

DEPARTEMENT ORTHOPHONIE
FACULTE DE MEDECINE
Pôle Formation
59045 LILLE CEDEX
Tél : 03 20 62 76 18
departement-orthophonie@univ-lille.fr



 Université
de Lille

 **ufr35**
faculté
de médecine

MEMOIRE

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

Aurélie DABRIN

soutenu publiquement en juin 2022

**Effet de la cohérence cardiaque et du biofeedback
sur l'anxiété mathématique chez les enfants avec
difficultés d'apprentissage des mathématiques
Étude de cas unique**

MEMOIRE dirigé par
Sandrine Mejias, maître de conférences, Université de Lille, Lille

Lille – 2022

Remerciements

Je souhaiterais tout d'abord remercier ma directrice de mémoire, Sandrine Mejias, pour sa disponibilité et ses précieux conseils tout au long de la rédaction de ce mémoire.

Je remercie également l'ensemble des membres du jury d'avoir accordé de l'intérêt à ce mémoire et d'avoir participé à sa lecture.

Je remercie fortement Emma (prénom anonymisé) et ses parents, d'avoir participé à cette intervention.

Je tiens aussi à remercier chaleureusement l'ensemble de mes maîtres de stage et plus particulièrement celles de 5^{ème} année, Nicole Boudes, Christel Deville, Mélanie Fraresso, Margaux Neveu, et Isabelle Rousseaux qui ont rendu ma formation passionnante.

Je voudrais également remercier la fondation Groupe Dépêche pour leur soutien moral et financier, sans qui l'accès à ces études n'aurait peut-être pas été possible.

Enfin, j'aimerais remercier ma famille, mes proches et amis, et plus particulièrement mes parents, qui m'ont toujours soutenue et accompagnée, dans les bons comme dans les mauvais moments. Un grand merci à mes amies lilloises, qui ont ensoleillé ma vie dans le nord, avec qui j'ai vécu les plus beaux moments de ma vie étudiante. Merci aussi à mes amies du Gers, pour leur soutien et leur amitié sans faille, depuis longtemps déjà.

Résumé :

La littérature actuelle souligne les bénéfices de l'utilisation de la cohérence cardiaque et du biofeedback sur la gestion l'anxiété. Cependant, peu d'études analysent ses effets sur l'anxiété mathématique, alors que celle-ci entraîne d'importantes difficultés en mathématiques, affectant la vie quotidienne. Ce mémoire entend montrer, via l'étude d'un cas unique, l'apport de FOCUS, un outil de cohérence cardiaque couplée au biofeedback, sur une enfant de 8 ans, anxieuse et présentant des difficultés mathématiques. Nous cherchons à voir si les exercices de respiration diminuent l'anxiété mathématique de l'enfant et donc augmentent ses performances. Une intervention de quatre semaines a donc été effectuée. Afin de l'évaluer, un protocole a été élaboré et administré à trois reprises : un prétest 1 et 2, permettant une période contrôle, et un post-test. À l'issue de cette intervention, nous retrouvons une baisse claire et significative de l'anxiété mathématique. Nous observons également une réduction non significative de l'anxiété générale. En revanche, nous n'observons pas d'amélioration significative des performances en mathématiques. L'évaluation des compétences générales, nécessaires à la réalisation de tâches mathématiques, a mis en évidence une relative amélioration des capacités attentionnelles, mais des capacités en mémoire de travail restant stables. Enfin, même si certaines limites peuvent expliquer les résultats nuancés, l'analyse qualitative montre que l'utilisation de FOCUS peut être un apport supplémentaire à la prise en soin des difficultés mathématiques.

Mots-clés :

Enfant, cognition mathématique, anxiété mathématique, cohérence cardiaque, biofeedback.

Abstract :

The current literature highlights the benefits of using cardiac coherence and biofeedback to manage anxiety. On the other hand, few studies analyze its effects on mathematical anxiety, even though this anxiety leads to significant difficulties in mathematics, affecting daily life. This thesis intends to show, through a single case study, the contribution of FOCUS, a cardiac coherence tool coupled with biofeedback, on an anxious 8-year-old child with mathematical difficulties. We attempt to determine whether breathing exercises reduce the child's mathematical anxiety and therefore improve his performances. A four-week intervention was therefore carried out. In order to evaluate it, a protocol was developed and administered three times: a pre-test 1 and 2, as a control period, and a post-test. At the end of this intervention, we find a clear and significant decrease in mathematical anxiety. We also observe a non-significant reduction in general anxiety. On the other hand, we did not observe any significant improvement in mathematics performance. The evaluation of general skills, necessary to perform mathematical tasks, showed a relative improvement in attentional skills but working memory skills remained stable. Finally, even if some limitations can explain the nuanced results, the qualitative analysis shows that the use of FOCUS can be an additional contribution to the treatment of mathematical difficulties.

