

MEMOIRE

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

Mélanie MONCHY

soutenu publiquement en juin 2021

**Orthophonie et neurofeedback chez les enfants
porteurs de troubles neurodéveloppementaux
Revue de la littérature et perspectives professionnelles**

MEMOIRE dirigé par :

Marion PROVOST, Orthophoniste, Fleurbaix

Jean-Christophe CUVELLIER, Neuropédiatre, Hôpital Roger Salengro, Lille

Lille – 2021

Remerciements

Je tiens à remercier chaleureusement mes directeurs, Madame Marion Provost et Monsieur Jean-Christophe Cuvellier, qui ont contribué à la réalisation de ce travail. Je les remercie d'avoir soutenu ce projet dès le départ. Je suis reconnaissante pour leur implication, leur aide et leur accompagnement. Je remercie également Madame Caroline Blond, ma lectrice, pour l'intérêt porté à mon sujet.

Je tiens à remercier mes maîtres de stage qui m'ont chaleureusement accueillie et m'ont apporté tout leur soutien durant ces études. Merci à Lucie et Juliette pour leur présence à mes côtés ces cinq dernières années. Enfin, un grand merci à Pierre-Louis, à ma famille et à mes amis pour leur soutien, leur réconfort et leurs encouragements tout au long de ma formation.

Résumé :

Le neurofeedback est une approche thérapeutique mêlant modulation cérébrale et conditionnement opérant étudiée depuis plus de quarante ans chez les enfants présentant un trouble déficitaire de l'attention avec ou sans hyperactivité (TDA/H). Il est de plus en plus étudié chez les enfants présentant d'autres troubles neurodéveloppementaux. Si certains chercheurs considèrent le neurofeedback comme une réelle panacée, d'autres contestent son efficacité et exposent ses limites. Dans cette revue narrative de la littérature, nous voulons établir un état des lieux des possibles bénéfices du neurofeedback dans les domaines du langage et de la communication et envisager son intégration au sein de la pratique clinique. Nous postulons que le neurofeedback peut permettre une amélioration des compétences langagières et communicationnelles chez les enfants porteurs de troubles neurodéveloppementaux, qu'il existe peu de littérature francophone à ce sujet et que l'encadrement de cette pratique émergente est encore limité. Trois bases de données ont été interrogées et nous ont permis de répertorier 47 publications anglophones mêlant neurofeedback et troubles neurodéveloppementaux chez les enfants. Les résultats sont en faveur d'une amélioration de l'articulation, de la parole, du langage oral, de la pragmatique, du langage écrit et de la communication. Mais, les protocoles d'entraînements étudiés sont hétérogènes, les méthodologies appliquées sont peu rigoureuses et les résultats obtenus sont difficilement généralisables. De plus, la pratique du neurofeedback est peu étudiée et peu encadrée en France. Enfin, des applications détournées du neurofeedback alimentent l'incompréhension qui existe dans ce domaine. L'efficacité du neurofeedback en tant qu'outil de rééducation orthophonique reste à démontrer.

Mots-clés :

Orthophonie – neurofeedback - enfants - troubles neurodéveloppementaux

Abstract :

Neurofeedback is a therapeutic approach combining brain modulation and operant conditioning that has been studied for more than forty years in children with attention deficit disorder with or without hyperactivity (ADD/ADHD). It is increasingly studied in children with other neurodevelopmental disorders. While some researchers consider neurofeedback to be a real panacea, others question its effectiveness and expose its limitations. In this narrative review of the literature, we aim to establish an overview of the possible benefits of neurofeedback in the areas of language and communication and consider its integration into clinical practice. We postulate that neurofeedback can improve language and communication skills in children with neurodevelopmental disorders, that there is little French literature on this subject and that the supervision of this emerging practice is still limited. Three databases were searched and 47 English-language publications were identified in which neurofeedback and neurodevelopmental disorders in children were combined. The results are in favor of an improvement in articulation, speech, oral language, pragmatics, written language and communication. However, the training protocols studied are heterogeneous, the methodologies applied are not rigorous and the results obtained are difficult to generalize. Moreover, the practice of neurofeedback is little studied and little supervised in France. Finally, misapplications of neurofeedback fuel the misunderstanding that exists in this field. The effectiveness of neurofeedback as a speech therapy tool remains to be demonstrated.

Keywords :

Speech therapy – neurofeedback – children – neurodevelopmental disorders

Table des matières

Introduction	1
Contexte théorique.....	1
.1. Le neurofeedback	1
.1.1. Définitions	1
.1.2. Le conditionnement opérant	2
.1.3. Différents protocoles	3
.1.4. Le neurofeedback en France.....	4
.2. Les troubles neurodéveloppementaux	5
.2.1. Handicaps intellectuels	5
.2.2. Trouble de la communication : le trouble de la fluidité verbale apparaissant dans l'enfance	6
.2.3. Trouble du spectre de l'autisme.....	6
.2.4. Déficit de l'attention, hyperactivité	6
.2.5. Trouble spécifique des apprentissages.....	7
.2.6. Trouble moteur : le Syndrome de Gilles de la Tourette.....	8
.2.7. Autre trouble neurodéveloppemental spécifié : le Syndrome d'Alcoolisation Fœtale	8
.3. Orthophonie et troubles neurodéveloppementaux	9
Notre étude : buts et hypothèses	9
Méthodologie.....	10
.1. Recherche et sélection des articles	10
.1.1. Mots-clés	10
.1.2. Bases de données	10
.1.3. Critères d'inclusion	10
.1.4. Critères d'exclusion.....	11
.1.5. Sélection des articles	11
.2. Analyse des données.....	11
Résultats	11
1. Handicaps intellectuels	12
2. Troubles de la fluidité verbale	12
3. Trouble du spectre de l'autisme.....	13
4. Trouble spécifique des apprentissages.....	15
5. Syndrome de Gilles de la Tourette.....	16
6. Syndrome d'Alcoolisation Fœtale	17
Discussion.....	18
1. Synthèse des résultats	18
2. Critique de la méthodologie et des résultats	19

3. Perspectives professionnelles	20
.2.1. Recommandations de bonnes pratiques.....	20
.2.2. Encadrement et formation professionnelle	21
.2.3. Neurofeedback dynamique	23
Conclusion.....	24
Bibliographie	25
Liste des annexes.....	32
Annexe n°1 : Grille de lecture	32
Annexe n°2 : Diagramme de flux	32
Annexe n°3 : Tableaux présentant les différentes études selon la nature du TND.....	32

Liste des abréviations

AAPB	Association pour la Psychologie Appliquée et le Biofeedback
ABA	Applied Behavior Analysis (analyse comportementale appliquée)
ABC	Autism Behavior Checklist
ADNF	Association pour la Diffusion du Neurofeedback en France
AMS	Aire Motrice Supérieure
ANDPC	Agence Nationale pour le Développement Professionnel Continu
APA	American Psychiatric Association
ATEC	Autism Treatment Evaluation Checklist
BCIA	Biofeedback Certification International Alliance (alliance de certification internationale de biofeedback)
BCN	Board Certificate in Neurofeedback
BFE	Biofeedback Foundation of Europe (fédération européenne de biofeedback)
DBC	Developmental Behavior Checklist
DI	Déficience intellectuelle
DSM	Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders (manuel diagnostique et statistique des troubles mentaux)
EEG	Electroencéphalogramme
EEGq	Electroencéphalogramme quantitatif
Fif-PL	Fonds Interprofessionnels de Formation des Professions Libérales
fNIRS	functional Near-Infrared Spectroscopy (imagerie spectroscopique proche infrarouge fonctionnelle)
HAS	Haute Autorité de Santé
HEG	Homoencéphalographie
INSERM	Institut National de la Santé Et de la Recherche Médicale
INSR	International Society for Neurofeedback and Research (société internationale pour le neurofeedback et la recherche)
IRMf	Imagerie par résonance magnétique fonctionnelle
IVA	Integrated Visual Auditory continuous performance test
LENS	Low Energy Neurofeedback System (système à faible potentiel énergétique)
LORETA	Low Resolution Electromagnetic Tomographic Analysis (tomographie électromagnétique à basse résolution)
NEPSY	Developmental NEuroPSYchological Assessment

PECS	Picture Exchange Communication System (communication par échange d'images)
QI	Quotient Intellectuel
	Repetitive Behavior Scale – Revised
rTMS	repetitive Transcranial Magnetic Stimulation (stimulation magnétique transcrânienne)
SAF	Syndrome d'Alcoolisation Fœtale
SCP	Slow Cortical Potential (potentiels corticaux lents)
SGT	Syndrome de Gilles de la Tourette
SMR	Sensory Motor Rythm (rythme sensori-moteur ou rythme μ)
TAGteach	Teaching with Acoustical Guidance (technique d'apprentissage avec guide acoustique)
TCAF	Troubles causés par l'alcoolisation fœtale
TDA/H	Trouble déficitaire de l'attention avec ou sans hyperactivité
TEACCH	Treatment and Education of Autistic and related Communication Handicaped Children (traitement et éducation des enfants autistes ou atteints de troubles de la communication associés)
TILLIS	Test of Integrated Language and Literacy Skills
TND	Troubles neurodéveloppementaux
TOCs	Troubles obsessionnels compulsifs
TOVA	Test of Variable of Attention
TSA	Trouble du spectre de l'autisme
WAIS	Wechsler Adult Intelligence Scale (échelle d'intelligence Wechsler pour les adultes)
WISC	Wechsler Intelligence Scale for Children (échelle d'intelligence Wechsler pour les enfants)
WRAT	Wide Range Achievement Test
YGTSS	Yale Global Tic Severity Scale
YTSS	Yale Tourette Syndrome Scale

Introduction

Le neurofeedback est une approche thérapeutique mêlant imagerie cérébrale et processus d'apprentissage. Cette méthode permet à un individu de visualiser son activité cérébrale et d'accéder ainsi à une auto-régulation. Son utilisation est étudiée depuis plus de quarante ans chez les enfants porteurs d'un trouble déficitaire de l'attention avec ou sans hyperactivité (TDA/H) et on trouve un nombre croissant d'articles dédiés à son application dans le cadre d'autres troubles neurodéveloppementaux. Cependant, l'utilisation du neurofeedback en orthophonie et ses possibles bénéfices en tant que dispositif de rééducation ne semblent pas avoir fait l'objet d'études dans la littérature. Cet outil thérapeutique peut permettre une amélioration des compétences communicationnelles et langagières telles que mentionnées dans le champ d'intervention de l'orthophonie. Aussi, la pratique du neurofeedback nécessite la présence d'un thérapeute formé, doté de compétences en neurophysiologie et apte à faire le lien entre un symptôme clinique ou une plainte et un dysfonctionnement cérébral (Simkin, Thatcher & Lubar, 2014). Ce rôle peut être incarné par l'orthophoniste. Le mémoire que nous présentons ici vise à identifier les apports du neurofeedback dans les domaines de la communication, du langage, de la parole, de la voix, de la cognition mathématique et des fonctions oro-myofaciales chez les enfants présentant des TND. La première partie de ce travail est une revue de la littérature permettant une présentation synthétique des protocoles de neurofeedback appliqués auprès des enfants, des tâches qui leur sont proposées et des résultats qui peuvent être obtenus. Nous envisagerons également l'utilisation concrète du neurofeedback au sein de la pratique orthophonique en apportant une réflexion quant à ses aspects pratiques, législatifs, éthiques et déontologiques.

Contexte théorique

.1. Le neurofeedback

.1.1. Définitions

Il nous est impossible de définir le *neurofeedback* sans définir au préalable le *biofeedback*. Rémond et Rémond (1994, p.8) présentent le biofeedback, ou rétrocontrôle, comme « une méthode permettant à un individu de prendre conscience de certains détails de son image ou de son comportement, et de les identifier avec l'intention de les modifier, de les perfectionner, ou de les maîtriser, au travers d'une série d'essais successifs ». Par conséquent, la bio-rétroaction peut s'appliquer à divers paramètres physiologiques objectifs et mesurables (ex. la température cutanée, la tension artérielle, le rythme cardiaque, etc.). Ce type de dispositif s'apparente beaucoup aux thérapies comportementales et cognitives (Micoulaud-Franchi, Cermolacce, Vion-Dury & Naudin, 2014).

La Société Internationale pour le Neurofeedback et la Recherche (ISNR) définit le neurofeedback, ou rétrocontrôle, comme une sous-catégorie du biofeedback qui s'intéresse au système nerveux central grâce à l'analyse de l'activité cérébrale. Alors que le biofeedback mesure un paramètre *physiologique*, le neurofeedback s'intéresse aux paramètres *neurophysiologiques*, le plus souvent par l'enregistrement quantitatif de l'activité EEG (EEGq). Cette activité EEG est censée refléter le fonctionnement normal ou le dysfonctionnement de certains circuits neuronaux. Des électrodes sont placées sur le cuir chevelu et les lobes d'oreilles du patient suivant une configuration anatomique préétablie afin de quantifier et de cartographier son activité cérébrale (Hammond, 2011). Il reçoit alors un retour d'informations (feedback) auditives ou visuelles dès lors que les fréquences cérébrales captées sont jugées anormales ou optimales. Le patient peut agir sur son activité cérébrale grâce au conditionnement opérant (Hammond, 2011; Marzbani, Marateb, et Mansourian, 2016).

