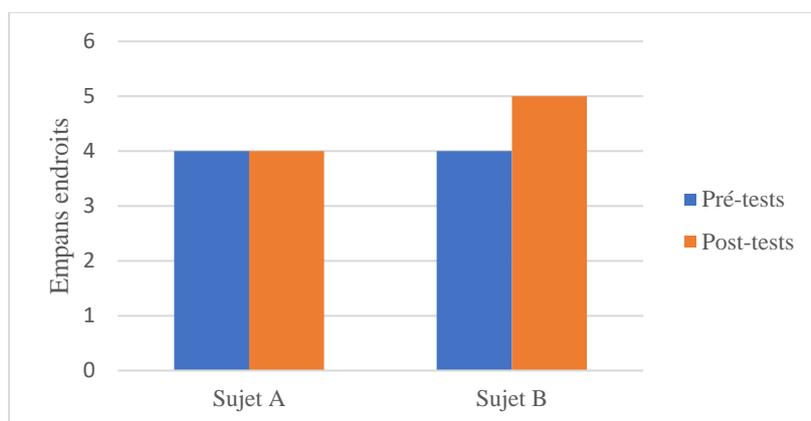


Figure 5 : Évolution des scores d'empan endroit des sujets testés entre les deux phases de tests.

Le sujet B a amélioré son empan endroit, qui vaut désormais 5 (Figure 5). Ce nouveau score lui permet de se situer dans la moyenne basse. De même, son empan envers a progressé et vaut 3 (Figure 6). Cela lui permet là encore d'intégrer la zone de normalité. Les capacités mnésiques de cette jeune fille se sont donc améliorées, tant en mémoire à court terme verbale, qu'en mémoire de travail.

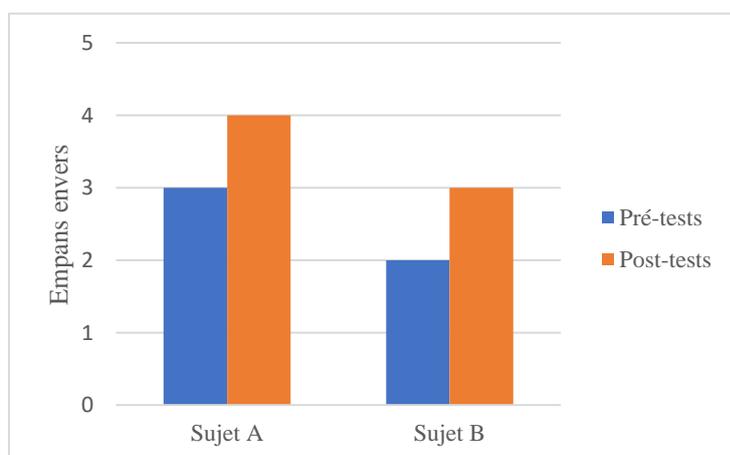


Figure 6 : Évolution des scores d'empan envers des sujets testés entre les deux phases de tests.

2. Évolutions des empanns droits et envers chez les sujets contrôles

Nous allons poursuivre avec l'analyse des résultats obtenus par les deux sujets contrôles lors des tâches d'empan. Les scores pour chaque sujet sont détaillés et répertoriés en annexe H.

Tout d'abord, le sujet C a obtenu de meilleurs scores pour les deux types de mémoire. L'empan droit est désormais de 5 et l'empan envers est de 4 (Figures 7 et 8). Ces nouveaux résultats situent le sujet C dans la norme.

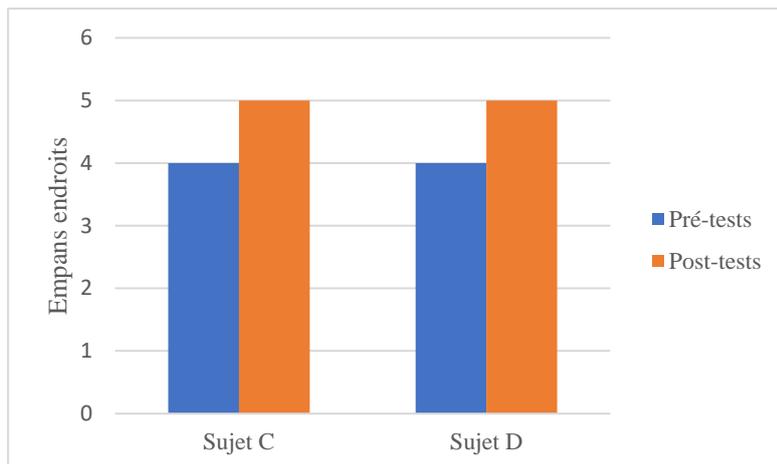


Figure 7 : Évolution des scores d'empanns droits des sujets contrôles entre les deux phases de tests.

De même, le sujet D a amélioré ses capacités mnésiques et ce, pour les deux types de mémoire. L'empan droit est dans la moyenne. L'empan envers est de 5, ce qui signifie que le sujet D est dans la moyenne haute des enfants de son âge. Il présente le meilleur score par rapport aux autres sujets de l'étude alors qu'il est le jeune le plus en difficulté dans les apprentissages.

Ainsi, les deux sujets contrôles ont vu leurs capacités mnésiques s'améliorer à la fin de l'entraînement.

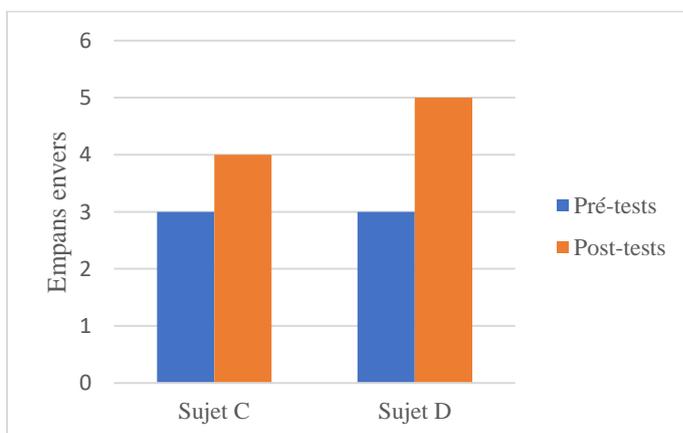


Figure 8 : Évolution des scores d'empanns envers des sujets contrôles entre les deux phases de tests.

III- Analyses comparative et qualitative des deux groupes entre eux

A) Analyse comparative de l'évolution des scores entre les quatre sujets

Dans la méthodologie de l'étude de cas, chaque sujet voit ses résultats obtenus aux deux phases de l'étude, comparés entre eux. C'est ce que nous vous avons présenté précédemment.

Toutefois, il nous a semblé intéressant de réaliser une courte analyse graphique où les résultats des quatre sujets sont comparés entre eux. La figure 9 représente l'évolution des indices de précision de lecture pour chacun des sujets. Avant toute analyse, nous souhaitons rappeler que celle-ci comporte des biais. Les textes non signifiants lus par les enfants, ne sont pas identiques. La comparaison que nous souhaitons en faire est donc uniquement informative. De même, les temps de lecture accordés pour chaque texte sont différents. Les sujets testés ont lu l'Évalouette en deux minutes et les sujets contrôles ont lu l'Alouette en trois minutes. Les coûts cognitifs recrutés ne sont donc pas les mêmes. En outre, les calculs des indices de vitesse de lecture des deux tests, sont également différents. Ces divergences nous ont donc conduit à ne pas réaliser d'analyse graphique comparative du critère de vitesse de lecture. Les analyses comparatives des évolutions des empan pour les deux types de mémoire, sont présentées en annexes H et I.

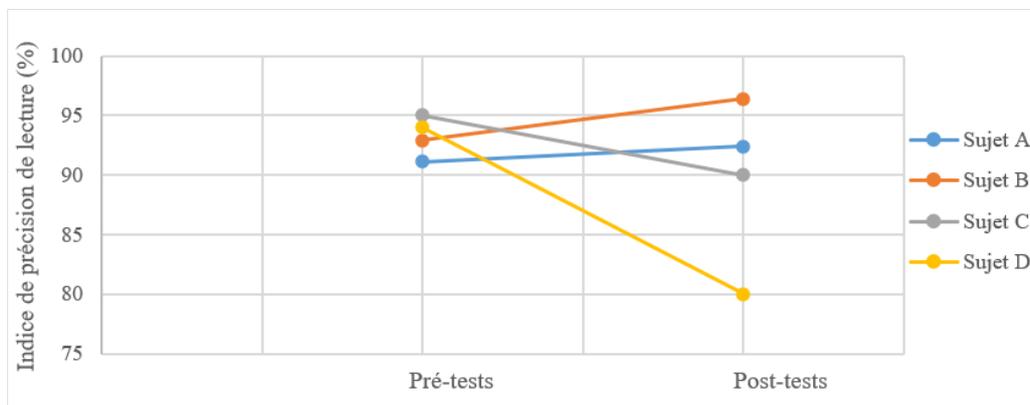


Figure 9 : Évolution des indices de précision de lecture des quatre sujets entre les deux phases de tests.

La Figure 9 permet donc de comparer visuellement les courbes d'évolution des indices de précision de lecture des quatre sujets. Comme nous l'avons évoqué précédemment, les deux sujets contrôles ont obtenu des scores inférieurs aux post-tests par rapport à ceux obtenus aux pré-tests. Tandis que les deux sujets testés voient leurs courbes augmenter. Les degrés d'ascendance des courbes restent pour autant très légers.

B) Analyse qualitative de la lecture

À travers les résultats de l'étude, nous pouvons constater que les scores des sujets testés en lecture se sont améliorés pour les deux indices, tant pour la précision que pour la vitesse. Tandis que seul l'indice de vitesse de lecture a été amélioré chez les sujets contrôles. L'utilisation du casque semble donc avoir eu un impact sur la précision de lecture chez les sujets l'ayant utilisé. Toutefois, les résultats obtenus aux post-tests en précision de lecture chez les sujets testés ne témoignent pas d'une normalisation des scores pour les deux sujets. Seule la jeune fille a obtenu un score qui la situe dans la moyenne par rapport aux autres enfants de sa classe d'âge.

Pour tous les sujets, les erreurs réalisées en lecture sont celles qui sont fréquemment produites par les personnes dyslexiques. Certaines erreurs relevées à la première lecture sont retrouvées lors de la deuxième lecture. Nous retrouvons : de nombreuses paralexies verbales et sémantiques, des erreurs de conversion grapho-phonémique (la flexion verbale -ent lue /ã/) ainsi que des erreurs sur les graphies complexes et contextuelles : s/ss, g/ge.

C) Analyse qualitative des empanns mnésiques

Par ailleurs, tous les sujets de l'étude ont amélioré leurs capacités en mémoire de travail. En effet, chaque score d'empan envers a augmenté lors de la phase de post-tests. L'amélioration la plus importante est celle du sujet D, avec deux points d'empan supplémentaires. Le casque Forbrain ne semble donc pas avoir d'influence sur les capacités mnésiques des sujets qui l'ont porté. Toutefois, l'entraînement en lui-même, pourrait être responsable de cette évolution homogène. L'activité de création et de mémorisation de phrases à partir de mots, qui a été réalisée à plusieurs reprises au cours du protocole, est peut-être à l'origine de ces améliorations.