Keywords :

Child, mathematical cognition, mathematics anxiety, cardiac coherence, biofeedback.

Table des matières

Introduction.....	1
Contexte théorique, buts et hypothèses.....	2
1. Les difficultés mathématiques : du trouble d'apprentissage des mathématiques (TAM) au retard d'acquisition.....	2
1.1. Définitions.....	2
1.1.1. Trouble d'apprentissage des mathématiques (TAM).....	2
1.1.2. Retard d'acquisition en mathématiques.....	3
1.1.3. Diagnostic différentiel.....	3
1.2. Modèles cognitif et développemental de l'acquisition des mathématiques.....	3
2. L'anxiété des mathématiques.....	4
2.1. Définitions et caractéristiques de l'anxiété des mathématiques.....	4
2.2. Double influence de l'anxiété mathématique et des difficultés d'acquisition des mathématiques.....	5
3. La prise en charge orthophonique des patients en cognition mathématique et anxiété mathématique.....	6
3.1. Amélioration des performances mathématiques et de l'anxiété mathématique grâce aux interventions cognitives.....	6
3.2. Prises en charge spécifiques de l'anxiété mathématique.....	7
4. La cohérence cardiaque et le biofeedback.....	7
4.1. Définitions.....	8
4.2. Apport de la cohérence cardio-respiratoire et du biofeedback pour la gestion de l'anxiété.....	8
4.3. Le projet FOCUS.....	9
5. Problématique et hypothèses.....	9
Méthode.....	9
1. Choix de l'étude d'un cas unique.....	10
2. Sélection du participant.....	10
3. Présentation du participant.....	10
4. Matériel utilisé.....	11
4.1. L'outil FOCUS.....	11
4.2. Constitution d'une ligne de base.....	11
5. Design de l'étude et déroulement.....	12
5.1. Déroulement des séances de cohérence cardiaque couplée au biofeedback avec FOCUS.....	12
5.2. Évaluation de l'intervention.....	13
Résultats.....	13
1. Évaluation des mesures physiologiques.....	14
2. Évaluation du comportement.....	14
2.1. Échelles d'auto-évaluation.....	15
2.1.1. Échelle des états émotionnels : Self-assessment Manikin (Bynion et al., 2017).....	15
2.1.2. Échelle d'anxiété générale : STAI-C (Spielberger et al., 1973).....	15
2.1.3. Échelle PANAS évaluant les affects positifs et négatifs (Thompson, 2007).....	15
2.1.4. Échelle d'anxiété mathématique : m-AMAS 8-13 ans (Carey et al., 2017).....	16
2.2. Questionnaires parentaux.....	17
2.2.1. Questionnaire abrégé de Conners (Conners, 1997).....	17
2.2.2. Questionnaire SNAP-IV (Swanson, 2013).....	17
3. Évaluation des performances mathématiques.....	18
4. Évaluation des capacités mnésiques et attentionnelles.....	19
4.1. Mémoire à court terme et mémoire de travail.....	19
4.2. Épreuves évaluant la vitesse de traitement et l'attention.....	19

5. Entretien final avec les parents.....	20
Discussion.....	21
1. Interprétation des résultats.....	21
1.1. Evolution de l'anxiété.....	21
1.2. Evolution de l'anxiété mathématique.....	22
1.3. Evolution des performances mathématiques.....	22
1.4. Evolution des compétences en mémoire à court terme et de travail.....	23
1.5. Evolution des capacités attentionnelles.....	24
2. Limites de l'intervention.....	24
3. Intérêt pour la pratique orthophonique.....	25
Conclusion.....	27
Bibliographie.....	28
Liste des annexes.....	31
Annexe n°1 : Tableaux de suivi des séances.....	31

Introduction

Les mathématiques jouent un rôle majeur dans notre société. Discipline-phare à l'école, elle sert parfois d'outil de sélection. Dans le monde professionnel, on estime qu'un niveau équivalent à celui de la troisième est nécessaire pour effectuer la plupart des professions (Fayol, 2013).

Cependant, alors que les mathématiques sont omniprésentes dans la vie quotidienne, une grande partie de la population ne se sent pas à l'aise avec cette discipline. Dans la majorité des pays de l'OCDE (organisation de coopération et de développement économique), environ 20 % des enfants et adolescents développent des sentiments négatifs à leur égard (Fayol, 2013). Cette anxiété des mathématiques est fréquente et caractérisée par une appréhension ou une émotion négative vis-à-vis des tâches mathématiques (Hembree, 1990). Aussi, celle-ci est majorée lorsque la personne présente des difficultés en mathématiques. En effet, les individus souffrant de trouble d'apprentissage des mathématiques (TAM) peuvent ressentir un handicap important dans leur vie quotidienne, sociale et professionnelle en raison de leurs difficultés.