.1.2. Le conditionnement opérant

Le *conditionnement opérant* est une stratégie d'apprentissage issue du courant comportementaliste et décrite par Skinner (1938). Selon lui, la probabilité de répétition d'un comportement est directement liée aux conséquences qui en découlent. Si les conséquences sont positives, alors le comportement aura de grandes chances de réapparaître dans le futur. Au contraire, si les conséquences sont négatives, le comportement pourrait bien ne plus apparaître (Skinner, 1938). Dans le neurofeedback, le comportement (soit l'activité cérébrale) serait observable par la neuro-imagerie et c'est le feedback (audio, visuel ou audiovisuel) qui incarnerait le rôle de renforçateur d'un comportement (Hammond, 2011; Marzbani et al., 2016). Le jeu vidéo peut être utilisé comme support afin que l'expérience soit plus plaisante pour les enfants (Heinrich, Gevensleben, & Strehl, 2007 ; Marzbani et al., 2016; Micoulaud-Franchi et al., 2014). La figure 1 illustre une interface ludique et informatisée décrite par Micoulaud-Franchi, Bat-Pitault, Cermolacce et Vion-Dury (2011) qui incite l'enfant ayant un TDA/H à modifier son activité cérébrale pour déplacer visuellement une montgolfière et gagner des points (renforcement).

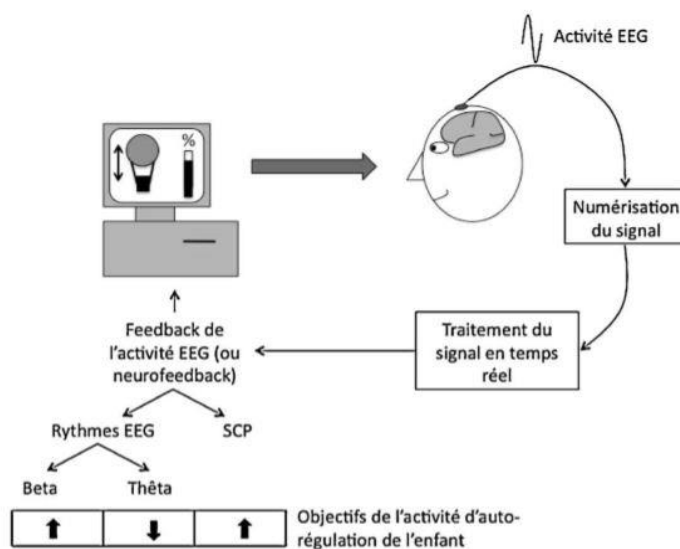


Figure 1. Principe du neurofeedback (d'après Micoulaud-Franchi et al, 2011)

.1.3. Différents protocoles

A ce jour, il n'existe aucun protocole universel et standardisé de rétroaction neurologique. On distingue donc différents types de neurofeedback, que l'on peut classer par cibles d'action. Micoulaud-Franchi et al. (2011) opposent ainsi le neurofeedback des *potentiels évoqués cognitifs* et le neurofeedback des *rythmes cérébraux*. Les potentiels évoqués cognitifs sont une modification de l'activité électrique du système nerveux apparaissant juste avant ou juste après un évènement, une action ou un stimulus (Micoulaud-Franchi et al., 2011). On stimule les circuits neuronaux puis on enregistre l'activité cérébrale résultante (EEG) et on note l'onde générée « P » ou « N » selon qu'elle est positive ou négative. On pourra également préciser son délai d'apparition en millisecondes. Heinrich, Gevensleben et Strehl (2007) et Micoulaud-Franchi (2011) évoquent par exemple l'analyse des ondes P300 (positives et apparaissant 300 ms après stimulation) et des potentiels corticaux lents ou SCP (pour *Slow Cortical Potential*). Les rythmes cérébraux quant à eux sont des signaux électriques corticaux classés par fréquence et par niveau d'alerte comme l'illustre la figure 2. Notre activité cérébrale change donc selon notre degré de vigilance. Marzbani, Marateb et Mansourian (2016) décrivent plusieurs protocoles qui s'appuient sur les rythmes alpha, bêta, alpha/thêta, delta, gamma, thêta ou sur l'entraînement à basse et haute fréquence. Les protocoles d'entraînement peuvent viser une relaxation ou une activation de ces ondes. Les études de neurofeedback mentionnent parfois l'entraînement du rythme sensorimoteur (SMR) également appelé rythme Mu (μ) qui a été décrit par Gastaut en 1954 comme une onde cérébrale « en arceau » d'une fréquence de 8 à 12 Hz, soit proche du rythme alpha.

Rythme EEG	Fréquence (Hz)	Niveau d'alerte
Delta	0,5 – 3,5	Sommeil profond ou coma
Thêta	4 – 8	Sommeil léger, relaxation profonde
Alpha	8 – 12	Détente, méditation
Bêta	13 – 30	Eveil
Gamma	> 30	Attention soutenue

Figure 2. Les rythmes cérébraux selon la fréquence et le niveau d'alerte (d'après Hammond, 2011).

Marzbani et al. (2016) et Hammond (2011) dénombrent sept types de neurofeedback au total. Simkin, Thatcher et Lubar (2014) estiment que les trois dernières techniques sont les plus utilisées, les deux dernières ayant été décrites chez les enfants et les adolescents :

- Le neurofeedback de fréquence/puissance (ou de surface)
- L'entraînement des potentiels corticaux lents (SCP)
- Le système à faible potentiel énergétique (LENS)
- L'homoencéphalographie (HEG)
- Le neurofeedback z-score
- La tomographie électromagnétique à basse résolution (LORETA)
- L'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle (IRMf)

Si le neurofeedback est un moyen thérapeutique à part entière, c'est parce qu'on peut essayer de modifier le fonctionnement inadéquat de certains circuits neuronaux. On a d'ailleurs pu identifier une corrélation entre des symptômes cliniques et des anomalies de l'EEG. La physiopathologie du TDA/H se caractérise par exemple par une baisse des activités alpha et bêta et une hausse de l'activité thêta (Micoulaud-Franchi et al., 2014).

L'activité corticale, quelle que soit sa forme, est recueillie à l'aide d'électrodes placées sur le cuir chevelu en suivant le système international 10-20 comme illustré sur la Figure 3. Cet agencement permet de cibler les fonctions cérébrales selon leur localisation, conformément à la description fonctionnelle des aires cérébrales établie par Brodmann (cité par Simkin et al., 2014). Il permet également une standardisation de la procédure pour les praticiens du monde entier, même si l'utilisation du neurofeedback ne fait pas l'unanimité (Marzbani et al., 2016).

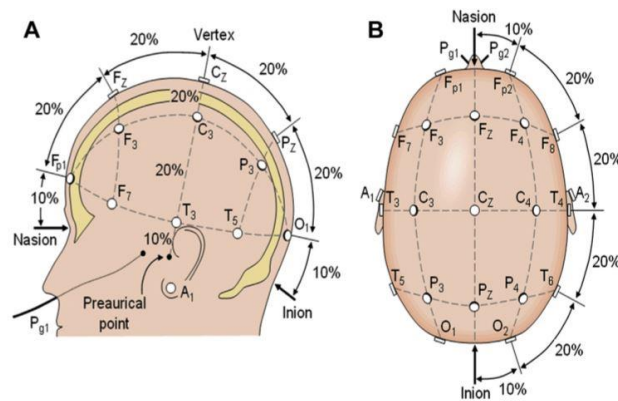


Figure 3. Système international 10-20 de placement des électrodes (d'après Simkin et al, 2014).

.1.4. Le neurofeedback en France

Alors que l'Académie Pédiatrique Américaine a reconnu l'efficacité de l'EEG biofeedback avec un niveau de preuve 1 dans le cadre du TDA/H (American Academy of Pediatrics, 2013), la France s'avère plus prudente. Effectivement, peu de textes officiels mentionnent cette technique. Dans ses recommandations de bonnes pratiques face aux enfants et adolescents présentant un TDA/H, la Haute Autorité de Santé ou HAS (2014) reconnaît que l'utilisation de jeux informatiques dans le cadre du TDA/H est un bénéfice clinique et permettrait une meilleure acceptation de la méthode mais que les preuves de son efficacité, notamment à long terme, sont manquantes et nécessitent des recherches supplémentaires (Haute Autorité de Santé [HAS], 2014). Contrairement aux Etats-Unis, les autorités françaises ne reconnaissent pas un niveau de preuve supérieur à celui des médicaments ou d'un placebo et peu d'études scientifiques sont dédiées à ce sujet. Suite à leur revue de la littérature, des chercheurs iraniens s'accordent pour dire que cette thérapie non-invasive a montré des bénéfices possibles dans le TDA/H, le trouble du spectre de l'autisme (TSA) et les troubles des apprentissages (dyslexie et dyscalculie). Mais il s'agit d'une pratique coûteuse et chronophage (Marzbani et al., 2016).

Marzbani et al (2016) regrettent l'absence de clarifications cliniques et soulignent les limites méthodologiques des études réalisées. Les protocoles cités dans la littérature ne mentionnent pas le nombre minimum de séances nécessaires à un contrôle conscient du patient sur son activité cérébrale. Ils ne mentionnent pas non plus le nombre minimum de séances permettant l'obtention du résultat attendu. Marzbani et al. (2016) soulignent aussi l'intérêt d'une évaluation à distance (plusieurs mois après le traitement) pour confirmer les effets du neurofeedback à long terme. Ainsi, il serait pertinent de mettre en place un protocole standardisé de neurofeedback à étudier dans les futurs travaux de recherche.

La pratique clinique du neurofeedback, toutes disciplines confondues, est donc très limitée en France mais reste un sujet de recherche international pour les autres TND.

.2. Les troubles neurodéveloppementaux

Les TND correspondent à des dysfonctionnements des capacités cognitives, émotionnelles et comportementales survenant au cours du développement des enfants. Ils seraient sous-tendus par un dysfonctionnement de processus psychologiques, biologiques ou développementaux génétiques. Cela peut avoir des répercussions sur le fonctionnement personnel, familial, social, scolaire et professionnel de l'individu (American Psychiatric Association [APA], 2013). Nous nous appuyons sur la 5^e version du DSM pour définir ces troubles. Le DSM-5 répertorie sept catégories de TND. Il s'agit des handicaps intellectuels, des troubles de la communication, des troubles du spectre de l'autisme, du déficit de l'attention/hyperactivité, des troubles spécifiques des apprentissages, des troubles moteurs et des autres TND ainsi que leurs sous-catégories. Seuls les troubles ayant déjà fait l'objet d'une intervention ou d'une étude en lien avec le neurofeedback et pouvant bénéficier d'une rééducation orthophonique sont envisagés dans cette partie.

.2.1. Handicaps intellectuels

La « déficience intellectuelle » (DI) ou « trouble du développement intellectuel » est un trouble neurodéveloppemental entraînant un déficit intellectuel et une limitation du fonctionnement adaptatif dans différents domaines survenant avant 18 ans (APA, 2013). D'après le DSM-5, les déficits observés concernent les domaines du raisonnement, de la résolution de problèmes, de la planification, de la pensée abstraite, du jugement, de l'apprentissage académique et de l'apprentissage par expérience (APA, 2013). Ils sont confirmés par une évaluation standardisée du fonctionnement intellectuel qui se situe deux écart-types au moins sous la moyenne de la population. Parmi les causes connues, les maladies génétiques sont en première ligne, les plus connues étant la trisomie 21 et le syndrome de l'X-fragile (Institut National de la Santé et de la Recherche Médicale [INSERM], 2016). Les déficits des fonctions adaptatives empêchent l'individu de répondre aux exigences de la société et sont évalués cliniquement dans un environnement contrôlé. L'orthophoniste peut être amené à intervenir précocement auprès de l'enfant déficient intellectuel en lui proposant un soutien de la communication verbale et non verbale, suscitant ainsi sa motivation à communiquer (Van der Horst, 2010).

.2.2. Trouble de la communication : le trouble de la fluidité verbale apparaissant dans l'enfance

Selon Monfrais-Pfauwadel (2014, p.4), le trouble de la fluidité verbale ou « bégaiement » est « un trouble moteur de l'écoulement de la parole qui est alors produite avec plus d'effort musculaire. Ce trouble s'aggrave avec la propositionnalité du discours, et il retentit secondairement sur les comportements de communication du sujet atteint, et partant, provoque chez lui une souffrance psychologique ; il s'ensuit pour l'interlocuteur une désorganisation gênante de l'intelligibilité du discours ». Elle indique que 20 à 25% des bégaiements sont développementalement persistants ce qui signifie que dans 75% des cas, le pronostic du bégaiement développemental tend vers la disparition à l'âge adulte, notamment s'il est pris en charge avant l'âge de cinq ans. Par conséquent, une prise en charge orthophonique précoce doit être mise en place chez tout enfant qui commence à bégayer (Rousseau & Onslow, 2002).

.2.3. Trouble du spectre de l'autisme

Selon les critères diagnostiques du DSM-5, le TSA est caractérisé par une dyade autistique qui rassemble « des déficits persistants de la communication et des interactions sociales observées dans des contextes variés » et « le caractère restreint et répétitif des comportements, des intérêts ou des activités ». Des troubles intellectuels, langagiers ou comportementaux peuvent être associés au TSA. Les appellations antérieures « trouble autistique », « syndrome d'Asperger », « trouble envahissant du développement non spécifié », « trouble désintégratif de l'enfance » et « syndrome de Rett » sont intégrés dans la nouvelle terminologie du TSA et se distinguent désormais par leur niveau de sévérité ainsi que la présence ou non de troubles cognitifs et/ou langagiers (APA, 2013). On peut aussi retrouver un TSA dans des syndromes génétiques comme le syndrome de l'X-fragile ou la sclérose tubéreuse de Bourneville (Jamain, Betancur, Giros, Leboyer & Bourgeron, 2003). Le diagnostic est clinique et peut être posé à partir de dix-huit mois à partir de l'ensemble des observations recueillies par une équipe de professionnels médicaux et paramédicaux spécifiquement formés au diagnostic des TND. Les observations des parents sont également cruciales. Les orthophonistes quant à eux sont des professionnels de première ligne pour le repérage et la prise en charge des enfants présentant un TSA (HAS, 2018).