La mémoire à court terme verbale a également été améliorée pour le sujet B et les sujets contrôles. Toutefois, elle n'a pas évolué pour le sujet A. Nous ne pouvons donc pas établir d'effets du casque Forbrain sur les capacités de mémoire à court terme verbale, ni de l'entraînement en lui-même.

IV- Enquête de satisfaction auprès des sujets après le protocole

Nous avons réalisé une enquête de satisfaction auprès des quatre sujets, un mois après la fin du protocole. Ce délai se justifie par le fait qu'au cours de l'analyse des résultats quantitatifs, il nous a semblé qu'il manquait des informations sur les ressentis des sujets. Nous avons donc réalisé une courte enquête, pour étayer notre propos.

A) Ressentis sur la vitesse de lecture

Les réponses des patients au sujet de leur impression de lire plus rapidement sont très hétérogènes. Les sujets avaient en effet quatre choix de réponse possible : « pas du tout », « un peu », « beaucoup » ou « je n'ai pas d'avis ». Chacun des jeunes a alors entouré une réponse différente. Le sujet A a choisi la réponse « beaucoup », ce qui est en adéquation avec ses résultats aux deux lectures de texte. Il avait en effet lu 28 mots supplémentaires au cours de sa deuxième lecture. Le sujet B a entouré la réponse « je n'ai pas d'avis » et a écrit à côté de sa réponse qu'elle « lit parfois trop vite ». Ce qui peut laisser entendre que la jeune fille produit plus d'erreurs si elle lit vite, ou bien, qu'elle n'est plus intelligible pour ses auditeurs, ou encore qu'elle ne comprend pas ce qu'elle lit. Le sujet C a choisi la réponse « pas du tout ». Cette réponse nous surprend étant donné que c'est le jeune qui a obtenu la meilleure amélioration de son indice de vitesse. Il avait en effet lu 52 mots correctement en plus, lors de sa seconde lecture de l'Alouette. Enfin, le sujet D a produit une réponse intéressante et amusante à cette question. Il a entouré deux items : « pas du tout » et « un peu », puis il a écrit à côté « pas trop ». Si la frontière est mince entre « un peu » et « pas trop », nous pouvons imaginer que ce jeune a peut-être voulu nous faire plaisir en écrivant « pas trop » plutôt qu'en entourant seulement « pas du tout ».

B) Ressentis sur la précision de lecture

Pour la question des impressions des jeunes sur leur précision de lecture, les réponses ont ici été plus homogènes. Il leur avait été demandé s'ils pensaient « mieux lire » et cela pouvait signifier qu'ils se sentaient plus précis dans leur lecture ou qu'ils butaient moins sur les mots. Le sujet A, a là encore entouré la réponse « beaucoup ». Son indice de précision s'est en effet amélioré, mais de seulement 1,3%, ce qui peut être considéré comme une légère amélioration. De son côté, le sujet B, a elle aussi choisi la réponse « beaucoup ». Sa réponse est en adéquation avec ses résultats, puisque c'est la patiente qui a connu la meilleure évolution de son indice de précision avec une augmentation de 3,5%. Une amélioration qui lui a permis notamment de se situer dans la norme des jeunes de son âge. La patiente a également indiqué par écrit, que le casque Forbrain lui a permis de moins buter sur les mots et de moins omettre certaines syllabes. En outre, le sujet C a coché la réponse « un peu » et a ajouté par écrit qu'il est plus précis, mais qu'il bute toujours sur certains mots. Son analyse fine est intéressante et cohérente, puisqu'il a effectué de nombreuses paralexies identiques entre ses deux lectures de l'Alouette. Certaines graphies complexes lui posent donc toujours des problèmes et altèrent la qualité de sa lecture. Enfin, le sujet D a également entouré la réponse « un peu » à cette question.

Nous avons vu au cours de l'analyse quantitative que ce jeune avait obtenu un indice de précision inférieur en deuxième lecture, mais qu'il avait lu plus de mots. Ce qui signifie qu'il identifie plus vite les mots écrits et qu'il bute moins dessus. La réponse du jeune est donc cohérente avec les résultats que nous avons observés.

C) Ressentis sur la mémorisation

Les dernières questions sont consacrées à la mémoire. Afin de simplifier les réponses à l'enquête pour les enfants, nous n'avons pas dissocié la mémoire de travail et la mémoire à court terme verbale, mais nous les avons rassemblées sous le terme général de « mémoire ».

La première question interroge les jeunes pour savoir s'ils ont l'impression de mieux mémoriser. Les sujets testés (A et B) ont fourni la même réponse : « un peu ». Leurs réponses sont en adéquation avec leurs résultats puisque pour les deux mémoires, ils ont chacun augmenté leurs empan d'un point et le sujet A, n'a pas vu d'évolution pour sa mémoire à court terme verbale. Le sujet C quant à lui, a répondu « beaucoup » à cette question. L'augmentation de ses empan est d'un point pour les deux mémoires. Nous voyons ici que pour des résultats égaux, les impressions des enfants peuvent être sensiblement différentes. Enfin, le sujet D n'avait pas d'avis concernant cette question. Cette réponse était surprenante, puisque c'est le jeune qui a obtenu les meilleures améliorations d'empan pour les deux types de mémoire.

Ensuite, il est demandé aux jeunes s'ils ont l'impression d'avoir développé des stratégies de mémorisation efficaces au cours du protocole. S'ils fournissent une réponse affirmative, ils doivent expliquer par écrit à la dernière question, le fonctionnement de cette stratégie. Les deux sujets testés ont répondu la même réponse « beaucoup ». Le sujet A décrit sa stratégie de la manière suivante : « je lis le document dans ma tête, après je l'écris et je le relis à voix haute ». Le sujet B explique sa stratégie de cette manière : « je fais des images dans ma tête, j'associe des mots qui s'écrivent avec des sons en commun ». Par ailleurs le sujet C répond « un peu » à la question sur son impression de mieux mémoriser. Il détaille ensuite de cette manière : « mes stratégies c'est de faire des liens avec des mots plus faciles à retenir ou des images dans ma tête ou des histoires ». Nous pouvons donc constater que les jeunes ont réellement conscientiser leurs stratégies de mémorisation et quelles qu'elle soient, elles fonctionnent. Le sujet D a quant à lui, répondu qu'il n'avait pas d'avis sur une possible évolution de sa mémorisation.

Enfin, le sujet C a ajouté un commentaire à la fin de son questionnaire que nous souhaitons mettre en avant. Il écrit en effet qu'il a aimé les exercices de mémorisation et que « c'était bien de réussir ». Cette courte phrase signifie bel et bien que les patients doivent être mis en situation de réussite lors des séances, notamment lorsque le quotidien leur rappelle

inlassablement leurs difficultés. Dans le cadre des rééducations orthophoniques des troubles du langage écrit, généralement longues et difficiles pour les patients, il semble indispensable que ceux-ci se sentent valorisés pour pouvoir rester motivés.

V- Observations et remarques supplémentaires des sujets ayant participé à l'étude et au cours de l'étude

Au cours des séances du protocole, nous avons relevé certaines remarques de la part des sujets mais aussi des modifications de comportements chez eux que nous voulions retranscrire dans cet écrit. Ces commentaires concernent à la fois les sujets ayant réalisé l'entraînement avec le casque Forbrain et à la fois ceux ayant réalisé l'entraînement sans le casque.

Le sujet A, lors de la dernière séance du protocole, nous a transmis qu'il constatait que le casque l'aidait à épeler certains mots complexes. Il a également pu dire au cours du protocole que le casque lui permettait de lire « plus vite et mieux ». Il semblerait que l'utilisation du casque lui ait permis de se concentrer davantage lors des séances et qu'il ait pu recruter une attention plus importante lors des activités de conscience phonologique et des temps de lecture. De son côté le sujet B exprime un ressenti plus mitigé. La jeune fille apprécie le casque puisqu'il lui permet à elle aussi, d'accélérer son rythme de lecture. Toutefois, elle fait le constat qu'elle supporte moins de le porter lorsqu'elle est fatiguée. Le retour vocal créé par le casque peut donc devenir une contrainte dans certains cas.

De plus chacun des sujets, ou leurs parents, ont pu verbaliser que les enfants se sentaient valorisés par leur participation à cette étude. Pour des jeunes qui rencontrent des difficultés dues à leur dyslexie dans leur parcours scolaire, ce sentiment de fierté semble bénéfique. Nous avons d'ailleurs constaté que les enfants avaient à cœur de participer à ce mémoire. Certains ont même accepté de venir en séances d'orthophonie pendant leurs vacances pour terminer le protocole dans les délais prévus. Leur motivation et leur rigueur tout au long du protocole ont été remarquables.

DISCUSSION

L'objectif de ce mémoire était d'analyser et d'observer les effets du casque Forbrain sur la vitesse et la précision de lecture, ainsi que sur les capacités de mémoire de travail et de mémoire à court terme verbale chez deux patients dyslexiques. Afin de réaliser cette étude nous leur avons proposé un protocole adapté à partir de celui de Torabi et al. (2018), et ce même entraînement a été effectué avec deux autres patients dyslexiques qui ne portaient pas le casque Forbrain.

I- Le matériel utilisé, atouts et limites

A) Les tests de lecture d'évaluation pré et post-protocoles

Les textes de lecture non significatifs qui ont été recrutés pour notre étude sont largement utilisés aujourd'hui par les orthophonistes, pour évaluer les troubles du langage écrit et sont considérés comme des tests de référence pour la pose de diagnostics de dyslexie (Mathis et al., 2018). Les étalonnages de chaque test, nous ont donc permis de situer le niveau des patients par rapport à ceux d'enfants de même niveau scolaire. Toutefois, l'étalonnage proposé par l'Alouette (Lefavrais, 1967) en cinq classes est moins précis que celui d'Evalouette (Launay et al., 2018) qui divise la population en sept classes. Les scores des sujets contrôles ont donc été analysés avec moins de finesse que ceux des sujets testés.

Par ailleurs au début de cette étude, nous avons préféré éviter qu'un effet retest fausse nos résultats et c'est pourquoi nous avons choisi d'utiliser deux textes non significatifs distincts. Mais, l'utilisation de deux tests différents entre nos sujets constitue un biais méthodologique. Le matériel de test n'étant pas identique pour tous, nous n'avons pas pu comparer autant que nous le souhaitions les scores des sujets testés avec ceux des sujets contrôles. L'évolution de la précision de lecture étant exprimée en pourcentages pour les deux textes, nous avons pu la comparer dans un graphique. Toutefois, celui-ci ne peut être interprété qu'à titre informatif. Nous ne pouvions pas analyser les scores de vitesse de lecture entre les quatre sujets. En effet, le calcul pour obtenir l'indice de vitesse est différent entre les tests et le temps attribué pour chaque lecture, n'est pas identique. Ces deux arguments ne nous permettaient donc pas de réaliser une analyse comparative qui soit pertinente.