Il existe une forte corrélation entre les performances mathématiques et l'anxiété mathématique (Hembree, 1990). Leur relation est bidirectionnelle. L'anxiété mathématique serait la conséquence des faibles performances en arithmétique chez un individu, et celle-ci, deviendrait par la suite un facteur accentuant les difficultés en mathématiques (Fayol, 2018).

Afin d'améliorer les capacités en mathématiques, deux types d'interventions se présentent aux orthophonistes : agir directement sur les compétences mathématiques grâce à des séances de rééducation cognitive, ou, réduire l'anxiété mathématique, car en lien étroit avec les performances en mathématiques. Nous nous intéressons dans ce mémoire à ce deuxième type d'intervention.

L'Université de Lille et l'Université catholique de Louvain ont créé en partenariat, l'outil FOCUS, destiné aux enfants et permettant de diminuer l'anxiété grâce à la méthode du biofeedback couplée à des exercices de respiration (cohérence cardiaque). La cohérence cardiaque est une méthode de relaxation, scientifiquement validée, basée sur la respiration volontaire. Elle permet la synchronisation de la respiration et l'augmentation de la variabilité cardiaque. Enfin, le biofeedback permet de visualiser cette mesure physiologique en temps réel et de l'ajuster pendant la réalisation de l'exercice (Dormal et al., 2020).

Le principal objectif de ce mémoire est de réaliser une étude de cas unique afin d'étudier les bénéfices ou non de l'outil FOCUS sur un enfant présentant des difficultés mathématiques, et d'identifier les avantages et inconvénients de la méthode du biofeedback couplée à la cohérence cardiaque. Pour cela, nous avons observé, avant et après l'intervention, l'évolution de l'anxiété mathématique de l'enfant et de son comportement général, via des échelles d'évaluation. Nous avons également étudié l'évolution de ses performances en mathématiques et des compétences nécessaires à la réalisation de tâches mathématiques, comme la mémoire de travail et l'attention.

Dans un premier temps, nous développerons le contexte théorique de cette étude, cela permettra de définir précisément les termes spécifiques des troubles mathématiques, de l'anxiété mathématique, du biofeedback, et de la cohérence cardiaque. Dans un deuxième temps, nous détaillerons la problématique, les hypothèses et la méthodologie utilisée. Enfin, nous exposerons les résultats de notre étude et nous en ferons l'analyse.

Contexte théorique, buts et hypothèses

Dans la partie théorique de ce mémoire, nous précisons tout d'abord les termes spécifiques associés aux difficultés arithmétiques chez les enfants. Nous aborderons ensuite l'anxiété mathématique avant de faire un point sur la prise en charge de ces troubles dans un contexte orthophonique. Nous verrons également l'apport de la méthode du biofeedback couplée à la cohérence cardiaque sur l'anxiété. Enfin, nous exposerons les hypothèses de notre travail.

1. Les difficultés mathématiques : du trouble d'apprentissage des mathématiques (TAM) au retard d'acquisition

Un enfant ayant des difficultés en arithmétique peut présenter un trouble spécifique d'apprentissage des mathématiques (TAM) ou un retard d'acquisition. Les causes des difficultés seront alors généralement différentes.

1.1. Définitions

Nous allons donc préciser les différences entre le trouble spécifique et le retard en définissant leurs caractéristiques.

1.1.1. Trouble d'apprentissage des mathématiques (TAM)

Le TAM, aussi fréquemment appelé « dyscalculie développementale » est un trouble fréquent et hétérogène. Sa prévalence est estimée entre 4 et 6 % (Von Aster & Shalev, 2007). Selon le DSM 5 (American psychiatric association, 2013), le TAM est un trouble spécifique des apprentissages caractérisé par des difficultés à apprendre et à utiliser des compétences scolaires, persistant depuis plus de six mois, malgré la mise en place de mesures ciblant ces difficultés. Les principaux signes cliniques sont un déficit du sens du nombre, une non-maîtrise des données chiffrées ou du calcul, une non-mémorisation des faits arithmétiques (tables de multiplication, petites opérations...) et de grandes difficultés dans la résolution de problèmes mathématiques. Les compétences mathématiques d'une personne avec TAM sont très nettement en dessous du niveau escompté pour son âge chronologique. De plus, le trouble interfère de manière significative sur les performances scolaires et les activités de la vie quotidienne.

Les causes du TAM ne sont pas encore parfaitement connues et les hypothèses étiologiques sont multiples. Il existe deux types de TAM : le TAM primaire et secondaire.