.2.4. Déficit de l'attention, hyperactivité

Le TDA/H désigne deux cadres syndromiques : *le déficit d'attention* et/ou *l'hyperactivité / impulsivité*. Les symptômes surviennent au moins pendant six mois et débutent avant l'âge de douze ans. Ils entraînent un retentissement fonctionnel dans au moins deux des cadres de vie de l'enfant et altèrent fortement ses activités sociales, scolaires et sa qualité de vie (APA, 2013). Selon les critères diagnostiques énoncés par le DSM-5, le TDA/H concerne 5 à 10% de la population générale. Il résulterait à la fois de facteurs génétiques, neurobiologiques et de facteurs environnementaux (HAS, 2014).

La HAS (2014) recommande une prise en charge orthophonique des troubles des apprentissages associés au TDA/H, complétée par un traitement médicamenteux qui favoriserait les capacités attentionnelles de l'enfant et assurerait une meilleure efficacité de la rééducation.

.2.5. Trouble spécifique des apprentissages

L'appellation « trouble spécifiques des apprentissages » désigne plusieurs TND plus connus sous les noms de « dyslexie », « dysorthographe » et « dyscalculie » et aussi appelés « troubles de la lecture, de l'écriture ou du calcul » (Launay, 2018). Ces troubles des apprentissages sont dits « spécifiques » c'est-à-dire qu'aucun trouble intellectuel, sensoriel, neurologique ou mental ne permet de les expliquer (Launay, 2018). Un enfant présentant un trouble spécifique des apprentissages rencontre des difficultés dans l'apprentissage de la lecture, la compréhension, l'orthographe, l'expression écrite, la maîtrise du sens des nombres, la maîtrise des données chiffrées, le calcul ou le raisonnement (APA, 2013). Autrefois décrites séparément, ces difficultés sont regroupées dans un seul et même cadre qui atteste de la co-occurrence fréquente de ces diagnostics. Les troubles de la lecture, de l'écriture et du calcul font partie de ce qu'on appelle la « constellation dys » qui regroupe d'autres diagnostics comme les troubles du langage et le déficit de l'attention.

Le diagnostic orthophonique de dyslexie/dysorthographe ne peut être posé qu'à partir du CE2 (8 ans). En France, on retient un décalage de 24 mois entre l'âge chronologique et l'âge de lecture ou un seuil pathologique compris entre -1.65 et -2 écart-types. On prend également en compte un déficit d'au moins une des deux voies de lecture (lexicale ou phonologique) en précision ou en vitesse. La rééducation orthophonique de la dyslexie repose sur un entraînement des capacités phonologiques de l'enfant, une rééducation de la lecture avec des méthodes différentes de celles proposées en classe et la mise en place de stratégies de compensation. Elle est individuelle et peut débuter dès le CP si l'enfant présente un trouble du langage oral persistant, une résistance au soutien pédagogique, une absence de décodage au second trimestre ou des antécédents familiaux de troubles langagiers (INSERM, 2007).

Le dépistage de la dyscalculie est quant à lui possible dès l'âge de cinq ans. Il met en évidence des difficultés d'acquisition du code numérique et/ou d'accès aux faits arithmétiques. Comme pour la dyslexie, il peut être complété par un bilan psychologique pour certifier la spécificité du trouble et répertorier précisément les difficultés de calcul. La prise en charge de la dyscalculie est peu étudiée et peu de professionnels sont formés à cette prise en charge. Toutefois, le bilan et la rééducation des troubles de la cognition mathématique (troubles du calcul, troubles du raisonnement logicomathématique...) sont répertoriés dans la Nomenclature Générale des Actes en Orthophonie du 1^{er} juillet 2019. Les orthophonistes sont donc aptes à assurer une rééducation des troubles de la cognition mathématique auprès des enfants concernés.

.2.6. Trouble moteur : le Syndrome de Gilles de la Tourette

Le syndrome de Gilles de la Tourette (SGT) ou Maladie des Tics est un trouble neurodéveloppemental caractérisé par des tics moteurs multiples et au moins un tic vocal. Les tics apparaissent avant dix-huit ans, évoluent pendant au moins un an et sont souvent accompagnés de troubles associés (APA, 2013 ; HAS, 2016). Il existe souvent une comorbidité : TDA/H, troubles obsessionnels compulsifs (TOCs), troubles spécifiques des apprentissages ou encore TSA. Le SGT est souvent associé à des troubles psychiatriques ou comportementaux tels que des crises de rage, des automutilations, des crises de panique ou des troubles du sommeil (HAS, 2016). Les tics se différencient des TOCs car ils sont précédés d'une sensation prémonitoire et ne suivent aucun but précis. De plus, ils peuvent être partiellement contrôlés. Le diagnostic du SGT repose sur un examen clinique en accord avec la description établie par le DSM-5 (HAS, 2016). La prise en charge du SGT est multidisciplinaire et établie en fonction des retentissements sociaux ainsi que la présence ou non de troubles associés. Les tics modérés à sévères peuvent nécessiter la prescription de médicaments psychotropes, la mise en place de thérapies cognitivo-comportementales, l'injection de toxine botulique ou la stimulation cérébrale profonde (en cas de formes graves et de pharmacorésistance). Des aménagements pédagogiques et une prise en charge des troubles des apprentissages peuvent être proposés. Ainsi, les orthophonistes interviennent dans la rééducation des troubles de la lecture et de l'écriture chez les patients atteints du SGT (Damier, 2007; Haute Autorité de Santé, 2016)

.2.7. Autre trouble neurodéveloppemental spécifié : le Syndrome d'Alcoolisation Fœtale

Le DSM-5 considère le syndrome d'alcoolisation fœtale (SAF) ou « embryofœtopathie congénitale » comme un trouble neurodéveloppemental spécifié, dont la cause est identifiée (APA, 2013). Les enfants porteurs d'un SAF peuvent présenter une dysmorphie crânio-faciale, un retard de croissance et des handicaps comportementaux et cognitifs faisant suite à une exposition prénatale à l'alcool. Ces anomalies sévères du développement induisent souvent un retard mental ainsi que des troubles d'apprentissage, de mémoire, d'attention et/ou du comportement (INSERM, 2016). La terminologie varie au sein d'un continuum selon la sévérité clinique, le SAF étant la forme la plus sévère du spectre des Troubles Causés par l'Alcoolisation Fœtale (TCAF). Le diagnostic du SAF est clinique, posé par le médecin après la mise en évidence de la consommation d'alcool au cours de la grossesse. Le diagnostic s'appuie aussi sur trois symptômes canoniques retenus par l'INSERM (2016) soit : un retard de croissance staturo-pondérale, une dysmorphie faciale et une atteinte organique du fonctionnement cérébral pouvant se manifester par une microcéphalie. Dans son rapport sur la déficience intellectuelle, l'INSERM (2016) reconnaît que les TCAF répondent à l'intervention orthophonique sur le langage et l'accès à l'écrit. L'intervention cognitive est à privilégier auprès de ces enfants (Adnams et al., 2007).

.3. Orthophonie et troubles neurodéveloppementaux

Comme nous l'avons vu précédemment, les TND cités peuvent relever d'une prise en charge orthophonique. Dans ce contexte, l'article L. 4341-1 du Code de la Santé Publique stipule que « l'orthophoniste exerce en toute indépendance et pleine responsabilité, conformément aux règles professionnelles prévues à l'article L.4341-9. Il établit en autonomie son diagnostic et décide des soins orthophoniques à mettre en œuvre ». Dès lors, les outils de rééducation ne sont pas imposés aux professionnels, mais choisis par ceux-ci. Il est également précisé que « dans le cadre des troubles congénitaux, développementaux ou acquis, l'orthophoniste met en œuvre les techniques et les savoir-faire les plus adaptés à l'évaluation et au traitement orthophonique du patient et participe à leur coordination ». En effet, l'orthophoniste, comme tout professionnel de santé, se doit de proposer le traitement le plus adapté au patient, en suivant une démarche de pratique fondée sur les preuves (ou *Evidence-based practice*). Cette démarche incite le thérapeute à justifier ses choix thérapeutiques en exploitant les données objectives issues de la littérature scientifique et les données cliniques propres au patient. Maillart et Durieux (2014) expliquent qu'une prise de décision optimale repose sur la capacité du clinicien à exploiter les meilleures données existantes. C'est dans cette optique de pratique fondée sur les preuves que nous étudions l'apport possible du neurofeedback chez les enfants porteurs de TND.

Notre étude : buts et hypothèses

A notre connaissance, l'apport du neurofeedback chez les enfants a déjà été étudié dans la littérature, mais jamais d'un point de vue orthophonique. Notre objectif est de proposer un état des lieux des apports du neurofeedback dans les domaines relevant de l'orthophonie chez les enfants porteurs de TND. Nous souhaitons également apporter des pistes de réflexion concernant l'application clinique du neurofeedback en orthophonie, notamment sur ses aspects pratiques, législatifs, éthiques et déontologiques. Ces aspects s'inscrivent dans un contexte d'évolution des pratiques professionnelles à l'heure du numérique et doivent être clarifiés.

Nous nous attendions à trouver un très grand nombre d'articles anglophones ou rédigés en langue étrangère. La pratique clinique du neurofeedback étant encore limitée en France, peu d'études scientifiques sont francophones et nous craignons un manque de textes officiels encadrant cette pratique. De ce fait, nous analysons les perspectives professionnelles à la lumière de ce qui est pratiqué chez nos voisins européens, américains et asiatiques.

Le neurofeedback s'avère être un outil thérapeutique complexe et de plus en plus étudié chez les enfants porteurs d'un TND. Si la littérature rapporte des bénéfices dans les domaines classiquement attribués à l'orthophonie, le neurofeedback pourrait devenir un réel outil de rééducation en accord avec les principes de pratique fondée sur les preuves.

Méthodologie

Nos recherches préliminaires sur le sujet nous ont conduit à constater que beaucoup d'études sur le neurofeedback sont consacrées aux enfants présentant un TDA/H. L'étude du neurofeedback sous l'angle du TDA/H dépasserait le cadre d'un mémoire en orthophonie. Nous avons donc exclu les études consacrées au neurofeedback dans le TDA/H pour nous concentrer sur son application dans les autres TND et ainsi apporter un regard nouveau sur cette approche thérapeutique.

Nous nous sommes majoritairement intéressés aux résultats dits « comportementaux » et non neurophysiologiques puisque cette revue de littérature a pour objectif l'identification de possibles cibles d'actions orthophoniques, touchant aux domaines du langage et de la communication. Ainsi, nous ne mentionnons pas les modifications électroencéphalographiques constatées et nous ne détaillons que brièvement les protocoles mis en place par les chercheurs.

.1. Recherche et sélection des articles

Afin de réaliser notre revue narrative de la littérature, nous avons établi une liste de mots-clés. Nous avons ensuite interrogé des bases de données scientifiques anglophones et francophones et sélectionné les articles et textes permettant d'enrichir ce travail.

.1.1. Mots-clés

La recherche par mots-clés a été effectuée en français et en anglais. Les mots-clés ont été croisés deux à deux à partir des deux listes suivantes :

- Neurofeedback / EEG biofeedback
- Child*, adolescent, mental* retard*, intellectual disability, Tourette, spelling, dyslex*, autism

.1.2. Bases de données

Les recherches ont été effectuées sur les bases de données suivantes, à l'aide des équations de recherche précédemment énoncées :

- PubMed
- SpeechBite
- Lillocat (moteur de recherche documentaire de l'Université de Lille)

.1.3. Critères d'inclusion

Les articles sélectionnés étaient ceux rédigés en français ou en anglais, qui mentionnaient l'un des protocoles de neurofeedback précédemment évoqué et qui concernaient des enfants (de la naissance à dix-huit ans) porteurs d'un TND diagnostiqué. Les résultats des études retenues étaient un lien avec la communication, le langage, la cognition mathématique, la parole, la voix ou les fonctions oro-myo-faciales.

.1.4. Critères d'exclusion

Les articles exclus étaient ceux concernant le TDA/H ou d'autres pathologies n'étant pas considérées comme des TND (épilepsie, paralysie cérébrale, douleur chronique...), ceux concernant une population tout-venant, ne présentant pas de TND, ceux rédigés dans une langue différente de l'anglais ou du français et ceux mentionnant uniquement des résultats neurophysiologiques au détriment des résultats comportementaux.

.1.5. Sélection des articles

La sélection des articles a été faite en deux temps. Tout d'abord, par une lecture des titres puis des résumés de ceux-ci en excluant les doublons. Puis, par la lecture des textes intégraux afin de ne sélectionner que les articles correspondant aux critères d'inclusion et d'exclusion détaillés ci-dessus. Les résultats de cette procédure sont présentés dans le diagramme de flux (Annexe 2).

.2. Analyse des données

Pour faciliter l'analyse des données sélectionnées, nous avons élaboré une grille de lecture (Annexe 1) mentionnant la référence des articles choisis, le type d'étude, la thématique abordée, la méthodologie employée, les résultats et la discussion, les remarques éventuelles ainsi que les sources citées pouvant présenter un intérêt pour notre revue de la littérature.