Si une nouvelle étude sur le casque Forbrain était réalisée, il semblerait intéressant et primordial d'harmoniser les tests pré et post-thérapeutiques afin d'évaluer de manière plus rigoureuse les résultats obtenus.

B) Le protocole modifié de Torabi et al. (2018)

Nous avons effectué plusieurs modifications au sein du protocole qui concernent uniquement la nature des activités.

Ces changements ont été choisis afin de nous adapter aux besoins individuels et orthophoniques des patients. Nous avons en effet pu réaliser la même tâche pour tous les jeunes mais en spécialisant les sons ou les champs sémantiques à travailler. Ces adaptations ont permis d'assouplir le cadre plutôt strict du protocole et d'inscrire notre étude dans la continuité des soins orthophoniques entamés par Madame Morille.

Toutefois, les modifications qui ont été apportées constituent un biais méthodologique puisque les protocoles réalisés pour les quatre sujets diffèrent. Les analyses comparatives entre les sujets ne peuvent donc pas faire preuve d'une rigueur aussi importante que si tous les patients avaient bénéficié exactement du même traitement orthophonique. Mais nous tenons à préciser que nous nous sommes autorisés ces adaptations puisque ce mémoire clinique s'articule autour d'une étude de cas multiples. Dans ce cadre, nous nous intéressons principalement aux résultats pour chaque patient.

C) L'enquête de satisfaction

Nous avons construit le questionnaire à la fin de l'étude dans le but d'apporter une dimension qualitative à nos résultats chiffrés. Chaque question reprenait l'un des critères principaux de l'étude : vitesse de lecture, précision de lecture, mémoire dans son sens large et stratégies de mémorisation. Les questions étaient donc très générales. Les aiguillages proposés entre parenthèses, notamment pour la question de la précision de lecture, auraient pu faire l'objet de questions supplémentaires. Celles-ci auraient pu être plus simples à traiter pour des enfants qui peuvent avoir des difficultés à synthétiser leurs idées. De même, le format QRU ne leur permettait pas de s'exprimer librement sur leurs ressentis. Toutefois, il était intéressant de constater que, d'eux-mêmes, les patients ont commenté leurs observations.

II- Les profils des participants de l'étude : similitudes et différences

Pour notre étude, nous souhaitons avoir des profils d'enfants qui soient les plus similaires possibles en termes d'âges, de niveaux scolaires et de degré de sévérité des difficultés. Cette homogénéisation des profils permet en effet de réaliser des analyses comparatives plus intéressantes et qui semblent pertinentes.

Parmi les quatre sujets, trois avaient 11 ans au début de l'étude et étaient scolarisés en sixième. Le dernier avait 12 ans et était scolarisé en cinquième. Les profils des adolescents étaient donc globalement similaires du point de vue de leur âge et de leur niveau scolaire.

En outre, une fille et trois garçons ont été recrutés pour participer à cette étude. Nous n'avons pas pu obtenir un échantillon qui soit équitable en termes de genre, mais nous n'avons pas retenu ce critère pour la sélection des sujets. En effet, au vu du faible nombre de participants, nous ne nous attendions pas à observer un effet du genre sur les résultats obtenus pour l'utilisation du casque Forbrain.

Enfin, le degré de sévérité des difficultés ne peut logiquement pas être strictement identique entre deux patients dyslexiques. Comparer les résultats obtenus entre les différents

sujets a donc moins de sens que d'analyser les scores pré et post-protocoles pour chaque jeune. Cette approche individualisée est d'ailleurs celle que nous adoptons dans le cadre des prises en soins orthophoniques. Dans notre étude, le sujet D présente une dyslexie plus sévère que les trois autres jeunes et ses résultats sont nettement inférieurs à ceux des sujets A, B et C. Son identification des mots écrits n'est pas automatisée, ce qui ralentit sa lecture à voix haute et la rend très coûteuse. De plus, ce jeune présente des troubles du comportement qui impactent ses apprentissages et majorent ses difficultés. Il faut donc nuancer nos analyses puisque ce sujet contrôle est bien plus en difficulté que les sujets testés. À la fin de l'étude, nous constatons que le sujet D ne lit que très peu de mots supplémentaires en trois minutes. Mais, cliniquement il prend bien plus de plaisir à lire et est très fier de ses progrès, ce qui constitue pour nous en une réelle réussite.

III- Analyse des résultats et vérification des hypothèses

A) Les résultats obtenus en vitesse et en précision de lecture

1. La vitesse de lecture

Nous pouvons constater que l'indice de vitesse a augmenté pour chaque sujet bien que cette évolution ne soit pas homogène. Ce sont les résultats des sujets A et C qui témoignent des meilleures évolutions. En effet, l'augmentation de la vitesse de lecture est très importante chez le sujet A puisqu'il a quasiment doublé son nombre de mots lus en deux minutes. Le sujet C a également lu beaucoup plus de mots dans le temps imparti lors de la phase de post-tests par rapport aux pré-tests. Les indices de vitesse de lecture des sujets B et D témoignent d'une augmentation bien moins importante puisqu'ils ont lu chacun, environ dix mots de plus lors de leur deuxième test. Les résultats des patients ayant réalisé l'entraînement avec le casque Forbrain (sujets A et B) ne sont donc pas homogènes puisque l'augmentation du score du sujet B est très faible. Ces résultats nous ont interpellées étant donné ceux obtenus par l'étude de Gomez Guillermo (2018). En effet, à la fin de son protocole, la vitesse de lecture avait été significativement améliorée chez l'ensemble des sujets ayant porté le casque par rapport aux enfants du groupe contrôle. Il faut toutefois préciser que son travail portait sur des élèves de CP en cours d'apprentissage de la lecture. Il semble donc que le port du casque Forbrain facilite l'automatisation de la lecture, mais que dans le cadre d'un TSLE il ne permet pas d'améliorer significativement la vitesse de lecture.

2. La précision de lecture

Nous pouvons observer que l'indice de précision de lecture a augmenté pour les sujets A et B et qu'il a diminué pour les sujets C et D. Toutefois, ces évolutions négatives ne témoignent pas d'une régression des compétences en lecture des sujets. En effet, les jeunes ont lu plus de mots dans le temps qui leur était imparti, donc du fait de leurs difficultés, ils ont effectué proportionnellement plus d'erreurs.

Les améliorations des indices de précision de lecture chez les sujets testés sont à considérer au cas par cas. Pour le sujet A, l'augmentation du score n'est pas suffisante pour le situer en dehors de la zone pathologique. Mais, nous avons pu observer que le sujet A avait nettement accéléré sa vitesse de lecture au cours de l'étude. Donc, ce jeune lit aujourd'hui plus de mots et réalise moins d'erreurs qu'auparavant. Toutefois, le nombre d'erreurs produit est toujours supérieur à celui des jeunes de sa classe d'âge. Pour le sujet B, l'amélioration de la précision de lecture est plus importante et le score obtenu lors de la deuxième lecture lui permet d'atteindre la zone de normalité des jeunes scolarisés en sixième.

B) Les résultats obtenus en mémoire de travail et mémoire à court terme verbale

1. La mémoire de travail

Nous pouvons constater que l'empan envers de chaque sujet a augmenté d'au moins un point lors de la deuxième phase de tests. Les capacités de mémoire de travail se sont donc améliorées pour chacun d'eux. Le sujet contrôlé D connaît d'ailleurs la meilleure amélioration avec deux points d'empan supplémentaires.

2. La mémoire à court terme verbale

Enfin, nous pouvons observer que les évolutions des empannements des quatre sujets ne sont pas uniformes. Les participants contrôles ainsi que le sujet B ont augmenté leur empan d'un point et ont atteint la norme de leur classe d'âge. Toutefois, le sujet A obtient le même score aux deux phases de tests et ne normalise pas ses résultats. Ainsi, nous ne pouvons pas établir un effet notable du casque Forbrain ou de l'entraînement adapté de Torabi et al. (2018) sur les capacités de mémoire à court terme verbale.

C) Les résultats obtenus aux enquêtes de satisfaction

Nous avons pu constater que les réponses des sujets à l'enquête ne correspondaient pas toujours aux résultats qu'ils avaient obtenus à la fin du protocole. Lorsque les réponses étaient étonnantes vis-à-vis des résultats quantitatifs, les jeunes semblaient ne pas avoir remarqué leurs progrès. Les réponses du sujet C peuvent par exemple nous sembler très modestes au vu des

résultats qu'il obtient à la fin du protocole. Il n'a d'une part, pas pris conscience de ses progrès en vitesse de lecture et d'autre part, il répond avoir développé « un peu » de stratégies pour mieux mémoriser, alors qu'il en a élaboré trois différentes. Ses réponses paraissent aller de pair avec son commentaire : « c'était bien de réussir » qui laissent entendre une faible confiance en soi dans le cadre de ses apprentissages scolaires. Il semblerait que les sujets ne prennent pas toujours conscience de leurs capacités à s'améliorer. Nous nous interrogeons sur l'origine de cette faible confiance en soi. Provient-elle de l'adolescence et des bouleversements internes qu'elle induit ou de l'impact psychologique que peut entraîner un diagnostic de trouble spécifique des apprentissages et des difficultés qu'il sous-entend ?

Par ailleurs, si nous observons en détails certains questionnaires, nous pouvons émettre des hypothèses sur l'état d'esprit dans lequel se trouve le jeune au moment de le remplir. En effet, le sujet A répond à trois questions sur quatre « beaucoup » lorsqu'on lui demande s'il a l'impression d'avoir amélioré tel ou tel critère. Il répond également par l'affirmative à la quatrième question puisqu'il choisit « un peu ». Nous pouvons supposer que, soit le sujet A est tout à fait satisfait du protocole, soit qu'il ne veut pas nous décevoir et préfère nous donner les réponses qu'il pense que nous attendons. Il aurait pu être pertinent de proposer à ce jeune d'écrire une justification à chacune de ses réponses afin d'établir si celle-ci était en adéquation avec ses choix de réponses. Enfin, le sujet D a répondu « je n'ai pas d'avis » aux troisième et quatrième questions ce qui a induit le fait qu'il ne pouvait pas répondre à la cinquième question. Nous nous interrogeons sur l'éventualité que l'introspection nécessaire pour répondre à l'enquête, puisse être trop coûteuse pour ce jeune. Il aurait pu être intéressant de poser ses questions à l'oral et de manière plus informelle afin de recueillir au mieux ses ressentis.

IV- Limites et perspectives

A) Remarques et propositions sur les résultats de l'étude

1. La vitesse de lecture

À la fin du protocole nous observons que tous les patients ont augmenté leur vitesse de lecture. Cela signifie qu'ils déchiffrent plus rapidement les mots. Pour autant, les résultats obtenus aux post-tests ne sont pas normalisés. Seul le sujet C, qui est un sujet contrôle, obtient un score qui s'approche de la moyenne des jeunes de son âge. L'utilisation du casque Forbrain ne semble donc pas à l'origine de l'amélioration de l'indice de vitesse de lecture pour les sujets A et B.

Cependant, nous pouvons émettre l'hypothèse que le protocole adapté de Torabi et al. (2018) a permis d'influencer positivement la vitesse de lecture chez nos quatre participants. Il pourrait donc être intéressant de réaliser une nouvelle étude de plus grande ampleur en utilisant ce même protocole, pour pouvoir tester si ces observations sont généralisables.

2. La mémoire de travail

De la même manière, nous ne pouvons pas attribuer au casque Forbrain l'amélioration observée sur les capacités de la mémoire de travail. Mais nous pouvons émettre l'hypothèse que le protocole adapté de Torabi et al. (2018) a permis d'augmenter l'empan envers des sujets de notre étude. Il serait également intéressant de réaliser une nouvelle étude de plus grande ampleur pour vérifier si cette hypothèse se généralise. Par ailleurs, au vu de l'amélioration des capacités de mémoire de travail pour les quatre sujets, de nouvelles pistes de réflexion apparaissent. En effet, nous avons vu qu'un déficit en mémoire de travail chez les dyslexiques résulte d'un défaut d'accès aux représentations phonologiques (Alegria & Mousty, 2004). Les capacités de mémoire de travail de nos sujets étant dorénavant normalisées, il aurait été pertinent de tester les capacités phonologiques des patients, afin de tester si celles-ci s'amélioreraient parallèlement. Pour cela il aurait fallu, lors des pré et post-tests, effectuer des épreuves de métaphonologie telles que les tâches de contrepèteries et de suppressions de sons, proposées par la batterie de bilan Evaléo 6-15 (Launay et al., 2018). Or dans ce mémoire, nous ne pouvions pas traiter toutes ces données par souci de temps.

3. La précision de lecture

Enfin, cette étude a permis d'obtenir des résultats encourageants sur l'effet du casque Forbrain pour la précision de lecture des deux sujets qui l'ont utilisé. L'augmentation des indices pour ces deux patients n'étant pas uniforme, il serait là encore, intéressant de réaliser une étude supplémentaire. Celle-ci recruterait plus de participants et les diviserait en deux groupes : test et contrôle. Il faudrait également veiller à recruter des patients d'âges différents. Les protocoles seraient, dans la mesure du possible, strictement identiques entre tous les sujets. De cette manière, nous pourrions analyser statistiquement si l'effet du casque Forbrain observé ici, en précision de lecture, est généralisable à une plus grande population.

B) Remarques et propositions sur les paramètres de l'étude

1. La fréquence d'utilisation du casque

De plus, les patients de l'étude ont porté le casque pendant une durée de 30 minutes au cours de 20 séances qui avaient lieu une à deux fois par semaine. Etant donné les résultats obtenus dans ce mémoire, nous nous interrogeons sur l'effet que pourrait avoir le port du casque

Forbrain sur la précision de lecture s'il était utilisé à une fréquence plus importante. Cet outil pourrait par exemple être utilisé quotidiennement à domicile pour les temps de lecture à voix haute, pour les plaisirs ou les devoirs. D'après les recommandations du site Forbrain et nos observations, l'utilisation du casque par périodes de 30 minutes semble suffisante. En effet, un temps plus long risquerait de fatiguer son utilisateur.

2. L'attrait pour le port du casque

Nous avons pu observer au cours du protocole que les sujets testés prenaient plaisir à porter ce casque et à s'entendre parler grâce au microphone et aux écouteurs à conduction osseuse. Cet outil semblait motivant pour ces patients dyslexiques qui viennent en séances d'orthophonie pour rééduquer leurs troubles depuis plusieurs années. Le port du casque Forbrain pourrait donc avoir un double intérêt pour les patients dyslexiques : améliorer leur précision de lecture et augmenter leur motivation à travailler différemment le langage écrit. Néanmoins, nous constatons que l'utilisation de ce casque peut être déplaisante lorsque son utilisateur est fatigué. De même, le retour vocal créé par le casque et le port du casque lui-même peuvent déplaire à certains. Nous avons en effet pu noter que les sujets contrôles n'ont pas souhaité réaliser l'entraînement avec le casque à cause du phénomène de retour vocal. Le casque Forbrain semble donc être un outil qui peut être utilisé avec certains patients mais son utilisation ne fait pas l'unanimité.

C) Vers une étude sur la compréhension écrite

Enfin, la lecture résulte du produit de deux composantes que sont l'identification des mots écrits et leur compréhension (Gough & Tunmer, 1986). L'identification des mots écrits est le facteur qui pose problème aux personnes dyslexiques. Toutefois des difficultés de compréhension écrite peuvent s'ajouter à leurs difficultés de déchiffrage. Or, la fluidité de lecture est déterminante pour la compréhension écrite. L'utilisation du casque Forbrain, en complément de l'entraînement adapté de Torabi et al. (2018), semble accélérer et améliorer la précision de lecture des jeunes dyslexiques, ce qui rend donc leur lecture plus fluide. En outre, l'étude de Torabi et al. (2018) a démontré des effets sur la compréhension écrite de leurs sujets en difficulté de lecture. Il pourrait donc être intéressant de tester l'effet de l'utilisation du casque Forbrain dans l'entraînement adapté de Torabi et al. (2018) auprès de patients dyslexiques qui présentent des difficultés de compréhension écrite.

CONCLUSION

Notre mémoire consistait à tester si l'utilisation du casque Forbrain, dans le cadre de l'entraînement adapté de Torabi et al. (2018), permettait d'influencer la vitesse et la précision de lecture ainsi que les capacités de mémoire de travail et de mémoire à court terme verbale chez deux patients dyslexiques. À travers les résultats de notre expérimentation certains résultats sont encourageants. Il semblerait que le port du casque Forbrain ait permis d'améliorer la précision de lecture chez les deux sujets testés. Les jeunes ont en effet réalisé moins d'erreurs au cours de leur lecture post-protocole. Ces résultats peuvent donc ouvrir la voie à de nouvelles perspectives pour la prise en soins des troubles du langage écrit, si tant est que l'utilisation du casque Forbrain, plaise au patient. Par ailleurs, les quatre sujets de l'étude, qu'ils aient réalisé l'entraînement avec ou sans le casque Forbrain, ont vu leur vitesse de lecture augmenter et leurs capacités de mémoire de travail s'améliorer. L'entraînement adapté de Torabi et al. (2018) semble donc à l'origine de ses améliorations. Néanmoins, les résultats hétérogènes obtenus par les sujets pour la mémoire à court terme verbale, ne permettent pas de conclure à un effet positif, tant pour l'utilisation du casque Forbrain, que pour l'entraînement réalisé. De plus, ces résultats ne peuvent pas être généralisables à tous les patients dyslexiques étant donné le faible échantillon qui a été recruté pour cette étude. Ces premiers résultats font néanmoins émerger de nouvelles hypothèses pour de futures recherches. Celles-ci devraient recruter des populations bien plus importantes et suivre un protocole strictement identique entre les participants.

Enfin, les résultats des études précédentes et ceux que nous avons obtenus dans ce mémoire ouvrent la voie à de nouvelles perspectives. Une future recherche pourrait avoir pour objectif, d'étudier l'effet conjugué du casque Forbrain et de l'entraînement adapté de Torabi et al. (2018) sur la compréhension écrite de patients dyslexiques afin de peut-être, imaginer de nouvelles pistes de prises en soins pour ces troubles.

BIBLIOGRAPHIE

- Aglieri, V., Chaminade, T., Takerkart, S., & Belin, P. (2018). Functional connectivity within the voice perception network and its behavioural relevance. *NeuroImage*, 183, 356-365.
<https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2018.08.011>
- Alegria, J., & Mousty, P. (2004). Les troubles phonologiques et métaphonologiques chez l'enfant dyslexique. *Enfance*, Vol. 56(3), 259-271.
- Alexander, A. W., Andersen, H. G., Heilman, P. C., Voeller, K. K. S., & Torgesen, J. K. (1991). Phonological awareness training and remediation of analytic decoding deficits in a group of severe dyslexics. *Annals of Dyslexia*, 41(1), 193-206.
<https://doi.org/10.1007/BF02648086>
- American Psychiatric Association. (2015). *DSM-5® : Manuel diagnostique et statistique des troubles mentaux*. Elsevier Masson.
- Arnold, A. (2012). Le rôle de la fréquence fondamentale et des fréquences de résonance dans la perception du genre. *TIPA. Travaux interdisciplinaires sur la parole et le langage*, 28, Article 28. <https://doi.org/10.4000/tipa.207>
- Attout, L., Noel, M. P. & Majerus, S. (2014). The relationship between working memory for serial order and numerical development: a longitudinal study. *Developmental Psychology*, 50, 1667-1679. doi:10.1037/a0036496
- Barrouillet, P., & Camos, V. (2007). *Le développement de la mémoire de travail* (p. 51-86).
- Baddeley, A. D., & Hitch, G. (1974). Working Memory. In G. H. Bower (Éd.), *Psychology of Learning and Motivation* (Vol. 8, p. 47-89). Academic Press.
[https://doi.org/10.1016/S0079-7421\(08\)60452-1](https://doi.org/10.1016/S0079-7421(08)60452-1)
- Baddeley, A. D., & Hitch, G. J. (2000). Development of working memory : Should the Pascual-Leone and the Baddeley and Hitch models be merged. *Journal of Experimental Child Psychology*, 128-137.

- Bedoin, N., Kéïta, L., Roussel, L., Herbillon, C., & Launay, V. (2010). *Diagnostic et remédiation d'un déficit d'inhibition des détails dans la dyslexie de surface* (p. 179-210).
- Bejaoui, M., & Pedinielli, J.-L. (2010). Flexibilité cognitive, attention sélective et fluidité verbale sémantique dans trois dimensions de schizophrénie : Psychotique, négative et de désorganisation. *Pratiques Psychologiques*, 16(3), 259-272.
<https://doi.org/10.1016/j.prps.2009.04.007>
- Bianco, A., Blache, P., Marty, J., & Rauzy, S. (2006). La Plateforme de Communication Alternative : Un outil de communication et de rééducation. *Congrès Scientifique International des Orthophonistes*, 127-140. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00142431>
- Billières, M. (2005). Codage phonologique et boucle articulatoire en mémoire de travail. *Corela. Cognition, représentation, langage, HS-1*, Article HS-1.
<https://doi.org/10.4000/corela.1110>
- Bosse, M.-L., Valdois, S., & Dompnier, B. (2009). Acquisition du langage écrit et empan visuo-attentionnel : Une étude longitudinale. In N. Marec-Breton, A. S. Besse, F. de L. Haye, & N. B. & E. Bonjour (Éds.), *Approche Cognitive de l'apprentissage de la langue écrite* (p. 132-141). PUR. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00817793>
- Boyer, J. (2019). Chapitre 16—Diagnostic et prise en charge de la phonation. In B. Alliot-Licht & B. Thivichon-Prince (Éds.), *La Bouche de L'enfant et de L'adolescent* (p. 205-210). Elsevier Masson. <https://doi.org/10.1016/B978-2-294-76255-0.00016-0>
- Brin-Henry, F., Courrier, C., Lederle, E., & Masy, V. (2018). *Dictionnaire d'Orthophonie*. Ortho-Edition. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02480528>
- Buser, P. A., & Imbert, M. (1992). *Audition*. MIT Press.