Résultats

Sur les 191 articles répertoriés à partir des équations de recherche, 47 publications ont été retenues. 84 vérifiaient les critères d'inclusion après lecture des résumés et 42 ont été exclues pour les raisons suivantes : doublons (n=18), la population étudiée ne présentait pas de TND ou présentait une autre pathologie (n=10), seuls les résultats neurophysiologiques étaient mentionnés (n=5), les publications n'étaient pas pertinentes pour notre revue (n=3), les articles étaient rédigés dans une autre langue (n=3), les auteurs étudiaient plutôt l'interface cerveau-machine (n=2), l'article n'était pas accessible (n=1). Nous avons également retenu cinq publications provenant d'autres sources. Les différentes phases de sélection des articles sont schématisées par un diagramme de flux (Annexe 2) et le recensement des travaux sélectionnés est synthétisé dans un tableau récapitulatif (Annexe 3).

Comme nous l'avions pressenti, la recherche n'a renvoyé que des articles anglophones. Nous recensons surtout des articles dédiés aux TSA (n=23) et aux TSAp (n=11). Les autres TND sont moins étudiées : SGT (n=7), DI (n=4), SAF (n=2). Nous n'avons trouvé aucun article scientifique détaillant l'utilisation du neurofeedback auprès d'enfants présentant un trouble de la fluence.

1. Handicaps intellectuels

Nous avons retenu quatre articles concernant l'application du neurofeedback dans le cadre des déficiences intellectuelles. Les recherches correspondent à un effectif cumulé de 103 enfants et adolescents de 6 à 16 ans ayant bénéficié d'un entraînement thêta/beta quand ceci était indiqué. Le nombre de sessions était compris entre 30 et 120 par enfant d'une durée de 30 minutes. Le type de feedback n'est pas précisé. Le renforcement, lorsqu'il est indiqué, est auditif (García et al., 2008). Les résultats comportementaux sont fondés sur l'évaluation subjective des parents, de questionnaires comme le Developmental Behavior Checklist (DBC), de tests de performances attentionnelles comme le Test Of Variable of Attention (TOVA) et de mesures du quotient intellectuel (Surmeli, 2016; Surmeli & Ertem, 2007, 2010). On retrouve des améliorations cognitives, exécutives, communicationnelles et langagières.

Il est à noter que deux des publications sont issues de conférences orales, et se composent uniquement d'un abstract reprenant les principaux éléments des études (García et al., 2008; Surmeli & Ertem, 2007). Ainsi, nous manquons de données au sujet des protocoles d'entraînement utilisés, du nombre d'électrodes, de leur positionnement, des tâches réalisées par les enfants et de la nature des feedbacks ou des renforçateurs. Nous ne connaissons pas non plus la formation du thérapeute ni les éventuels suivis thérapeutiques simultanés, qu'il s'agisse de thérapies médicamenteuses ou non.

En 2007, Surmeli et Ertem, deux chercheurs turcs, proposaient un entraînement thêta/beta à 7 enfants présentant une Trisomie 21 à raison de 60 sessions de 30 min. A l'issue de cet entraînement, ils retrouvaient un élargissement de leur stock lexical, une amélioration de leurs compétences syntaxiques ainsi qu'une augmentation de leur capacité mnésique à court et à long terme. Ils observaient également l'apparition d'une communication non verbale, notamment la présence de sourires, grimaces, clins d'œil et signes de la main ainsi que du pointage. En 2016, Surmeli proposait un nouvel entraînement neurofeedback à 67 enfants de 6 à 16 ans présentant une déficience intellectuelle ($QI < 70$). Les changements observés étaient perceptibles après 20 à 40 séances de neurofeedback. Il retrouvait notamment une appétence aux activités de lecture et d'écriture et des progrès notables dans ces domaines (ex. d'un enfant qui est entré dans la lecture et l'écriture alors qu'il n'en était précédemment pas capable). Les performances scolaires étaient améliorées et l'expression verbale également. Le protocole d'entraînement utilisé n'était pas spécifié et les effets les plus notables étaient obtenus chez des enfants ayant bénéficié de 120 à 160 sessions d'entraînement. A noter également que les enfants présentaient des comorbidités de troubles attentionnels, troubles des apprentissages et épilepsie.

2. Troubles de la fluidité verbale

Aucune étude ne mentionne l'utilisation du neurofeedback auprès d'enfant présentant un trouble de la fluidité verbale. Toutefois, dans leur étude sur l'impact du neurofeedback chez les enfants présentant une déficience intellectuelle, Sturmeli et Ertem (2010) évoquaient la disparition du bégaiement chez trois des enfants étudiés.

3. Trouble du spectre de l'autisme

Nous avons sélectionné 23 publications au sujet de l'application du neurofeedback chez les enfants présentant un TSA. Elles concernent un effectif cumulé de 284 enfants et adolescents de 4 à 18 ans. Notons toutefois l'étude de Sokhadze et al. (2014) qui inclut également des adultes de 18 à 21 ans. Les protocoles utilisés sont variés : l'entraînement SMR (ou rythme μ), thêta, thêta/bêta, thêta/delta ou encore « Focus/Neureka ! » qui cherche à moduler l'indice d'attention focalisée et l'indice gamma (Sokhadze et al., 2014; Wang et al., 2016). L'entraînement des potentiels corticaux lents (SCP), le système à faible potentiel énergétique (LENS) et l'imagerie spectroscopique proche infrarouge fonctionnelle (fNIRS) sont également employés auprès de cette population. Ces protocoles sont parfois administrés en association avec d'autres méthodes comme la stimulation magnétique transcrânienne ou rTMS (Sokhadze et al., 2014) ou la Technique d'Apprentissage avec Guide acoustique appelée « TAGteach » (LaMarca, Gevirtz, Lincoln, & Pineda, 2018). Le nombre de sessions de neurofeedback variait entre 5 et 55 pour une durée allant de 20 à 60 minutes. A noter que Konicar et al. (2021) décrivaient un effet plafond après 24 sessions d'entraînement des potentiels corticaux lents (SCP). Le feedback est le plus souvent visuel, ou audiovisuel et le renforcement prend plusieurs formes (audiovisuel, visuel, auditif, matériel ou système de points).

Les résultats comportementaux sont analysés à l'aide de batteries d'évaluation, d'échelles et de questionnaires parentaux : la NEPSY, le TOVA, l'Integrated Visual Auditory continuous performance test (IVA), le Wide Range Achievement Test (WRAT), le Repetitive Behavior Scale – Revised (RBS-R), la Social Responsiveness Scale (SRS), les échelles d'intelligence de Wechsler (WISC-R, WISC-III, WISC-IV, WAIS-R, WAIS-III), l'Autism Behavior Checklist (ABC) ou encore l'Autism Treatment Evaluation Checklist (ATEC). Les auteurs rapportent une normalisation des acquisitions développementales et comportementales. Ils relèvent des progrès dans les fonctions exécutives (attention soutenue, flexibilité mentale), le langage et la cognition sociale. Les symptômes autistiques, notamment les stéréotypies verbales et comportementales, seraient réduits après les séances de neurofeedback.

Les modalités techniques de l'entraînement neurofeedback sont plus documentées pour le TSA que pour la DI. On retrouve notamment des informations concernant les tâches réalisées, le nombre d'électrodes, leur positionnement et la nature des feedbacks ou des renforcements. Toutefois, la formation des thérapeutes et les éventuelles thérapies suivies en parallèle ne sont que rarement documentées. De plus, la majorité des études sont focalisées sur des enfants ayant un TSA dit « de haut niveau » ($QI > 80$). Seuls quelques chercheurs s'intéressent à l'application du neurofeedback auprès d'enfants porteurs de TSA avec DI associée (LaMarca et al., 2018; Pineda, Friedrich, & LaMarca, 2014).

Holtmann et al. (2011) estiment que les études en faveur du neurofeedback auprès d'enfants porteurs d'un TSA montrent plutôt une amélioration des symptômes comorbides de TDA/H et que la technique n'agit donc pas directement sur les symptômes de l'autisme. En 2009, Kouijzer, De Moor, Gerrits, Congedo et Van Schie étudiaient l'impact d'un entraînement thêta/bêta chez 14 enfants de 4 à 12 ans. Ils retrouvaient une amélioration significative des fonctions exécutives avec des répercussions sur la socialisation et la communication.

Ils avaient la même conclusion en 2013, après application d'un protocole delta/thêta chez 38 adolescents de 12 à 18 ans. Ils ne retrouvaient pas d'effet significatif sur les symptômes du TSA mais plutôt une amélioration de la flexibilité cognitive. Dans leur revue de littérature, Pineda, Juavinett et Datko (2012) rejoignaient ce point de vue et préconisaient une délimitation plus franche des comorbidités de TDA/H et de TOCs dans les futures études.

En 2009, Thompson L., Thompson M. et Reid publiaient une étude au sujet d'un entraînement neurofeedback du rythme SMR (ou rythme μ), du rythme bêta et des fréquences basses auprès de 150 patients de 5 à 58 ans présentant un syndrome d'Asperger et de 9 patients présentant un TSA. Parmi eux, 177 enfants de 5 à 12 ans et 30 adolescents de 13 à 19 ans ont bénéficié d'un protocole d'entraînement de l'ordre de 40 à 60 sessions de 50 minutes entre 1993 et 2008. Ce protocole était couplé à un apprentissage simultané de stratégies métacognitives (prise de conscience des processus d'apprentissage pour accéder à un apprentissage actif). Les adolescents bénéficiaient également de sessions de biofeedback en lien avec la respiration, l'activité électrodermale ou le rythme cardiaque. Les auteurs retrouvaient une diminution des symptômes dans trois domaines qui sont l'inadaptation sociale, l'anxiété et les difficultés attentionnelles.

Selon Thompson et al. (2009), il faudrait plus de 40 sessions pour obtenir des résultats chez les sujets présentant un syndrome d'Asperger ou un trouble d'apprentissage avec une émergence des améliorations après 50 à 60 sessions. Les patients présentant un TSA auraient quant à eux besoin de plus de 100 sessions pour atteindre de tels résultats puisqu'il est difficile pour eux de se plier aux exigences de la tâche et que leur agitation motrice altère les signaux EEG (artéfacts). Les résultats les plus probants seraient, d'après les auteurs, liés à un grand nombre de sessions et l'apprentissage de stratégies métacognitives permettrait une généralisation des acquis. Toutefois ils précisent que les conclusions de leur étude étaient limitées par des manquements méthodologiques (absence de groupe contrôle), la multiplicité des interventions (neurofeedback, métacognition et biofeedback) et la possibilité d'un effet placebo.

Dans sa revue systématique de la littérature, Rossignol (2009) considérait le neurofeedback comme un traitement de grade C pour les enfants présentant un TSA c'est-à-dire que la technique était supportée par au moins un essai contrôlé non randomisé ou deux études de cas. En 2010, la revue de littérature de Coben et Myers conférait au neurofeedback un niveau de preuve 2, c'est-à-dire que la méthode était considérée comme «*peut-être efficace*». En 2014, Poustka et al. affirmaient que les preuves du neurofeedback chez les TSA étaient limitées et qu'il était nécessaire de réaliser des études contrôlées randomisées de plus grande envergure en prenant en compte les effets neuronaux des thérapies les plus documentées et les plus efficaces actuellement dans le champ de l'autisme : l'Analyse Comportementale Appliquée (ABA), le traitement et de l'éducation des enfants autistes ou atteints de troubles de la communication associés (TEACCH) et le Système de Communication par Echange d'Images (PECS).

En 2020, Van Hoogdalem, Feijs, Bramer, Ismail et Van Dongen ajoutaient que les résultats de la littérature étaient prometteurs mais qu'il existait encore trop peu d'études contrôlées. A ce jour, de nouveaux essais contrôlés randomisés ont été menés. Nous en répertorions trois dans cette revue narrative de la littérature (Konicar et al., 2021; Kouijzer, van Schie, de Moor, Gerrits, & Buitelaar, 2010; Kouijzer, van Schie, Gerrits, Buitelaar, & de Moor, 2013).

4. Trouble spécifique des apprentissages

Nous avons retenu onze parutions concernant les troubles spécifiques des apprentissages. Elles rassemblent un effectif cumulé de 135 enfants et adolescents de 6 à 16 ans ayant bénéficié d'entraînements thêta/alpha, thêta, delta, alpha, bêta ou SMR (rythme μ), parfois en association avec d'autres techniques comme des séances de soutien en lecture et en orthographe, de la stimulation audiovisuelle ou de l'apprentissage multisensoriel (Breteler, Arns, Peters, Giepman, & Verhoeven, 2010; R. Breteler, 2011; Eroğlu et al., 2020). Le nombre de sessions varie entre 20 et 60 selon les études pour une durée de 30 minutes. Le feedback est le plus souvent auditif et le renforcement peut être auditif, visuel, alimentaire ou matériel. Les résultats subjectifs (évaluations parentales et enseignantes) mettent en évidence une amélioration de la concentration, des capacités orthographiques et de la lecture avec une diminution des erreurs, un gain en vitesse et de meilleures habiletés phonologiques. Les résultats objectifs sont issus de plusieurs batteries : l'Echelle d'Intelligence Wechsler pour les enfants (WISC-R), le TOVA et le Test of Integrated Language and Literacy Skills (TILLIS). Ils mettent en avant une augmentation du quotient intellectuel total ainsi qu'une amélioration des performances verbales, des compétences attentionnelles et des performances en lecture (vitesse et score).