- Bussy, G., Rigard, C., & des Portes, V. (2013). Impact d'un entraînement de la mémoire à court terme verbale sur le langage d'enfants ayant une déficience intellectuelle. *Revue francophone de la déficience intellectuelle*, 24, 141-151.
<https://doi.org/10.7202/1021269ar>
- Casalis, S., Parriaud, F. B., Cavalli, E., Chaix, Y., Colé, P., Leloup, G., Sprenger-Charolles, L., Szmalec, A., Valdois, S., & Zoubrinetzky, R. (2018). *Les dyslexies*. Elsevier Health Sciences.
- Censabella, S. (2007). *Chapitre 5 : Les fonctions exécutives*. Mardaga.
<https://www.cairn.info/bilan-neuropsychologique-de-l-enfant--9782870099643-page-117.htm>
- Chelli, D., & Chanoufi, B. (2008). Audition fœtale. Mythe ou réalité ? *Journal de Gynécologie Obstétrique et Biologie de la Reproduction*, 37(6), 554-558.
<https://doi.org/10.1016/j.jgyn.2008.06.007>
- Chevalier, N. (2010). Les fonctions exécutives chez l'enfant : Concepts et développement. *Canadian Psychology*, 51, 149-163. <https://doi.org/10.1037/a0020031>
- Collette, F., Peters, F., Hogge, M., & Majerus, S. (2007). *Mémoire de travail et vieillissement normal*.
- Cornut, G. (2009). La voix parlée. *Que sais-je?*, 8e éd.(627), 43-58.
- Croisile, B. (2009). Neuro-cognitive approach to memory. *Gerontologie et société*, 32130(3), 11-29.
- DeFries, J. C., Fulker, D. W., & LaBuda, M. C. (1987). Evidence for a genetic aetiology in reading disability of twins. *Nature*, 329(6139), 537-539.
<https://doi.org/10.1038/329537a0>
- Deggouj, N., & Demanez, L. (2010). Maturation des processus auditifs centraux. *Les cahiers de l'Audition*, 6, 8.

- De Jong, P. F. (2006). Chapter 2 - Understanding Normal and Impaired Reading Development : A Working Memory Perspective. In S. J. Pickering (Éd.), *Working Memory and Education* (p. 33-60). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-012554465-8/50004-1>
- Demeuse, M. (2007). Echelles de Likert ou méthode des classements additionnés. *Le développement des échelles d'attitudes*, 213-217.
- El-Amraoui, A., & Petit, C. (2010). Thérapie cellulaire dans l'oreille interne—Nouveaux développements et perspectives. *médecine/sciences*, 26(11), 981-985. <https://doi.org/10.1051/medsci/20102611981>
- Ernst, E. (2016). La conservation de la voix et de la parole chez l'adulte devenu sourd ou malentendant. In *De la voix parlée au chant* (Klein-Dallant).
- Escera, C. (2014). *Neural mechanisms underlying Forbrain® effects : A research proposal*. 7.
- Escera, C., López-Caballero, F., & Gorina-Careta, N. (2018). The Potential Effect of Forbrain as an Altered Auditory Feedback Device. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 61(4), 801-810. https://doi.org/10.1044/2017_JSLHR-S-17-0072
- Eustache, M.-L. (2009). Le concept de rétention chez E. Husserl : Une mémoire constitutive aux sources de la mémoire de travail. *Revue de neuropsychologie, Volume 1*(4), 321-331.
- Fanuel, L., Jarjat, G., Labaronne, M., Hot, P., Tillmann, B., Portrat, S., & Plancher, G. (2021). Attention et maintien en mémoire de travail : Une revue des données neurophysiologiques. *Revue de neuropsychologie*, 13(3), 171-180.
- Gaudrain, E., & Patterson, R. D. (2010). Caractérisation psycho-acoustique de l'identité du locuteur. In S. F. d'Acoustique-SFA (Éd.), *10ème Congrès Français d'Acoustique* (p.). <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00541367>

- Gaujarengues, T., & Lohmann, K. (2015). *Apparatus and method for active voice training* (World Intellectual Property Organization Patent N° WO2015067741A1).
<https://patents.google.com/patent/WO2015067741A1/en>
- Gomez Guillermo, C. M. (2018). *Velocidad lectora, memoria y atención con Forbrain*.
Universidad Internacional de La Rioja Máster Universitario en Neuropsicología y Educación.
- 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>
- Gyselinck, V., Ehrlich, M.-F., Cornoldi, C., Beni, R. D., & Dubois, V. (1998). *L'intégration d'informations verbales et iconiques dans la compréhension de notions scientifiques : Prendre en compte les contraintes cognitives des apprenants*. 187.
<https://edutice.archives-ouvertes.fr/edutice-00000501>
- Habib, M. (2015). Dyslexie et troubles apparentés : Une nouvelle thématique de santé publique, entre neuroscience et pédagogie. *Bulletin de l'Académie Nationale de Médecine*, 199(6), 853-868. [https://doi.org/10.1016/S0001-4079\(19\)30889-1](https://doi.org/10.1016/S0001-4079(19)30889-1)
- Habib, M., & Joly-Pottuz, B. (2008). Dyslexie, du diagnostic à la thérapeutique : Un état des lieux. *Revue de Neuropsychologie*, 18, 79.
- Institut national de la santé et de la recherche médicale (France) & Centre d'expertise collective. (2007). *Dyslexie, dysorthographe, dyscalculie : Bilan des données scientifiques*.
- Launay, L. (2018). Du DSM-5 au diagnostic orthophonique : Élaboration d'un arbre décisionnel. *Rééducation Orthophonique*, 273, 71-92.
- Launay, L., Maeder, C., Roustit, J., & Touzin, M. (2018). Évaléo 6-15. *Évaluation du langage écrit et du langage oral 6-15 ans*. <https://www.evaleo6-15.fr>

- Lapointe, P. (2004). *Validation de programmes informatiques d'entraînement de l'attention soutenue et de la vigilance auprès d'élèves de 9 à 13 ans.*
<https://corpus.ulaval.ca/jspui/handle/20.500.11794/44740>
- Leclercq, A.L. & Majerus, S. (2010). Serial Order Short-Term Memory Predicts Vocabulary Development: Evidence from a Longitudinal Study. *Developmental Psychology*, 46, 417-427.
- Lefavrais, P. (1967). *Test de l'Alouette*. Paris : Editions du Centre de Psychologie Appliquée.
- Li, S., Sun, J., Sun, D., & Chen, C. (2017). *Nursing Effect of Forbrain® Brain Cognitive Training on Cognitive Dysfunction among Patients with Stroke.pdf.*
<https://fr.forbrain.com/comprenez/resultats-scientifiques#study-1-3>
- Lyon, G. R., Shaywitz, S. E., & Shaywitz, B. A. (2003). A Definition of Dyslexia. *Annals of Dyslexia*, 53(1), 1-14.
- McArthur, G. (2007). Test–retest effects in treatment studies of reading disability : The devil is in the detail. *Dyslexia*, 13(4), 240-252. <https://doi.org/10.1002/dys.355>
- Maillart, C., Reybroeck, M. V., & Alegria, J. (2005). 5. *Représentations phonologiques et troubles du développement linguistique : Théorie et évaluation.* De Boeck Supérieur.
<https://www.cairn.info/le-langage-de-l-enfant--9782804145620-page-99.htm>
- Majerus, S. (2010). Les multiples déterminants de la mémoire à court terme verbale : Implications théoriques et évaluatives. *Developpements*, n° 4(1), 5-15.
- Majerus, S. (2016). *Optimisation and rehabilitation of the working memory : A critical review.* 28, 167-174.
- Majerus, S. (2018). *Chapitre 10. Les troubles de la mémoire de travail chez l'enfant. Comment les évaluer ? Comment les rééduquer ?* De Boeck Supérieur.
<https://www.cairn.info/neuropsychologie-de-l-enfant--9782807320895-page-150.htm>

- Majerus, S. & Boukebza, C. (2013). Short-term memory for serial order supports vocabulary development: New evidence from a novel word learning paradigm. *Journal of Experimental Child Psychology*, 116, 811- 828. doi:10.1016/j.jecp.2013.07.014
24056204
- Majerus, S., & Poncelet, M. (2017). Dyslexia and short-memory/working memory deficits : Involvement for remediation. *ANAE - Approche Neuropsychologique des Apprentissages chez l'Enfant*, 29(148), 295-302.
- Martinez-Perez, T., Majerus, S. & Poncelet, M. (2012). The contribution of short-term memory for serial order to early reading acquisition: Evidence from a longitudinal study. *Journal of Experimental Child Psychology*, 111, 708-723.
- Mathis, T., Rauber, H., Sautivet, L., Chambard, C., Denis, P., Danaila, T., & Kodjikian, L. (2018). Exploration des troubles de la lecture dans la maladie de Parkinson : Utilité du test de l'alouette. *Journal Français d'Ophtalmologie*, 41(8), 718-724.
<https://doi.org/10.1016/j.jfo.2018.01.013>
- Maurer, D., & Landis, T. (1990). Role of Bone Conduction in the Self-Perception of Speech. *Folia phoniatrica*, 42, 226-229. <https://doi.org/10.1159/000266070>
- Ménard, M. (2008). *Exploration objective de l'audition à partir des auditory steady-state responses et adaptation à l'implant cochléaire* [Phdthesis, Université Claude Bernard - Lyon I]. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00413409>
- Menei, P. (2021). *Voyage du cerveau gauche au cerveau droit*. EDP sciences.
- Montarnal, A.-M. (2012). *Adultes dyslexiques : Des explications et des solutions*. Editions Tom Pousse.
- Mousty, P., & Alegria, J. (1999). L'acquisition de l'orthographe : Données comparatives entre enfants normo-lecteurs et dyslexiques. *Revue française de pédagogie*, 126, 7-22.