Une fois encore, la formation de l'évaluateur et les possibles traitements suivis en parallèle sont mentionnés par très peu d'auteurs (R. Breteler, 2011; Eroğlu et al., 2020; Fernández et al., 2007). Les résultats observés reposent majoritairement sur des évaluations subjectives et les protocoles utilisés varient fortement d'une étude à l'autre.

Becerra et al. (2006) évoquaient une réduction significative des troubles d'apprentissage après 20 sessions d'entraînement thêta/alpha de 20 minutes chacune et une rémission totale des symptômes 2 ans après l'intervention. De plus, ils rapportaient un apprentissage plus efficace lorsque le stimulus de renforcement était simplifié. Fernandez et al. (2016) ont comparé les renforçateurs auditifs et visuels ainsi que le renforcement positif et négatif. Selon eux, l'apprentissage était plus efficace et plus rapide lorsque le renforcement était auditif, car plus rapidement capté par le cerveau. De plus, l'apprentissage aurait été plus efficace lorsque le renforcement était négatif.

Dans leur revue de la littérature, Othman, Faye, Muthuvalu et Saad (2020) affirmaient que les cibles privilégiées des protocoles de neurofeedback dans le cadre des TSAp sont les lobes frontaux et temporaux gauches. Ils auraient d'ailleurs développé un outil permettant de distinguer le fonctionnement cérébral des personnes dyslexiques et des personnes ne présentant pas de troubles des apprentissages. Les résultats obtenus à l'issue des différents entraînements concernaient l'orthographe, la lecture et l'attention. Toutefois, les auteurs évoquaient des limites en termes de taille des échantillons et de choix des protocoles.

5. Syndrome de Gilles de la Tourette

Nous avons sélectionné sept études relatives à l'utilisation du neurofeedback chez les enfants présentant un Syndrome Gilles de la Tourette. Les études rassemblent un effectif cumulé de 82 enfants et adolescents de 9 à 19 ans ayant bénéficié d'entraînement SMR (rythme μ), SMR/thêta ou thêta/low-beta. L'entraînement des potentiels corticaux lents (SCP) et l'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle (IRMf) sont également étudiés auprès de cette population (Gevensleben et al., 2014; Sukhodolsky et al., 2020). Les sessions de neurofeedback durent 30 à 50 minutes. Le nombre de séances varie quant à lui entre 18 et 80 selon les études. Pour l'IRMf, seules 2 sessions ont été prodiguées. Le feedback est visuel et/ou auditif et le renforcement, lorsqu'il est précisé, se caractérise par une verbalisation du thérapeute ou par un système de points (Messerotti Benvenuti, Buodo, Leone, & Palomba, 2011; Tansey, 1986). Les évaluations parentales, les batteries d'évaluations (The Neuropsychological Battery for Adolescence) et les échelles de mesure de la sévérité des tics comme la Yale Global Tic Severity Scale (YGTSS) ou la Yale Tourette Syndrome Scale (YTSS) permettent d'objectiver une diminution voire une disparition des tics. On retrouve également une amélioration des fonctions cognitives, des capacités attentionnelles, de l'estime personnelle et des compétences sociales. Certains auteurs mentionnent un maintien des résultats six mois après l'intervention (Tansey, 1986; Zhuo & Li, 2014). Parmi eux, certains ont expérimenté l'utilisation de la mentalisation (dite « imagery training ») après l'entraînement neurofeedback pour transférer les compétences acquises dans la vie quotidienne (Zhuo & Li, 2014).

Les publications retenues sont assez peu détaillées. L'une des études, menée par des chercheurs géorgiens, ne se compose que d'un abstract et contient donc peu d'informations concernant les modalités d'entraînement choisies (Bakhtadze, Geladze, Khachapuridze, & Nasrashvili, 2012). Une autre étude, chinoise cette fois, est très synthétique et détaille peu le protocole mis en place (Zhuo & Li, 2014). De plus, les effectifs étudiés sont réduits.

En 2015, Farkas, Bluschke, Roessner et Beste ont réalisé une revue de la littérature et estimaient qu'aucune étude contemporaine n'était empiriquement satisfaisante sur le plan méthodologique, si ce n'est l'essai randomisé contrôlé mis en œuvre par Gevensleben et al. (2014). Dans cette étude, les auteurs comparaient les protocoles SCP et theta/low-beta auprès de 41 enfants de 9 à 16 ans aléatoirement répartis dans ces deux groupes. Ils indiquaient une réduction de la fréquence des tics dans les deux groupes, sans différence significative selon le protocole employé. Toutefois, la population étudiée présentait un TDA/H associé au SGT, qui pourrait être plus réceptif à cet outil thérapeutique que les patients présentant un SGT isolé/sans comorbidité (Farkas, Bluschke, Roessner, & Beste, 2015).

Plus récemment, Sukhodolsky et al. (2020) ont étudié l'application du neurofeedback à l'aide de 2 sessions IRMf ciblée sur l'Aire Motrice Supérieure (AMS) comme cible d'action auprès de 21 adolescents âgés de 11 à 19 ans. Ils constataient une amélioration des symptômes de tics. Cependant, les auteurs émettaient des réserves quant à l'implication du mécanisme d'action supposé (AMS). Les adolescents avaient pour consigne de reproduire leurs tics ; treize présentaient une comorbidité psychiatrique de type TDA/H, TOCs, trouble anxieux ou trouble oppositionnel avec provocation.

6. Syndrome d'Alcoolisation Fœtale

Nous avons retenu deux études à l'issue de notre recherche. Il s'agit de deux études de cas uniques auprès d'enfants de 10 et 12 ans présentant un Syndrome d'Alcoolisation Fœtale avec TDA/H associé (Hallman, 2012; Hammond, 2012). Ces deux enfants ont respectivement bénéficié d'un protocole s'appuyant sur le système à faible potentiel énergétique (LENS) de 31 sessions et d'un protocole live z-score de l'ordre de 80 sessions. Les feedbacks se présentaient sous forme d'un faible champ électromagnétique ou d'un retour visuel (visionnage d'un DVD qui se met en pause et redémarre). Les modalités de renforcement et la durée des séances ne sont pas précisées. A noter que les deux adolescents suivaient un traitement médicamenteux en parallèle de l'entraînement neurofeedback. Les résultats observés concernent les domaines de la mémoire, des performances académiques et des comportements sociaux (habiletés pragmatiques).

Les résultats obtenus sont issus d'évaluations parentales. Ils sont donc subjectifs. L'effectif n'est que de deux enfants et la tranche d'âge est limitée. De plus, les enfants présentaient des troubles associés et suivaient des thérapies médicamenteuses pendant toute la durée de l'entraînement neurofeedback.

Hammond (2012) a étudié l'impact du neurofeedback LENS chez un adolescent de 10 ans à raison de 31 sessions. Il retrouvait des résultats comportementaux et académiques significatifs et rapportait une diminution des symptômes associés au SAF de 7,4/10 à 4/10 selon les rapports parentaux. Toutefois, il signalait des effets indésirables de type irritabilité et agressivité et modérait les résultats obtenus. En effet, l'enfant ayant bénéficié de cette thérapie ne présentait pas un syndrome d'alcoolisation fœtale sévère.

La même année, Hallman (2012) a étudié l'impact d'un entraînement live z-score auprès d'un garçon de 12 ans 11 mois à raison de 20 sessions tous les 3 ou 4 mois. Il retrouvait des améliorations mnésiques et conversationnelles ainsi que de meilleures habiletés pragmatiques (initiation et maintien de la conversation). Il soulignait toutefois la difficulté de distinguer les améliorations liées au développement « normal » de l'enfant et les progrès attribuables au neurofeedback.

Discussion

1. Synthèse des résultats

A l'issue de notre revue de la littérature, il semble que le neurofeedback ait une influence sur les domaines classiquement attribués à l'orthophonie chez les enfants présentant un TND. Les études répertoriées concernent la DI, le TSA, les TSAp, le SGT et le SAF. Le TSA est très largement documenté, surtout chez les enfants n'ayant pas de déficience intellectuelle associée. Les chercheurs utilisent principalement le neurofeedback des rythmes cérébraux avec pour cibles majoritaires les rythmes SMR (ou rythme μ), thêta/bêta et thêta. Les auteurs rapportent des bénéfices concernant les domaines de l'articulation, de la parole, du langage oral (lexique, syntaxe et récit), de la pragmatique et du langage écrit (score et vitesse de lecture, capacités orthographiques). La communication générale semble plus efficiente, en témoignent les améliorations en termes de sociabilité et d'habiletés conversationnelles décrites dans plusieurs des études sélectionnées.

D'autres domaines classiquement abordés en rééducation orthophonique ne font pas l'objet d'analyse lors des différentes études. Il s'agit de la voix, de la cognition mathématique, de la dysgraphie et des fonctions oro-myo-faciales. De plus, certains troubles neurodéveloppementaux ne sont pas abordés. En effet, l'application du neurofeedback dans le cadre du TDA/H fait l'objet de nombreuses études mais son intégration dans cette revue aurait été trop chronophage et ne nous aurait pas permis d'étudier plus précisément les autres TND. Les conclusions de notre travail ne sont donc pas généralisables pour l'ensemble des TND, d'autant plus que les troubles de la fluence, la dyscalculie et la dysgraphie ne sont pas mentionnés.

Aucune étude n'est francophone. Les articles sélectionnés sont uniquement rédigés en anglais ce qui limite la généralisation des résultats à la population francophone et diminue le nombre de publications analysées. Notons par exemple l'étude de Arsham, Ghadiri et Babak (2017) qui aborde l'utilisation du neurofeedback auprès d'enfants dysgraphiques. Cette étude, rédigée en persan et dont la traduction n'était pas disponible, n'a pas été intégrée à notre revue de littérature même si elle aurait pu se révéler pertinente. La France est encore très en retard dans ce domaine. Le biofeedback et le neurofeedback sont peu connus et très peu répandus. L'absence de littérature francophone limite le développement du neurofeedback sur notre territoire et les études étrangères ne peuvent suffire à attester l'efficacité du neurofeedback auprès de la population française.

Même si ce travail nous a permis d'établir un état des lieux des pratiques de nos voisins européens, américains et asiatiques, notre revue de la littérature ainsi que les articles qui y figurent présentent des limites.

2. Critique de la méthodologie et des résultats

Les résultats de cette revue sont prometteurs et nous laissent envisager l'intégration du neurofeedback dans la pratique clinique. Toutefois, il s'agit d'une revue *narrative* de la littérature qui, par définition, n'est ni exhaustive ni reproductible. D'autre part, les publications sélectionnées présentent des limites méthodologiques. Elles sont relativement hétérogènes en termes de nombre de sessions proposées et de durée des entraînements. Les protocoles mis au points par les auteurs ne sont pas identiques et s'appuient parfois sur des postulats théoriques différents. Les évaluations pré et post-intervention ne sont pas systématiquement normées et lorsqu'elles le sont, les tests et batteries sélectionnés varient d'une étude à l'autre. Beaucoup de publications s'appuient sur des évaluations ou des rapports parentaux qui sont subjectifs et limitent les conclusions des interventions proposées.

En outre, le manque de groupes témoin, l'absence d'interventions en double-aveugle (ni le sujet étudié, ni l'évaluateur ne connaissent la modalité d'entraînement) et l'effectif réduit des échantillons limitent les conclusions de cette revue. Nous avons regretté de ne pas trouver plus de recherches mentionnant l'utilisation d'un placebo dans les groupes témoin. Selon Heinrich et al. (2007), la modalité de contrôle par placebo serait la plus adéquate. Ils proposent notamment le recours au *sham-feedback* qui permettrait de réaliser des études en double aveugle. Le patient recevrait alors un feedback aléatoire ou sans lien avec son activité cérébrale mais plutôt lié à son activité musculaire voire l'activité cérébrale d'un autre patient. Ce type de condition soulève néanmoins des questionnements éthiques et semble impossible à mettre en œuvre auprès d'enfants et d'adolescents. Les auteurs proposent plutôt un contrôle via une autre modalité de biofeedback comme l'activité électrodermale pour le TDA/H ou l'activité musculaire pour le SGT. Le neurofeedback pourrait également être comparé à des thérapies ayant déjà été étudiées et reconnues comme efficaces par les autorités sanitaires. Poustka et al (2014) évoquent d'ailleurs l'analyse des effets neuronaux des interventions ABA, TEACCH et PECS dans le cadre des TSA. D'après le Comité Consultatif National d'Éthique (2013), il serait inacceptable de modifier l'activité cérébrale et il y voit un potentiel danger. Seules les études épidémiologiques dites d'observation sont envisageables.

La formation initiale du thérapeute et son rôle au cours des sessions d'entraînement sont rarement mentionnés. Seuls quelques auteurs le précisent (Eroğlu et al., 2020; Fernández et al., 2007; Kouijzer, de Moor, Gerrits, Congedo, & van Schie, 2009; Steiner et al., 2014). Pourtant, Fovet, Jardri et Micoulaud-Franchi (2016) indiquent que « la place d'un thérapeute formé est essentielle pour expliquer la technique, renforcer l'apprentissage, maintenir la motivation au cours des séances et permettre de suivre l'évolution des performances ». Par ailleurs, la généralisation et le transfert des compétences sont peu documentés alors que Poustka et al (2014) considèrent que les trois étapes à respecter lors du projet thérapeutique sont : l'autorégulation avec le feedback, le transfert et l'expérimentation de l'auto-efficacité dans la vie de tous les jours. Certains auteurs décrivent tout de même des interventions à visée de transfert et/ou de généralisation. On citera par exemple l'apprentissage de stratégies métacognitives pour le Syndrome d'Asperger (L. Thompson, Thompson, & Reid, 2010), l'imagerie learning pour le SGT (Zhuo & Li, 2014) et l'utilisation de fiches récapitulatives et de journal d'entraînement lors d'une pause thérapeutique pour le TSA (Konicar et al., 2021)

Nous remarquons également que les notions de feedback et de renforcement sont souvent dissociées dans les études et ne sont pas systématiquement renseignées. Comme nous l'avons vu dans le contexte théorique, c'est le feedback (audio, visuel ou audiovisuel) qui incarnerait le rôle de renforçateur d'un comportement. Toutefois, si certains auteurs distinguent feedback et renforçateur (ou récompense), c'est que l'on peut considérer que les éloges ou les jetons sont des renforçateurs *secondaires* qui amènent une motivation supplémentaire dans l'apprentissage et une récompense tangible (Thompson M. & Thompson L., 2015), d'où la présence de deux notions bien distinctes au sein de plusieurs publications et de leur différenciation dans notre tableau récapitulatif (Annexe 3).