- Olive, T., & Piolat, A. (2005). Le rôle de la mémoire de travail dans la production écrite de textes. *Psychologie Française*, 50(3), 373-390.
<https://doi.org/10.1016/j.psfr.2005.05.002>
- Oertel D, Doupe A. (2013). Le système nerveux central auditif. Dans: Kandel E, Schwartz J, Jessell T, Siegelbaum S, Hudspeth A, éditeurs. *Principles of Neural Science*, 5e éd. McGraw-Hill, New York, p. 682-711.
- Peterson, D. C., Reddy, V., & Hamel, R. N. (2021). Neuroanatomy, Auditory Pathway. In *StatPearls*. StatPearls Publishing. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK532311/>
- Piolat, A. (2004). Approche cognitive de l'activité rédactionnelle et de son acquisition. Le rôle de la mémoire de travail. *Linx. Revue des linguistes de l'université Paris X Nanterre*, 51, 55-74. <https://doi.org/10.4000/linx.174>
- Poncelet, M., & Van der Linden, M. (2003). L'évaluation du stock phonologique de la mémoire de travail : Élaboration d'une épreuve de répétition de non-mots pour population francophone. *Revue de Neuropsychologie*, 13, 377-407.
- Quinette, P., Guillery-Girard, B., Hainselin, M., Laisney, M., Desgranges, B., & Eustache, F. (2013). Évaluation du buffer épisodique : Deux épreuves testant les capacités d'association et de stockage d'informations verbales et spatiales. *Revue de neuropsychologie, Volume 5(1)*, 56-62.
- Ramus, F. (2004). *De l'origine biologique de la dyslexie*. 15.
- Ramus, F. (2008). Génétique de la dyslexie développementale. *ANAE - Approche Neuropsychologique des Apprentissages Chez L'enfant* Article de revue, 96-97, 9-14.
- Ramus, F., & Szenkovits, G. (2008). What phonological deficit? *Quarterly journal of experimental psychology* (2006), 61, 129-141.
<https://doi.org/10.1080/17470210701508822>

- Selleck, M. A., & Sataloff, R. T. (2014). The Impact of the Auditory System on Phonation : A Review. *Journal of Voice*, 28(6), 688-693. <https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2014.03.018>
- Simon, É., Perrot, X., & Mertens, P. (2009). Anatomie fonctionnelle du nerf cochléaire et du système auditif central. *Neurochirurgie*, 55(2), 120-126. <https://doi.org/10.1016/j.neuchi.2009.01.017>
- Sitbon, L., Bellot, P., & Blache, P. (2008). *Éléments pour adapter les systèmes de recherche d'information aux dyslexiques*. 26.
- Sprenger-Charolles, L. (2009). Chapitre 14. La dyslexie existe-t-elle ? In *Réussir à apprendre* (p. 215-224). Presses Universitaires de France. <https://www.cairn.info/reussir-a-apprendre--9782130575238-page-215.htm>
- Sun, J., Chen, C., Zhang, M., Dou, N., Li, S., & Li, D. (2017). Effect of speech auditory feedback training on cognitive function in patients with post stroke. *Chinese Journal of Behavioral Medicine and Brain Science*, 26(6), 524-528.
- Tessarech, S. (2013). Deux voix, deux mesures. *Enfances Psy*, 58(1), 91-101.
- Torabi, Z., Estaki, M., Entezar, R., & Sharifi, N. (2018). The effect of sound therapy on reading skills of students with reading difficulties. *Journal of Garmian University*, 5(3), 454-464. <https://doi.org/10.24271/garmian.383>
- Valdois, S. (2017). Entraîner l'attention visuelle pour remédier aux troubles de la lecture. *Approche Neuropsychologique des Apprentissages chez l'Enfant*, 148, 265-275.
- Vallat, C. (2005). La mémoire de travail. *La Lettre du Neurologue*, 9, 2.
- Verdier, C., & Diday, L. (2019). *La boucle audio-phonatoire, une compétence cognitive indispensable à la rééducation vocale par les orthophonistes*. 30.
- Villemonteix, T. (2018). L'entraînement de la mémoire de travail est-il bénéfique pour les enfants présentant un trouble déficit de l'attention/hyperactivité ? *Neuropsychiatrie de*

l'Enfance et de l'Adolescence, 66(1), 3-12.

<https://doi.org/10.1016/j.neurenf.2017.07.003>

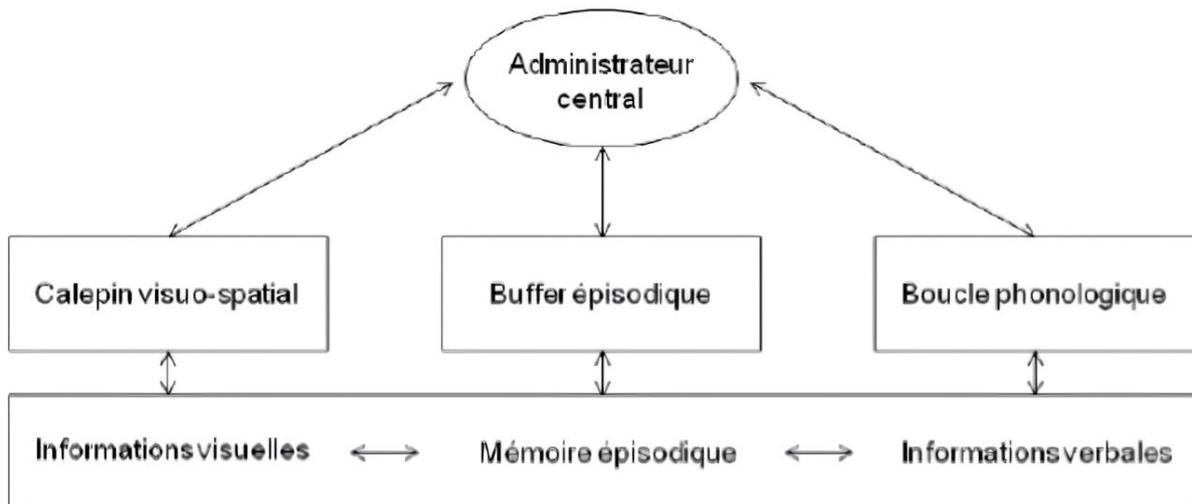
Werker, J. F., & Tees, R. C. (2005). Speech perception as a window for understanding plasticity and commitment in language systems of the brain. *Developmental Psychobiology*, 46(3), 233-251. <https://doi.org/10.1002/dev.20060>

Wokuri, S., & Marec-Breton, N. (2018). Mémoire de travail et troubles phonologiques chez le dyslexique. *Revue de neuropsychologie*, 10(4), 269-278. <https://doi.org/10.1684/nrp.2018.0474>

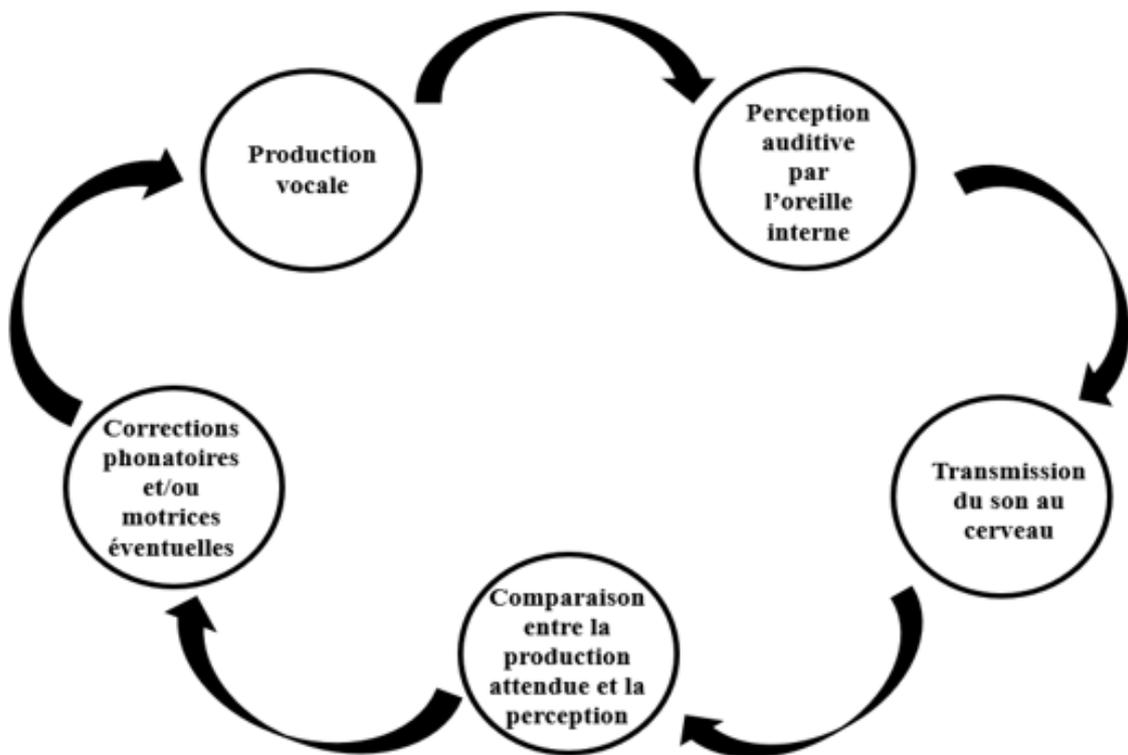
ANNEXES

Annexe A : Le modèle de la mémoire de travail de Baddeley et Hitch (2000).....	60
Annexe B : Schéma du fonctionnement de la boucle audiophonatoire.....	61
Annexe C : Le casque Forbrain	62
Annexe D : Le protocole initial de Torabi et al. (2018).....	63
Annexe E : Le protocole de Torabi et al. (2018) traduit.....	64
Annexe F : Enquête de satisfaction.....	65
Annexe G : Résultats obtenus aux post-tests de lecture pour chaque sujet	66
Annexe H : Résultats obtenus aux post-tests d’empans de chiffres pour chaque sujet.....	67
Annexe I : Comparaisons graphiques des évolutions des empans endroit et envers des quatre sujets.....	68
Annexe 7 : Notice d’information et de consentement.....	69
Annexe 8 : Engagement éthique.....	72

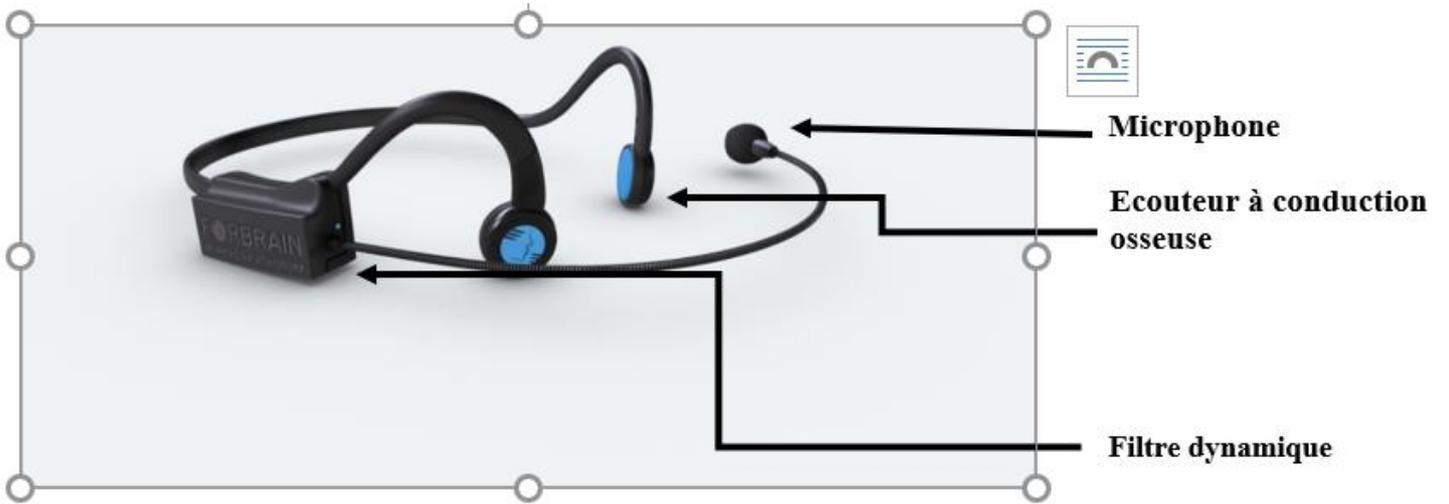
Annexe A : Le modèle de la mémoire de travail de Baddeley et Hitch (2000)



Annexe B : Schéma du fonctionnement de la boucle audiophonatoire



Annexe C : Le casque Forbrain



Annexe D : Le protocole initial de Torabi et al. (2018)

Sessions	Plan for Each Session
1 st	Singing a song by the therapist and students imitation, reading a multi-sentence passage for the student, and explaining its meaning in an informal language by the student, reading a book and simultaneous reading by the student, and reading a book by a student on his own.
2 nd	Several words are said to the kid, and s/he repeats them in the same sequence. With her/his success, the number of words will be increased. Some pictures are shown to the student and s/he says what is shown loudly. Some words are pronounced and s/he repeats them.
3 rd	The student corrects therapist's mispronunciation. Words are pronounced imperfectly, and the student is asked to pronounce perfectly. Some pictures are shown to the student and he is encouraged to talk about them.
4 th	The alphabets are shown to the students and s/he is asked to pronounce them, and says a word that begins with that letter. The letters are shown to the students and s/he pronounces them, then says a word which ends in the intended letter. Some words are read and s/he repeats them, then s/he says what its initial is.
5 th	Some words are read and the kid says what it ends in. Marking syllables and sounds is done as teachers usually pronounce. The kid and the therapist read a book together.
6 th	The student reads the book by himself. Then s/he is required to correct the words mispronounced by the therapist. Some pictures are shown to the kids, s/he makes a story based on the pictures.
7 th	The therapist sings a song and the student sings simultaneously. A multi-sentence passage is read to the students and s/he paraphrases it into informal language. The therapist and the kid read a book together. Then, the kid reads by himself.
8 th	Several words are said to the kid, and s/he repeats them in the same sequence. With each success the number of words will be increased. Some pictures are shown to the student, and s/he says loudly what they refer to. Some words are pronounced, and the student repeats them.
9 th	The student is asked to correct the words mispronounced by the therapist. Words are pronounce imperfectly, and s/he corrects them. Some pictures are shown to the student and s/he is required to talk about them.
10 th	The alphabets are shown to the kid, and s/he pronounces them. The kid says a word that begins with the intended letter. The alphabets are shown again and the kid pronounces them. Then s/he is required to say a word that ends in the intended letter. Some words are read and the kid repeats them, and specifies their initial letters.
11 th	Some words are read and the student repeats them, then specifies in what letter they end. The syllables and sounds are emphasized as teachers articulate them. The therapist and the kid read a book together.
12 th	The student reads a book by himself. S/he is required to correct mispronounced words in the therapist's speech. Some pictures are shown and the student makes a story based on them.
13 th	The alphabets are shown to the student, s/he pronounces them and says a word beginning with the intended letter. S/he does the same but says a word ending into the intended letter. Some words are read to the kid and s/he repeats them, and specifies their initial letters.
14 th	Some words are said and the kid repeats them in the same order. With each success, the number of words will be increased. Some pictures are shown and the student says loudly what s/he sees in the picture. Some words are pronounced and the student repeats them.
15 th	The student is required to correct the words mispronounced by the therapist. Some words are pronounced imperfectly, and the kid corrects them. Some pictures are shown, and the kid is required to talk about them.
16 th	The alphabets are shown to the student, s/he pronounces them and says a word beginning with the intended letter. S/he does the same but says a word ending into the intended letter. Some words are read to the kid and s/he repeats them, and specifies their initial letters.
17 th	Some words are read and the student repeats them, then specifies in what letter they end. The syllables and sounds are emphasized as teachers articulate them. The therapist and the kid read a book together.
18 th	The student reads a book by himself. S/he is required to correct mispronounced words in the therapist's speech. Some pictures are shown and the student makes a story based on them.
19 th	The therapist sings a song and the student sings simultaneously. A multi-sentence passage is read to the students and s/he paraphrases it into informal language. The therapist and the kid read a book together. Then, the kid reads by himself.
20 th	The student is required to correct the words mispronounced by the therapist. Some words are pronounced imperfectly, and the kid corrects them. Some pictures are shown, and the kid is required to talk about them.

Annexe E : Le protocole de Torabi et al. (2018) traduit

Numéro de séance	Programme de la séance
1	Activité de chant en duo avec l'orthophoniste, explication d'un passage de la chanson par l'enfant. Lecture à deux d'un livre, puis lecture seule du sujet.
2	Répétition de mots dans un ordre précis, et augmentation de l'empan progressivement selon ses réussites. Description d'images. Répétition de mots.
3	Correction de mots prononcés anormalement. Evocation à partir d'images.
4	Evocation de mots commençant et terminant par telle lettre. Lecture et répétition de mots.
5	Mise en relief des sons finaux de mots lus. Lecture d'un livre avec l'orthophoniste.
6	Lecture d'un texte. Correction de mots prononcés anormalement. Création d'une histoire à partir d'images.
7	Activité de chant avec l'orthophoniste. Texte à paraphraser en langage informel. Lecture en duo puis seule.
8	Répétition de mots dans le même ordre, et augmentation de l'empan progressivement selon ses réussites. Description d'images. Répétition de mots.
9	Correction de mots prononcés anormalement. Evocation à partir d'images.
10	Prononciation des différents phonèmes et évocation de mots à partir de ces sons en position initiale et finale. Répétition de mots.
11	Répétition de mots. Lecture en duo avec l'orthophoniste.
12	Création d'histoires à partir d'images. Lecture en individuel. Correction de mots prononcés anormalement.
13	Prononciation des différents phonèmes et évocation de mots à partir de ces sons en position initiale et finale. Des mots sont lus, et l'enfant doit spécifier pour chacun, la première lettre. Répétition de mots.
14	Répétition de mots dans l'ordre, et augmentation de l'empan progressivement selon ses réussites. Description d'images. Répétition de mots.
15	Correction de mots prononcés anormalement. Evocation à partir d'images.
16	Répétition de mots et extraction des lettres initiales pour chaque terme. Prononciation des différents phonèmes et évocation de mots à partir de ces sons en position initiale et finale.
17	Répétition de mots et extraction des lettres finales pour chaque terme. Lecture en duo.
18	Lecture. Correction de mots prononcés anormalement. Création d'histoires à partir d'images.
19	Activité de chant avec l'orthophoniste, et explication des paroles par l'enfant. Lecture à deux puis en individuel.
20	Evocation à partir d'images. Correction de termes prononcés anormalement.

Annexe F : Enquête de satisfaction

Prénom :

Bonjour à tous,

Merci d'avoir participé à ce protocole jusqu'au bout ! Pour terminer, pouvez-vous répondre à ce questionnaire de satisfaction, il me permettra d'aller plus loin dans mon analyse.

Merci à vous !

A- Après ce protocole, j'ai l'impression de mieux lire (d'être plus précis, de moins buter sur les mots) :

- 1- Pas du tout
- 2- Un peu
- 3- Beaucoup
- 4- Je n'ai pas d'avis

B- Après ce protocole, j'ai l'impression de lire plus vite :

- 1- Pas du tout
- 2- Un peu
- 3- Beaucoup
- 4- Je n'ai pas d'avis

C- Après ce protocole, j'ai l'impression que je mémorise mieux :

- 1- Pas du tout
- 2- Un peu
- 3- Beaucoup
- 4- Je n'ai pas d'avis

D- Après ce protocole, j'ai l'impression d'avoir développé des stratégies qui me permettent de mieux mémoriser :

- 1- Pas du tout
- 2- Un peu
- 3- Beaucoup
- 4- Je n'ai pas d'avis

E- Si tu as développé des stratégies de mémorisation depuis le protocole, peux-tu me dire comment fonctionnent ces stratégies ?

.....
.....
.....
.....

Annexe G : Résultats obtenus aux post-tests de lecture pour chaque sujet

Tableau 5 : Scores de vitesse et de précision de lecture des sujets testés aux post-tests.

Sujets		
Natures des scores	Sujet A	Sujet B
Nombre de mots correctement lus	109	161
Nombre de mots lus (Indice de vitesse)	118	167
Indice de précision	92,4%	96,4%
Âge développemental de lecture	CE2	CM1

Tableau 6 : Scores de vitesse et de précision de lecture des sujets contrôles aux post-tests.

Sujets		
Natures des scores	Sujet C	Sujet D
Nombre de mots correctement lus	248	89
Nombre de mots lus	265	111
Indice de précision	94%	80%
Indice de vitesse	281	89
Âge développemental de lecture	CM1	CE1

Annexe H : Résultats obtenus aux post-tests d'empans de chiffres pour chaque sujet

Tableau 7 : Scores d'empans de chiffres endroits et envers des sujets testés aux post-tests.

Sujets Nature de l'empan testé	Sujet A	Sujet B
Empan endroit	4	5
Empan envers	4	3

Tableau 8 : Scores d'empans de chiffres endroits et envers des sujets contrôles aux post-tests.

Sujets Nature de l'empan testé	Sujet C	Sujet D
Empan endroit	5	5
Empan envers	4	5

Annexe I : Comparaisons graphiques des évolutions des empanns endroit et envers des quatre sujets

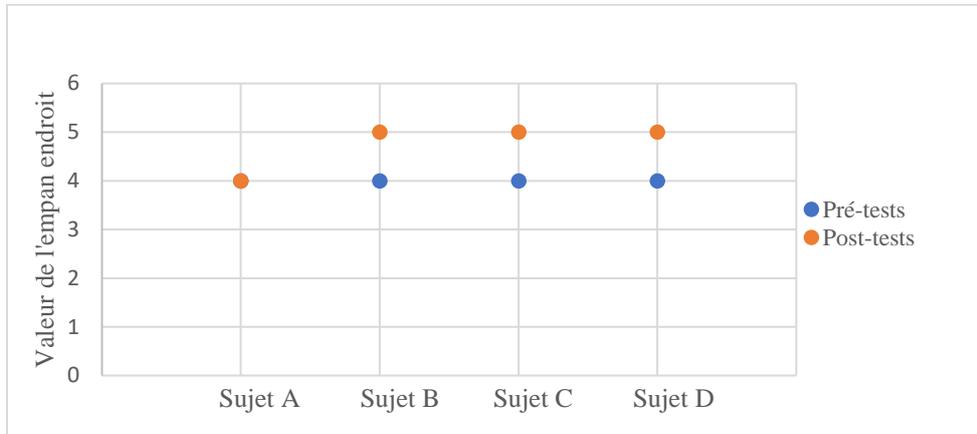


Figure 10 : Comparaison de l'évolution des empanns endroit des quatre enfants entre les deux phases de tests.