3. Perspectives professionnelles

.2.1. Recommandations de bonnes pratiques

Le neurofeedback est une approche thérapeutique non invasive et non pharmacologique. Toutefois, des effets indésirables peuvent être observés, en particulier lorsque les praticiens ne sont pas formés spécifiquement à la méthode. Hammond et Kirk (2007) décrivent notamment des cas de labilité émotionnelle, tics vocaux, spasmes musculaires, maux de tête, incontinence, énurésie, confusion ou encore troubles du sommeil observés par différents cliniciens.

Face à ce constat, l'ISNR a communiqué des recommandations de bonnes pratiques du neurofeedback (Hammond et al. 2011). Dans l'idéal, les praticiens devraient :

- Avoir suivi une formation spécifique à la pratique du neurofeedback
- Etre certifiés par l'Alliance de Certification Internationale de Biofeedback (BCIA)
- Avoir suivi une formation initiale leur autorisant la prise en charge des pathologies présentées par leurs patients, en accord avec les standards éthiques et légaux de leur profession.
- Réaliser une anamnèse détaillée retraçant les antécédents familiaux et médicaux des patients.
- Compléter l'anamnèse par un bilan psychologique, neuropsychologique et/ou neurofonctionnel (évaluation par EEGq)
- Informer les patients des éventuels risques liés à la thérapie afin d'obtenir leur consentement libre et éclairé, avant mais aussi tout au long de la prise en charge.
- Maintenir leur niveau de compétence et de connaissance en poursuivant leur parcours d'apprentissage.
- Conserver un dossier rassemblant les formulaires de consentement, les dates exactes des séances, le type d'activité réalisé, les progrès ainsi que les éventuels effets secondaires observés.
- Mesurer les résultats obtenus grâce à des évaluations pré et post traitement (ou lignes de base) qui pourront déterminer l'efficacité de celui-ci.
- Etre activement présent lors des séances afin de fournir encouragements et renforcements aux patients

.2.2. Encadrement et formation professionnelle

L'ISNR préconise un encadrement des séances de neurofeedback par un professionnel expert du fonctionnement cérébral. Toutefois, elle ne cite aucun corps de métier spécifiquement apte à réaliser ce type de thérapie. Heinrich et al. (2007) mettent l'accent sur les compétences psychologiques et physiologiques nécessaires à cette pratique, notamment la connaissance des thérapies cognitivo-comportementales et du fonctionnement de l'EEG.

Lors de sa formation initiale, l'orthophoniste acquiert des connaissances en psychologie, en neurosciences et en imagerie cérébrale. Mais, il n'est pas formé aux thérapies cognitivo-comportementales ni à l'utilisation ou à l'analyse de l'EEG. De plus, on ne peut pas affirmer que l'orthophoniste soit un expert du fonctionnement cérébral. Il a cependant l'obligation de se former tous les 3 ans en développement professionnel continu et est libre de choisir une formation n'ayant pas reçu l'agrément du Fif-PL ou de l'ANDPC. Il serait donc envisageable que l'orthophoniste bénéficie de formations en thérapies cognitives et comportementales, maîtrise de l'EEGq et en neurofeedback. En outre, si l'orthophoniste n'est pas apte à manipuler les outils d'imagerie cérébrale et de rétroaction neurologique, il est tout à fait compétent dans l'évaluation des troubles de la communication et du langage et pourrait, à ce titre, participer aux protocoles de recherche et aux suivis pluridisciplinaires de patients bénéficiant de cette thérapie.

Sur la scène internationale, les formations en neurofeedback sont encadrées par l'Alliance Internationale de Certification du Biofeedback (BCIA). Il s'agit de la seule entité dont les certifications sont à la fois reconnues par l'ISNR, l'Association pour la Psychologie Appliquée et le Biofeedback (AAPB) et la Fédération Européenne de Biofeedback (BFE). Pour prétendre à l'obtention d'une certification (BCN ou « Board Certified in Neurofeedback »), les thérapeutes doivent être titulaires d'un diplôme dans le domaine de la Santé reconnu par la BCIA. C'est le cas des orthophonistes. Ils doivent ensuite compléter une formation didactique puis une formation pratique encadrée par un mentor qualifié et un contrôle des connaissances permettant l'obtention du titre de BCN. On compte peu de détenteurs de ce titre en Europe et parmi eux seuls trois sont français.

La rareté de praticiens certifiés en neurofeedback peut être liée au manque de structures de formations sur le territoire national. En effet, seul l'Institut Neurosens a été certifié par la BCIA. Néanmoins, l'organisme de formation ne propose que quelques heures d'enseignement et ne permet d'accéder qu'à la partie théorique. Il faut alors compléter la formation par les modules pratiques puis le contrôle des connaissances et la BCIA renvoie les professionnels non formés à l'EEGq vers l'organisme « International EEG Certification Board ». Aussi, lors de la 1^{ère} journée nationale sur le neurofeedback (Paris, 2016), Jean-Loup Drouet précisait qu'« une certification de la BCIA est une qualification, une compétence particulière dans le cadre d'une formation initiale et pour des applications autorisées dans ce cadre professionnel ». La formation apporte donc une compétence qui s'intègre dans la pratique du professionnel de santé. Un orthophoniste formé au neurofeedback ne deviendrait donc pas un *praticien du neurofeedback* mais un orthophoniste autorisé à utiliser cet outil dans sa pratique. Le neurofeedback est donc une intervention complexe qui nécessite des connaissances préalables en EEGq puis une certification en neurofeedback.

Le conditionnement opérant seul ne peut suffire à expliquer le fonctionnement du neurofeedback et le modèle d'apprentissage du neurofeedback reste encore relativement confus (Fovet, Jardri, & Micoulaud-Franchi, 2016).

La possibilité de cartographier l'activité cérébrale d'un individu et de la comparer à une norme pose des questions d'ordre éthique, déontologique et législatif. L'avis de l'ordre des psychologues du Québec sur le biofeedback et le neurofeedback (2016) stipule que l'évaluation des troubles neuropsychologiques, même si elle fait partie intégrante du protocole de neurofeedback, est réservée à certains professionnels de santé. À ce titre, les psychologues doivent rester dans leur champ de compétences et ne peuvent se prononcer au sujet d'un quelconque diagnostic médical, et ce même si les profils d'activité cérébrale collectés lors des séances de neurofeedback peuvent y contribuer. Il leur est alors conseillé d'orienter les patients vers le corps médical. En effet, même si la condition médicale détectée sur l'EEGq concerne leur champ de compétence, l'EEGq n'est pas un outil de diagnostic des troubles mentaux et/ou neuropsychologiques. Il n'existe pas d'institution ordinale de ce type dans le domaine de l'orthophonie en France. Et, même si l'article L434-1 du code de la Santé Publique indique que l'orthophoniste « établit en autonomie son diagnostic et décide des soins orthophoniques à mettre en œuvre », la simple analyse des imageries cérébrales ne pourrait suffire à la pose d'un diagnostic.

Le Comité Consultatif National d'Éthique (2013) s'est penché sur la question de la neuro-amélioration biomédicale et souligne qu'il est actuellement impossible d'évaluer le rapport bénéfique/risque de ces techniques biomédicales. En effet, les effets à court terme sont limités par des biais méthodologiques et les effets à long terme restent pour le moment inconnus. De plus, le Comité Consultatif National d'Éthique estime qu'il existe un fossé entre les bénéfices perçus et les résultats observés. Il affirme également que les conditions de mise sur le marché de tels dispositifs médicaux sont plus laxistes, font l'objet de communications publicitaires souvent mensongères et que cette situation expose les potentiels utilisateurs à des effets indésirables d'ordre psycho-cognitifs (agitation, insomnie, défaut de concentration). Le Comité Consultatif National d'Éthique appelle donc à la prudence et déconseille fortement l'utilisation de tels dispositifs chez l'enfant, l'adolescent et les personnes vulnérables.

En France, il existe très peu de textes officiels réglementant la pratique du neurofeedback et les dérives existent. D'après Arns (2017), c'est dans ce contexte d'absence de règlement et de guide de bonnes pratiques qu'un grand nombre d'applications commerciales soi-disant « innovantes » ont vu le jour et nourrissent les incompréhensions dans ce domaine. Il cite notamment le neurofeedback « Smartbrain » connecté à une PlayStation qui ne présenterait aucune efficacité. D'autres méthodes détournées du neurofeedback sont régulièrement citées. Nous détaillerons ici l'utilisation du neurofeedback dynamique puisqu'il s'agit d'une technique relativement répandue en France.

.2.3. Neurofeedback dynamique

Le « neurofeedback dynamique », plus connu sous l'appellation NeurOptimal®, est une marque déposée par le Zengar Institute Inc. en 2011. Les développeurs de cette méthode, Valdeane et Susan Brown, mettent au point la première version de neurofeedback dynamique en 1999 (Fournier, Bohn, et Carru 2011). Cette technique, entièrement automatisée depuis septembre 2000, s'intéresserait aux variations de l'état cérébral de base, ou « mode spontané du cerveau ». Ces variations témoigneraient d'un dysfonctionnement cérébral et sont enregistrées via un système de « mini-EEG » avec 5 électrodes, dont 3 neutres. Ce signal électrique est envoyé à un boîtier encodeur puis amplifié avant d'être transmis au logiciel installé sur un ordinateur portable. Le signal ne circulerait donc que dans un sens, du cerveau vers l'ordinateur, ce qui ne constituerait aucun danger pour le patient (Fournier et al. 2011). Les séances, d'environ 30 minutes, ne requièrent aucune participation du patient qui est assis et écoute de la musique, ou regarde un film alors que des micro-coupures de son lui signalent (consciemment ou non) une variation de son activité cérébrale. Les interruptions sonores sont des feedbacks instantanés. Ce serait parce qu'elles surviennent en même temps que la variation électrique de l'activité cérébrale qu'elles enclenchent un phénomène de plasticité cérébrale (réorganisation synaptique). Selon Fournier et Bohn (2011), cette neurotechnologie aurait une action sur une multitude de « problèmes » tout en appliquant un protocole unique : acouphènes, addictions, stress, irritabilité, dépression, douleurs fantômes, épilepsie, herpès, céphalées, phobies, sommeil mais aussi sur le bavage, la dyslexie, l'hyperactivité et les compétences sociales qui relèvent du champ de compétence des orthophonistes (Fournier et al. 2011).

L'Association pour la Diffusion du Neurofeedback en France (ADNF) répertorie 350 praticiens du neurofeedback dynamique dont 2 sont des orthophonistes. Il s'agirait donc d'une méthode particulièrement répandue sur le territoire national. Néanmoins, cette technique ne s'inscrirait pas dans une « relation thérapeutique » mais plutôt dans une « relation d'aide ». En effet, aucun EEG préalable ni diagnostic n'est requis pour bénéficier du NeurOptimal® et le thérapeute n'a qu'un rôle technique (branchement et lancement de la séance). Comme indiqué dans le formulaire de consentement éclairé du client, distribué par l'entreprise Zengar®, la méthode n'est pas un dispositif médical et n'a pas été validée comme tel par les organismes officiels de santé qui sont très critiques à son égard.

Le NeurOptimal® est « un outil pour l'entraînement et l'optimisation du cerveau ». Ce procédé s'apparenterait plutôt à « une technique passive de neurostimulation couplée à l'EEG » (Micoulaud-Franchi et al. 2014). Il ne s'agirait donc pas d'un dispositif de neurofeedback à proprement parler. En effet, le NeurOptimal® ne repose pas sur le conditionnement opérant ce qui ne répond donc pas à la définition du neurofeedback. Ces affirmations ne remettent pas en cause l'efficacité de la méthode mais la distinguent simplement de l'objet de notre étude.

Conclusion

Il s'agit, à notre connaissance, de la première revue de littérature étudiant l'impact du neurofeedback auprès des enfants présentant des TND dans une perspective orthophonique. Après l'analyse de 47 articles en lien avec son application dans le cadre des TND, le neurofeedback est un outil porteur d'espoir pour les handicaps intellectuels, les troubles spécifiques des apprentissages, le syndrome de Gilles de la Tourette et le syndrome d'alcoolisation fœtale. Néanmoins, son efficacité clinique reste un sujet de discorde. Les publications existantes se heurtent à des biais méthodologiques et l'application de ce dispositif en orthophonie reste purement hypothétique.

Le neurofeedback nécessite de plus amples investigations, notamment en France, en suivant une méthodologie de recherche plus stricte. Les orthophonistes ne font pas encore partie des protocoles de recherche sur le neurofeedback mais leur expertise concernant les domaines de la communication et du langage pourrait être requise, notamment lors de la passation des batteries d'évaluation avant et après l'entraînement neurofeedback. Une revue *systematique* de la littérature incluant le TDA/H et des publications en langue étrangère serait la bienvenue. Nos observations pourraient aussi être complétées par une seconde revue narrative de la littérature axée sur l'utilisation du neurofeedback auprès d'enfants TDA/H. Des essais contrôlés randomisés, en double aveugle, avec une comparaison entre neurofeedback et thérapies plus classiques doivent être entreprises pour espérer augmenter le niveau de preuve du neurofeedback et envisager son utilisation dans la pratique clinique. Nous espérons que notre travail comble un manque dans la littérature francophone et qu'il permettra des avancées dans la recherche scientifique.

Au vu des nombreuses dérives de la méthode et au manque de législation à son sujet, nous appelons également à la prudence. L'orthophoniste se doit de proposer le traitement le plus adapté à son patient, dans une démarche de pratique fondée sur les preuves. Le neurofeedback n'ayant pas encore été reconnu comme plus efficace que certains dispositifs ou certaines thérapies, il n'est pas préconisé de l'utiliser comme outil principal de rééducation.

Bibliographie

- Adnams, C. M., Sorour, P., Kalberg, W. O., Kodituwakku, P., Perold, M. D., Kotze, A., ... May, P. A. (2007). Language and Literacy Outcomes from a Pilot Intervention Study for Children with fetal alcohol Spectrum Disorders in South Africa. *Alcohol (Fayetteville, N.Y.)*, 41(6), 403-414. <https://doi.org/10.1016/j.alcohol.2007.07.005>
- American Academy of Pediatrics. (2013). Evidence-Based Child and Adolescent Psychosocial Interventions. American Academy of Pediatrics. Repéré à https://www.aap.org/en-us/Documents/resilience_anxiety_interventions.pdf
- American Psychiatric Association (Éd.). (2013). Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders : DSM-5 (5th ed). Washington, D.C: American Psychiatric Association.
- Arns, M. (2017). A NExT Step for Neurofeedback in France. *L'Encéphale*, 43(2), 97-98. <https://doi.org/10.1016/j.encep.2017.01.002>
- Arsham. (2017). Comparison of the Effectiveness of Two Intervention Methods of Neurofeedback Training (NFT) and the Movement Program on the Handwriting Performance of 9-11 Years Old Children with Dysgraphia Semantic Scholar. Repéré à <https://www.semanticscholar.org/paper/Comparison-of-the-Effectiveness-of-Two-Intervention-Arsham-Ghadiri/b46628a1a03fa1c8b572c06ffc4d1718bc87cb98>
- Bakhtadze, S., Geladze, N., Khachapuridze, N., & Nasrashvili, M. (2012). Neurofeedback as a Treatment of Tics in Children. *Archives of disease in childhood*, 97(Suppl 2), A424-A424. <https://doi.org/10.1136/archdischild-2012-302724.1494>
- Baxter, A. J., Brugha, T. S., Erskine, H. E., Scheurer, R. W., Vos, T., & Scott, J. G. (2015). The Epidemiology and Global Burden of Autism Spectrum Disorders. *Psychological Medicine*, 45(3), 601-613. <https://doi.org/10.1017/S003329171400172X>
- Becerra, J., Fernández, T., Harmony, T., Caballero, M. I., Garcia, F., Fernández-Bouzas, A., ... Prado-Alcalá, R. A. (2006). Follow-Up Study of Learning-Disabled Children Treated with Neurofeedback or Placebo. *Clinical EEG and Neuroscience*, 37(3), 198-203. <https://doi.org/10.1177/155005940603700307>
- Breteler, M. H. M., Arns, M., Peters, S., Giepman, I., & Verhoeven, L. (2010a). Erratum to : Improvements in Spelling after QEEG-based Neurofeedback in Dyslexia: A Randomized Controlled Treatment Study. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 35(2), 187-187. <https://doi.org/10.1007/s10484-010-9129-7>
- Breteler, M. H. M., Arns, M., Peters, S., Giepman, I., & Verhoeven, L. (2010b). Improvements in Spelling after QEEG-based Neurofeedback in Dyslexia : A Randomized Controlled Treatment Study. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 35(1), 5-11. <https://doi.org/10.1007/s10484-009-9105-2>
- Breteler, R. (2011). Neurofeedback Treatment of Dyslexia. *Neuroscience Letters*, 500, e5. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2011.05.077>
- Coben, R., Linden, M., & Myers, T. E. (2010). Neurofeedback for Autistic Spectrum Disorder : A Review of the Literature. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 35(1), 83-105. <https://doi.org/10.1007/s10484-009-9117-y>

- Coben, R., & Myers, T. E. (2010). The Relative Efficacy of Connectivity Guided and Symptom Based EEG Biofeedback for Autistic Disorders. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 35(1), 13-23. <https://doi.org/10.1007/s10484-009-9102-5>
- Comité Consultatif National d'Éthique pour les Sciences de la Vie et de la Santé, & Diederich, N. (2013). *Recours aux Techniques Biomédicales en vue de « Neuro-Amélioration » chez la Personne Non Malade : Enjeux Ethiques (Rapport No. 122)*. Comité Consultatif National d'Éthique. <https://doi.org/10.3917/eres.diede.1998.01.0251>
- Cripe, C. T. (2006). Effective Use of LENS Unit as an Adjunct to Cognitive Neuro-Developmental Training. *Journal of Neurotherapy*, 10(2-3), 79-87. https://doi.org/10.1300/J184v10n02_07
- Damier, P. (2007). Le Syndrome Gilles de la Tourette. Dans *Encyclopédie Orphanet Grand Public* (p. 8).
Repéré à <https://www.orpha.net/data/patho/Pub/fr/GillesdeLaTourette-FRfrPub43.pdf>
- Datko, M., Pineda, J. A., & Müller, R.-A. (2018). Positive Effects of Neurofeedback on Autism Symptoms Correlate with Brain Activation during Imitation and Observation. *The European Journal of Neuroscience*, 47(6), 579-591. <https://doi.org/10.1111/ejn.13551>
- Eroğlu, G., Gürkan, M., Teber, S., Ertürk, K., Kırmızı, M., Ekici, B., ... Çetin, M. (2020). Changes in EEG Complexity with Neurofeedback and Multi-Sensory Learning in Children with Dyslexia: A Multiscale Entropy Analysis. *Applied Neuropsychology. Child*, 1-12. <https://doi.org/10.1080/21622965.2020.1772794>
- Farkas, A., Bluschke, A., Roessner, V., & Beste, C. (2015). Neurofeedback and its Possible Relevance for the Treatment of Tourette Syndrome. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 51, 87-99. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2015.01.012>
- Fédération des Orthophonistes de France. (2019). *Nomenclature Générale des Actes en Orthophonie*. Repéré à <https://federation-des-orthophonistes-de-france.fr/wp-content/uploads/nomenclature-des-actes-au-1er-janvier-2019.pdf>
- Fernandez, T., del C. Rodriguez, M., Garcia, F., Prado-Alcala, R. A., Becerra, J., Harmony, T., & Otero, G. (2016). EEG-Neurofeedback in Children with Learning Disability (ld) and an EEG Maturational Lag : Comparison between Positive and Negative Reinforcement. Three Years-Follow-Up Study. *International Journal of Psychophysiology*, 108, 50. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2016.07.167>
- Fernández, T., Fernández, T., Bosch-Bayard, J., Bosch-Bayard, J., Harmony, T., Harmony, T., ... Otero-Ojeda, G. (2016). Neurofeedback in Learning Disabled Children : Visual versus Auditory Reinforcement. *Applied psychophysiology and biofeedback*, 41(1), 27-37. <https://doi.org/10.1007/s10484-015-9309-6>
- Fernández, T., Harmony, T., Fernández-Bouzas, A., Díaz-Comas, L., Prado-Alcalá, R. A., Valdés-Sosa, P., ... García-Martínez, F. (2007). Changes in EEG Current Sources Induced by Neurofeedback in Learning Disabled Children. An Exploratory Study. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 32(3), 169-183. <https://doi.org/10.1007/s10484-007-9044-8>

- Fernandez T., Herrera, T., Harmony, T., Díaz-Comas, L., Santiago, E., Sanchez, L., ... Valdés-Sosa, P. (2003). EEG and Behavioral Changes following Neurofeedback Treatment in Learning Disabled Children | Request PDF. *Clinical Encephalography*, 34(3).
- Fournier, C., & Bohn, P. (2011). *Le Neurofeedback Dynamique : Quand notre Cerveau Apprend à Mieux se Réguler*. Escalquens: Dangles.
- Fovet, T., Jardri, R., & Micoulaud-Franchi, J.-A. (2016). Le Neurofeedback en Psychiatrie : Les Outils d'Imagerie Cérébrale et de Neurophysiologie au Service de la Therapeutique, 92, 10.
- Friedrich, E. V. C., Sivanathan, A., Lim, T., Suttie, N., Louchart, S., Pillen, S., & Pineda, J. A. (2015). An Effective Neurofeedback Intervention to Improve Social Interactions in Children with Autism Spectrum Disorder. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 45, 4084-4100. <https://doi.org/10.1007/s10803-015-2523-5>
- García, F., Fernández, T., Becerra, J., Caballero, M. I., Fernández Bouzas, A., Santiago, E., ... Harmony, T. (2008). Neurofeedback effects on EEG and behavior in mild mentally retarded (MMR) children. Two months follow-up study. *Clinical neurophysiology*, 119(9), e154-e155. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2008.04.242>
- Gastaut, H. J., & Bert, J. (1954). EEG Changes During Cinematographic Presentation : Moving Picture Activation of the EEG. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 6, 433-444. [https://doi.org/10.1016/0013-4694\(54\)90058-9](https://doi.org/10.1016/0013-4694(54)90058-9)
- Gevensleben, H., Kleemeyer, M., Rothenberger, L. G., Studer, P., Flaig-Röhr, A., Moll, G. H., ... Heinrich, H. (2014). Neurofeedback in ADHD : Further Pieces of the Puzzle. *Brain Topography*, 27(1), 20-32. <https://doi.org/10.1007/s10548-013-0285-y>
- Habib, M. (2015). Dyslexie et Troubles Apparentés : Une Nouvelle Thématique de Santé Publique, entre Neurosciences 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)
- Hallman, D. W. (2012). 19-Channel Neurofeedback in an Adolescent with FASD. *Journal of Neurotherapy*, 16(2), 150-154. <https://doi.org/10.1080/10874208.2012.677646>
- Hammond, D. C. (2012). Lens Neurofeedback Treatment with Fetal Alcohol Spectrum Disorder and Neglect. *Journal of Neurotherapy*, 16(1), 47-52. <https://doi.org/10.1080/10874208.2012.650110>
- Hammond, D. Corydon. (2011). What is Neurofeedback : An Update. *Journal of Neurotherapy*, 15(4), 305-336. <https://doi.org/10.1080/10874208.2011.623090>
- Hammond, D. C., Bodenhamer-Davis, G., Gluck, G., Stokes, D., Harper, S. H., Trudeau, D., ... Kirk, L. (2011). Standards of Practice for Neurofeedback and Neurotherapy : A Position Paper of the International Society for Neurofeedback & Research. *Journal of Neurotherapy*, 15(1), 54-64. <https://doi.org/10.1080/10874208.2010.545760>
- Hammond, D.C., & Kirk, L. (2007). Negative Effects and the Need for Standards of Practice in Neurofeedback. *Biofeedback*, 35(4), 139-145. https://doi.org/10.1300/J184v04n04_09

- Haute Autorité de Santé. (2013). Troubles Causés par l'Alcoolisation Fœtale : Repérage. Repéré à https://www.has-sante.fr/upload/docs/application/pdf/2014-03/troubles_causes_par_lalcoolisation_foetale_reperage-_rapport_delaboration.pdf
- Haute Autorité de Santé. (2014). Conduite à Tenir en Médecine de Premier Recours Devant un Enfant ou un Adolescent Susceptible d'Avoir un Trouble Déficit de l'Attention avec ou sans Hyperactivité. Repéré à https://www.has-sante.fr/upload/docs/application/pdf/2015-02/tdah_recommandations.pdf
- Haute Autorité de Santé. (2016). Protocole National de Diagnostic et de Soins (PNDS) Syndrome Gilles de la Tourette. Haute Autorité de Santé. Repéré à https://www.has-sante.fr/jcms/c_2679221/fr/syndrome-gilles-de-la-tourette
- Haute Autorité de Santé. (2018). Trouble du Spectre de l'Autisme Signes d'Alerte, Repérage, Diagnostic et Evaluation chez l'Enfant et l'Adolescent. Repéré à https://www.has-sante.fr/upload/docs/application/pdf/2018-02/trouble_du_spectre_de_lautisme_de_lenfant_et_ladolescent__recommandations.pdf
- Heinrich, H., Gevensleben, H., & Strehl, U. (2007). Annotation : Neurofeedback ? Train your Brain to Train Behaviour. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 48(1), 3-16. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7610.2006.01665.x>
- Holtmann, M., Steiner, S., Hohmann, S., Poustka, L., Banaschewski, T., & Bölte, S. (2011). Neurofeedback in Autism Spectrum Disorders. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 53(11), 986-993. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8749.2011.04043.x>
- Institut National de la Santé et de la Recherche Médicale. (2007). Dyslexie, Dysorthographe, Dyscalculie : Bilan des Données Scientifiques. Paris: Les éditions Inserm. (Accepted: 2011-02-17T21:45:20Z). Repéré à <http://www.ipubli.inserm.fr/handle/10608/110>
- Institut National de la Santé et de la Recherche Médicale. (2016). Déficiences Intellectuelles. Montrouge: EDP Sciences. (Accepted: 2017-04-20T08:36:30Z). Repéré à <http://www.ipubli.inserm.fr/handle/10608/6816>
- Jamain, S., Betancur, C., Giros, B., Leboyer, M., & Bourgeron, T. (2003). La Génétique de l'Autisme. *Médecine/sciences*, 19(11), 1081-1090. <https://doi.org/10.1051/medsci/200319111081>
- Konicar, L., Radev, S., Prillinger, K., Klöbl, M., Diehm, R., Birbaumer, N., ... Poustka, L. (2021). Volitional Modification of Brain Activity in Adolescents with Autism Spectrum Disorder : A Bayesian Analysis of Slow Cortical Potential Neurofeedback. *NeuroImage : Clinical*, 29. <https://doi.org/10.1016/j.nicl.2021.102557>
- Kouijzer, M. E. J., Congedo, M., & van Schie, H. T. (2009). Neurofeedback Improves Executive Functioning in Children with Autism Spectrum Disorders. *Research in Autism Spectrum Disorders*, 18.
- Kouijzer, M. E. J., van Schie, H. T., de Moor, J. M. H., Gerrits, B. J. L., & Buitelaar, J. K. (2010). Neurofeedback Treatment in Autism. Preliminary Findings in Behavioral, Cognitive, and Neurophysiological Functioning. *Research in Autism Spectrum Disorders*, 4(3), 386-399. <https://doi.org/10.1016/j.rasd.2009.10.007>