Remarque : Il n'apparaît pas de valeur d'empann endroit aux pré-tests du sujet A, car celle-ci vaut 4. Celle-ci est donc égale à la valeur obtenue alors des post-tests. Elle n'est donc pas visible sur ce graphique.

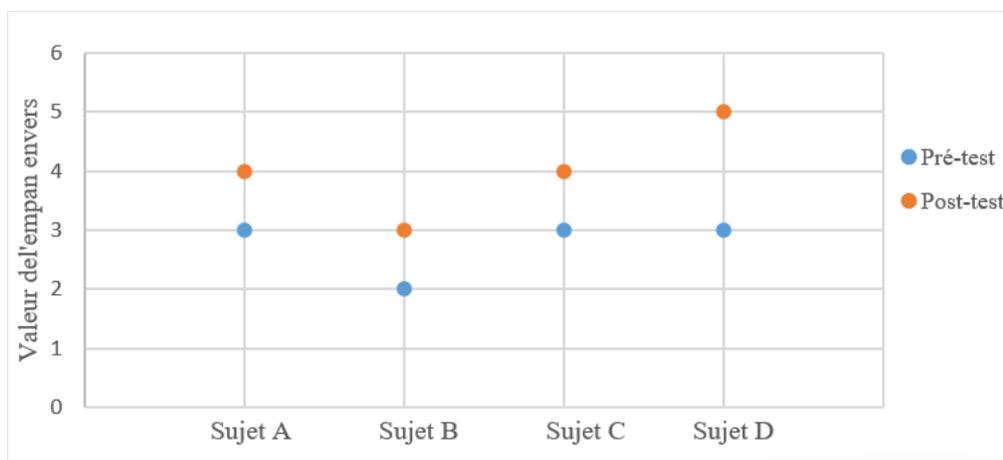


Figure 11 : Comparaison des évolutions des empanns envers des quatre patients entre les deux phases de tests.

Annexe 7 : Notice d'information et de consentement éclairé

NOTICE D'INFORMATION

À Nantes, le 10 Septembre 2021,

Madame, Monsieur,

Je m'appelle Sarah LUCAS et je suis étudiante en Master 2 d'Orthophonie au Centre de Formation Universitaire en Orthophonie de Nantes. Je réalise un mémoire de fin d'étude sur la dyslexie, avec l'accompagnement de Madame Marie-Madeleine Morille et de Madame Fioleau, orthophonistes.

Ce travail a pour objectif de démontrer l'impact que peut avoir un entraînement avec le casque Forbrain sur la lecture et la mémoire de travail de patients dyslexiques. Pour cela, je souhaite réaliser une étude de cas comprenant deux patients qui porteront le casque et deux patients qui ne le porteront pas. Toutefois, les entraînements des quatre patients seront similaires.

Le travail qui sera fait avec votre enfant se déroulera sur 20 séances, d'une durée de 30 minutes chacune. Ce travail sera réalisé au cours des séances d'orthophonie de votre enfant que vous avez établies avec Madame Morille. En aucun cas, l'étude nécessitera de séances supplémentaires à celles qui sont prévues pour la prise en charge orthophonique de votre enfant. À la fin du protocole, nous espérons constater une amélioration significative de la précision et de la vitesse de lecture chez les patients ayant porté le casque, ainsi qu'une amélioration de leurs capacités de mémoire de travail.

Vos droits à la confidentialité

Les données d'expérimentation seront traitées avec la plus grande confidentialité, aussi la participation à une étude se fait dans le respect de l'anonymat. Aucun renseignement susceptible de révéler votre identité ne sera dévoilé. Un code aléatoire sera attribué aux données de chaque participant. Le document établissant la correspondance entre ce code et l'identité des participants sera conservé dans un lieu sécurisé, et accessible uniquement au responsable scientifique ou à des personnes autorisées. Ce document sera détruit après anonymisation des données pour l'analyse.

Vos droits de poser des questions à tout moment

Vous pouvez poser des questions sur la recherche à tout moment (avant, pendant et après la procédure de recherche) en vous adressant aux responsables scientifiques.

Vos droits à vous retirer de la recherche à tout moment

Votre contribution à cette recherche est volontaire. Après avoir lu cette notice d'information, vous signerez un formulaire de consentement éclairé. Vous pourrez retirer ce consentement à tout moment et demander à ce que les données d'expérimentation soient détruites en vous adressant aux responsables scientifiques.

Si vous avez des questions, n'hésitez pas à vous adresser aux responsables scientifiques, dont les coordonnées figurent ci-dessous.

Nous vous remercions par avance pour votre collaboration

Marie-Madeleine Morille, m.m.morille763@orange.fr

Lydie Fioleau, lydie.fioleau@chu-nante.fr

Sarah Lucas, sarah.lucas@etu.univ-nantes.fr

U.E. 7.5.c Mémoire

Semestre 10

Centre de Formation Universitaire en Orthophonie

Directeur : Pr Florent ESPITALIER

Directrices Pédagogiques : Mme Emmanuelle PRUDHON et Mme Oana LUNGU

Directrice des Stages : Mme Anne ESNAULT

LETTRE DE CONSENTEMENT ÉCLAIRÉ

Coordonnées du responsable du projet

Nom : Lucas

Prénom : Sarah

Mail : sarah.lucas@etu.univ-nantes.fr

Titre de l'étude : Effets de l'entraînement de la boucle audiophonatoire par le casque Forbrain sur la précision et la vitesse de lecture ainsi que sur la mémoire de travail et la mémoire à court terme verbale chez des patients dyslexiques : Etude de cas multiples.

Coordonnées du participant

Nom : Prénom :

.....

Date de naissance :

Dans le cadre de la réalisation d'une étude, Mme Sarah LUCAS, étudiante en orthophonie m'a proposé de participer à une investigation organisée par le Centre de Formation Universitaire en Orthophonie (CFUO) de Nantes.

Elle m'a clairement présenté les objectifs de l'étude, m'indiquant que je suis libre d'accepter ou de refuser de participer à cette recherche. Afin d'éclairer ma décision, une information précisant clairement les implications d'un tel protocole m'a été communiquée, à savoir : le but de la recherche, sa méthodologie, sa durée, les bénéfices attendus, ses éventuelles contraintes, les risques prévisibles, y compris en cas d'arrêt de la recherche avant son terme. J'ai pu poser toutes les questions nécessaires, notamment sur l'ensemble des éléments déjà cités, afin d'avoir une compréhension réelle de l'information transmise. J'ai obtenu des réponses claires et adaptées, afin que je puisse me faire mon propre jugement.

Toutes les données et informations me concernant resteront strictement confidentielles. Seules les responsables du projet y auront accès.

J'ai pris connaissance de mon droit d'accès et de rectification des informations nominatives me concernant et qui sont traitées de manière automatisées, selon les termes de la loi.

J'ai connaissance du fait que je peux retirer mon consentement à tout moment du déroulement du protocole et donc cesser ma participation, sans encourir aucune responsabilité. Je pourrai à tout moment demander des informations complémentaires concernant cette étude.

Ayant disposé d'un temps de réflexion suffisant avant de prendre ma décision, et compte tenu de l'ensemble de ces éléments, j'accepte librement et volontairement de participer à cette étude dans les conditions établies par la loi.

Fait à :, **le**

Signature du participant

Signature de l'étudiant

Annexe 8 : Engagement éthique

Je soussignée Sarah LUCAS, dans le cadre de la rédaction de mon mémoire de fin d'études orthophoniques à l'Université de Nantes, m'engage à respecter les principes de la déclaration d'Helsinki concernant la recherche impliquant la personne humaine.

L'étude proposée vise à tester l'effet du casque Forbrain sur la vitesse et la précision de lecture ainsi que sur les capacités de mémoire de travail et de mémoire à court terme verbale chez des patients dyslexiques.

Conformément à la déclaration d'Helsinki, je m'engage à :

- informer tout participant sur les buts recherchés par cette étude et les méthodes mises en œuvre pour les atteindre,
- obtenir le consentement libre et éclairé de chaque participant à cette étude
- préserver l'intégrité physique et psychologique de tout participant à cette étude,
- informer tout participant à une étude sur les risques éventuels encourus par la participation à cette étude,
- respecter le droit à la vie privée des participants en garantissant l'anonymisation des données recueillies les concernant, à moins que l'information ne soit essentielle à des fins scientifiques et que le participant (ou ses parents ou son tuteur) ne donne son consentement éclairé par écrit pour la publication,
- préserver la confidentialité des données recueillies en réservant leur utilisation au cadre de cette étude.

Fait à : Nantes le : 22/04/2022.

Signature :



Titre du Mémoire : Effets de l'entraînement de la boucle audiophonatoire par le casque Forbrain sur la précision et la vitesse de lecture ainsi que sur la mémoire de travail et la mémoire à court terme verbale chez des patients dyslexiques : Etude de cas multiples.

RÉSUMÉ

La dyslexie est un trouble spécifique des apprentissages qui entraîne des difficultés d'identification des mots écrits et pour lequel la mémoire de travail est généralement déficitaire. La boucle audiophonatoire, outil intéressant en orthophonie, est recruté par le casque Forbrain afin de réaliser un feedback auditif modifié. Ce casque semble déjà avoir amélioré les compétences en lecture et les capacités mnésiques de certains patients. Nous avons réalisé une étude de cas multiples pour tester les effets que pouvaient avoir le casque Forbrain chez des patients dyslexiques sur leur vitesse et leur précision de lecture ainsi que sur leur mémoire de travail et leur mémoire à court terme verbale. Un protocole adapté de celui de Torabi et al. (2018) a été proposé à deux sujets testés et deux sujets contrôles pendant 20 séances de 30 minutes. Nos résultats témoignent d'une amélioration de la précision de lecture chez les sujets ayant porté le casque Forbrain. Par ailleurs, l'entraînement adapté semble avoir augmenté la vitesse de lecture des quatre sujets ainsi que leurs capacités de mémoire de travail. Ces résultats sont encourageants et offrent de nouvelles pistes de réflexion pour les prises en soins orthophonique des troubles du langage écrit.

MOTS-CLÉS

Boucle audiophonatoire, casque Forbrain, dyslexie, mémoire de travail

ABSTRACT

Dyslexia is a specific learning disorder that causes difficulties in identifying written words and for which working memory is usually deficient. The audiophonatory loop, an interesting tool in speech therapy, is used by the Forbrain headset in order to produce a modified auditory feedback. This headset already seems to have improved the reading and memory skills of patients. We conducted a multiple-case study to test the effects of the Forbrain headset on the reading speed and accuracy as well as the working memory and the verbal short-term memory of dyslexic patients. An adapted protocol from Torabi et al. (2018) was made with two test subjects and two control subjects for 20 sessions of 30 minutes. Our results show an improvement in reading accuracy to th subjects who wore the Forbrain headset. Moreover, the adapted protocol seems to have increased the reading speed of all the subjects as well as their working memory skills. These encouraging results offer new possibilities for speech therapy treatment of writtent language disorders.

KEY WORDS

Audiophonatory loop, Forbrain headset, dyslexia, working memory