- Kouijzer, M. E. J., van Schie, H. T., Gerrits, B. J. L., Buitelaar, J. K., & de Moor, J. M. H. (2013). Is EEG-Biofeedback an Effective Treatment in Autism Spectrum Disorders? A Randomized Controlled Trial. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 38(1), 17-28. <https://doi.org/10.1007/s10484-012-9204-3>
- LaMarca, K., Gevirtz, R., Lincoln, A., & Pineda, J. (2018). Facilitating Neurofeedback in Children with Autism and Intellectual Impairments Using TAGteach. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 48. <https://doi.org/10.1007/s10803-018-3466-4>
- Launay, L. (2018). Du DSM-5 au diagnostic orthophonique : Élaboration d'un arbre décisionnel, 55(273), 71-92.
- Liu, N., Cliffer, S., Pradhan, A. H., Lightbody, A., Hall, S. S., & Reiss, A. L. (2017). Optical-Imaging-Based Neurofeedback to Enhance Therapeutic Intervention in Adolescents with Autism: Methodology and initial data. *Neurophotonics*, 4(1), 011003. <https://doi.org/10.1117/1.NPh.4.1.011003>
- Loomes, R., Hull, L., & Mandy, W. P. L. (2017). What Is the Male-to-Female Ratio in Autism Spectrum Disorder? A Systematic Review and Meta-Analysis. *Journal of the American Academy of Child & Adolescent Psychiatry*, 56(6), 466-474. <https://doi.org/10.1016/j.jaac.2017.03.013>
- Lubar, J. F., & Shouse, M. N. (1976). EEG and Behavioral Changes in a Hyperkinetic Child Concurrent with Training of the Sensorimotor Rhythm (SMR). *Biofeedback and Self-regulation*, 1(3), 293-306. <https://doi.org/10.1007/BF01001170>
- Maillart, C., & Durieux, N. (2014). L'Evidence-Based Practice à Portée des Orthophonistes : Intérêt des recommandations pour la pratique clinique, 52(257), 12.
- Marzbani, H., Marateb, H., & Mansourian, M. (2016). Methodological Note : Neurofeedback: A Comprehensive Review on System Design, Methodology and Clinical Applications. *Basic and Clinical Neuroscience Journal*. Repéré à http://bcn.iuims.ac.ir/browse.php?a_id=608&sid=1&slc_lang=en
- Messerotti Benvenuti, S., Buodo, G., Leone, V., & Palomba, D. (2011). Neurofeedback Training for Tourette Syndrome: An Uncontrolled Single Case Study. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 36(4), 281-288. <https://doi.org/10.1007/s10484-011-9169-7>
- Micoulaud-Franchi, J.-A., Bat-Pitault, F., Cermolacce, M., & Vion-Dury, J. (2011). Neurofeedback dans le Trouble Déficit de l'Attention avec Hyperactivité : De l'Efficacité à la Spécificité de l'Effet Neurophysiologique. *Annales Médico-psychologiques, revue psychiatrique*, 169(3), 200-208. <https://doi.org/10.1016/j.amp.2011.02.007>
- Micoulaud-Franchi, Jean-Arthur, Cermolacce, M., Vion-Dury, J., & Naudin, J. (2014). Analyse Critique et Epistémologique du Neurofeedback comme Dispositif Psychothérapeutique. Le cas emblématique du trouble déficit de l'attention avec hyperactivité. *L'Évolution Psychiatrique*, 79(4), 667-681. <https://doi.org/10.1016/j.evopsy.2013.02.015>
- Monfrais-Pfauwadel, M.-C. (2014). Bégaiement, Bégaiements : un Manuel Clinique et Thérapeutique. (S.l.): (s.n.).

- Nazari, M. A., Mosanezhad, E., Hashemi, T., & Jahan, A. (2012). The Effectiveness of Neurofeedback Training on EEG Coherence and Neuropsychological Functions in Children With Reading Disability. *Clinical EEG and Neuroscience*, 43(4), 315-322. <https://doi.org/10.1177/1550059412451880>
- Neuroptimal Advanced Brain Training Systems. (n.d.). Formulaire de Consentement Eclairé du Client. Repéré à <https://www.adnf.org/pdf/Consentement%20pour%20entrainement%20avec%20NeurOptimal.pdf>
- Othman, E. S., Faye, I., Muthuvalu, M. S., & Saad, M. N. M. (2020). EEG Neurofeedback for Dyslexia Treatment : Limitations and Future Directions. *Journal of Physics : Conference Series*, 1497. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1497/1/012028>
- Piérart, B. (2013). Les Bégaiements de l'Enfant. *Enfance*, 2013(03), 201-205. <https://doi.org/10.4074/S0013754513003029>
- Pineda, J. A., Brang, D., Hecht, E., Edwards, L., Carey, S., Bacon, M., ... Rork, A. (2008). Positive Behavioral and Electrophysiological Changes Following Neurofeedback Training in Children with Autism. *Research in Autism Spectrum Disorders*, 2(3), 557-581. <https://doi.org/10.1016/j.rasd.2007.12.003>
- Pineda, J. A., Juavinett, A., & Datko, M. (2012). Self-Regulation of Brain Oscillations as a Treatment for Aberrant Brain Connections in Children with Autism. *Medical Hypotheses*, 79(6), 790-798. <https://doi.org/10.1016/j.mehy.2012.08.031>
- Pineda, Jaime A., Carrasco, K., Datko, M., Pillen, S., & Schalles, M. (2014). Neurofeedback Training Produces Normalization in Behavioural and Electrophysiological Measures of High-Functioning Autism. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, 369(1644), 20130183. <https://doi.org/10.1098/rstb.2013.0183>
- Pineda, Jaime A., Friedrich, E. V. C., & LaMarca, K. (2014). Neurorehabilitation of Social Dysfunctions : A Model-Based Neurofeedback Approach for Low and High-Functioning Autism. *Frontiers in Neuroengineering*, 7, 29. <https://doi.org/10.3389/fneng.2014.00029>
- Poustka, L., Brandeis, D., Hohmann, S., Holtmann, M., Bölte, S., & Banaschewski, T. (2014). Neurobiologically Based Interventions for Autism Spectrum Disorders : Rationale and New Directions. *Restorative Neurology and Neuroscience*, 32(1), 197-212. <https://doi.org/10.3233/RNN-139010>
- Rémond, A., & Rémond, A. (1994). *Biofeedback : Principes et Applications*. Paris: Masson.
- Rossignol, D. A. (2009). Novel and Emerging Treatments for Autism Spectrum Disorders : A Systematic Review. *Annals of Clinical Psychiatry : Official Journal of the American Academy of Clinical Psychiatrists*, 21(4), 213-236.
- Rousseau, I., & Onslow, M. (2002). L'approche Lidcombe : Programme d'Intervention pour les Enfants d'Age Préscolaire. *Le Bégaiement chez l'enfant*, 40(211), 63-75.

- Simkin, D. R., Thatcher, R. W., & Lubar, J. (2014). Quantitative EEG and Neurofeedback in Children and Adolescents : Anxiety Disorders, Depressive Disorders, Comorbid Addiction and Attention-deficit/Hyperactivity Disorder, and Brain Injury. *Child and Adolescent Psychiatric Clinics of North America*, 23(3), 427-464. <https://doi.org/10.1016/j.chc.2014.03.001>
- Skinner, B. F. (1938). *The Behavior of Organisms : An Experimental Analysis*. Cambridge: B. F. Skinner Foundation. (Google-Books-ID: S9WNCwAAQBAJ).
- Sokhadze, E. M., El-Baz, A. S., Tasman, A., Sears, L. L., Wang, Y., Lamina, E. V., & Casanova, M. F. (2014). Neuromodulation Integrating rTMS and Neurofeedback for the Treatment of Autism Spectrum Disorder : An Exploratory Study. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 39(3-4), 237-257. <https://doi.org/10.1007/s10484-014-9264-7>
- Steiner, N. J., Frenette, E., Hynes, C., Pisarik, E., Tomasetti, K., Perrin, E. C., & Rene, K. (2014). A Pilot Feasibility Study of Neurofeedback for Children with Autism. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 39(2), 99-107. <https://doi.org/10.1007/s10484-014-9241-1>
- Sukhodolsky, D. G., Walsh, C., Koller, W. N., Eilbott, J., Rance, M., Fulbright, R. K., ... Hampson, M. (2020). Randomized, Sham-Controlled Trial of Real-Time Functional Magnetic Resonance Imaging Neurofeedback for Tics in Adolescents With Tourette Syndrome. *Biological Psychiatry*, 87(12), 1063-1070. <https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2019.07.035>
- Surmeli, T. (2016). The Effects of QEEG Guided Neurofeedback Treatment (NFT) on Patients with Intellectual Disability (ID): A clinical case series with 67 subjects. *Frontiers in Human Neuroscience*, 10. <https://doi.org/10.3389/conf.fnhum.2016.220.00004>
- Surmeli, T., & Ertem, A. (2007). EEG Neurofeedback Treatment of Patients with Down Syndrome. *Journal of Neurotherapy*, 11, 63-68. https://doi.org/10.1300/J184v11n01_07
- Surmeli, T., & Ertem, A. (2010). Post WISC-R and TOVA Improvement with QEEG Guided Neurofeedback Training in Mentally Retarded: A Clinical Case Series of Behavioral Problems—Tanju Surmeli, Ayben Ertem, 2010, 41. Repéré à <https://journals-sagepub-com.ressources-electroniques.univ-lille.fr/doi/full/10.1177/155005941004100108>
- Tansey, M. A. (1986). A simple and a complex tic (Gilles de la Tourette's syndrome) : Their response to EEG Sensorimotor Rhythm Biofeedback Training. *International Journal of Psychophysiology : Official Journal of the International Organization of Psychophysiology*, 4(2), 91-97. [https://doi.org/10.1016/0167-8760\(86\)90002-4](https://doi.org/10.1016/0167-8760(86)90002-4)
- Thompson, L., Thompson, M., & Reid, A. (2010). Neurofeedback Outcomes in Clients with Asperger's Syndrome. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 35(1), 63-81. <https://doi.org/10.1007/s10484-009-9120-3>
- Thompson, M., & Thompson, L. (2015). *The Neurofeedback Book : Second Editions*. Toronto: The Association for Applied Psychophysiology and Biofeedback.
- Van der Horst, L. (2010). Observation Orthophonique et Intervention Précoce. *Archives de Pédiatrie*, 17(3), 319-324. <https://doi.org/10.1016/j.arcped.2009.09.019>

- Van Hoogdalem, L. E., Feijs, H. M. E., Bramer, W. M., Ismail, S. Y., & van Dongen, J. D. M. (2020). The effectiveness of Neurofeedback Therapy as an Alternative Treatment for Autism Spectrum Disorders in Children: A Systematic Review. *Journal of Psychophysiology*. <https://doi.org/10.1027/0269-8803/a000265>
- Walker JE, Norman CA. (2006). The Neurophysiology of Dyslexia : A Selective Review with Implications for Neurofeedback Remediation and Results of Treatment in Twelve Consecutive Patients. *Journal of Neurotherapy*, 10(1), 45-55.
- Wang, Y., Sokhadze, E. M., El-Baz, A. S., Li, X., Sears, L., Casanova, M. F., & Tasman, A. (2016). Relative Power of Specific EEG Bands and Their Ratios during Neurofeedback Training in Children with Autism Spectrum Disorder. *Frontiers in Human Neuroscience*, 9. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2015.00723>
- Zhuo, C., & Li, L. (2014). The Application and Efficacy of Combined Neurofeedback Therapy and Imagery Training in Adolescents With Tourette Syndrome. *Journal of Child Neurology*, 29(7), 965-968. <https://doi.org/10.1177/0883073813479999>

Liste des annexes

Annexe n°1 : Grille de lecture

Annexe n°2 : Diagramme de flux

Annexe n°3 : Tableaux présentant les différentes études selon la nature du TND