Le TAM primaire résulte d'un trouble cognitif numérique spécifique, soit des difficultés de traitement des nombres. Différents facteurs peuvent expliquer le TAM primaire. En effet, celui-ci pourrait être dû à un déficit du sens du nombre (voir pour revue Lafay et al., 2015), un déficit d'accès au sens du nombre via les codes symboliques (Rousselle & Noël, 2007), ou un déficit de reconnaissance des codes symboliques arabe et/ou oral (Lafay, 2016). Actuellement aucun consensus n'a clairement été établi sur l'origine de celui-ci (voir pour revue Lafay et al., 2015).

Le TAM secondaire, quant à lui, est dépendant de processus cognitifs plus généraux tels que la mémoire, le langage, l'attention et les fonctions exécutives, qui seraient non efficaces chez un individu avec TAM. L'étude de Soltész et al. (2007) montre que les adolescents avec TAM ont des difficultés lorsqu'il s'agit de processus plus complexes et contrôlés par les fonctions exécutives ou la mémoire de travail, plutôt que dans les opérations mentales plus simples. De plus, dans une étude longitudinale, Von Aster et Shalev (2007) constatent que parmi 6 % des enfants avec dyscalculie développementale, seulement 1,8 % des enfants avaient une dyscalculie pure alors que 4,2 % présentaient une dyscalculie avec des comorbidités. Le TAM dépendrait donc de processus généraux impliqués dans d'autres fonctions cognitives et cela expliquerait pourquoi de nombreux enfants présentent un TAM avec une ou plusieurs comorbidités. Rubinsten et Henik, dans leur revue de littérature de 2009, indiquent que ces comorbidités peuvent être dues à plusieurs dysfonctionnements cérébraux ou à une seule lésion cérébrale. Ils peuvent donc entraîner une dyslexie ou un TDAH, ainsi que d'autres dysfonctionnements comportementaux, en plus du trouble en mathématiques.

1.1.2. Retard d'acquisition en mathématiques

Nous pouvons définir le retard d'acquisition en mathématiques par opposition à la définition du TAM. En effet, les deux peuvent se manifester de la même manière, mais le retard d'apprentissage en mathématiques sera transitoire ; les difficultés ne persisteront pas dans le temps. De plus, les difficultés dans le retard en mathématiques seront généralement moins importantes par rapport au TAM. Le retard pourra être spécifique à la cognition mathématique ou associé à d'autres difficultés d'apprentissage. Selon Fayol (2011), un enfant présente un trouble spécifique de l'apprentissage (en mathématiques ou lecture) seulement lorsque son niveau est de deux ans inférieur à son niveau intellectuel. Avant cela, nous parlons donc de retard d'acquisition.

1.1.3. Diagnostic différentiel

Parfois, les difficultés en mathématiques ne sont pas spécifiques, mais intégrées dans des troubles ou retards d'apprentissage plus globaux. Selon le DSM 5 (American psychiatric association, 2013), les difficultés ne sont pas spécifiques si elles peuvent être expliquées par un handicap intellectuel, un déficit sensoriel, des troubles neurologiques ou mentaux, un trouble psychosocial, un manque de maîtrise de la langue d'enseignement scolaire ou une carence pédagogique. Dans ce cas, l'enfant pourra présenter un trouble durable (différent du retard), mais non spécifique (différent du TAM). Il est donc important d'effectuer un diagnostic différentiel afin de mieux comprendre les déficits de l'enfant et de le prendre en soin de manière efficace.

1.2. Modèles cognitif et développemental de l'acquisition des mathématiques

Les difficultés en mathématiques regroupent donc des présentations très hétérogènes avec différentes origines possibles. Afin d'analyser le type de déficit mathématique, différents modèles ont été construits.

Un des modèles fonctionnels de référence actuel est le modèle du triple code (Dehaene, 1992). Celui-ci traduit précisément le fonctionnement normal du raisonnement arithmétique. Dehaene considère trois composantes : le code des quantités (représentations analogiques ou sens du nombre), le code arabe (représentation visuelle arabe) et le code verbal (représentation auditive verbale).

Ces trois codes fonctionnent en parallèle même s'ils ne sont pas acquis simultanément (Von Aster & Shalev, 2007). Tout d'abord, selon le modèle développemental en quatre étapes de Von Aster et Shalev, les représentations analogiques, c'est-à-dire les compétences de subitizing, d'estimation et de comparaison sont innées et donc présentes dès la naissance. Deuxièmement, les représentations numériques verbales sont acquises au niveau préscolaire. La troisième étape des représentations de nombres arabes est acquise pendant la scolarité, tout comme la dernière étape de l'acquisition de la ligne numérique mentale (image spatiale du nombre, tâche d'approximation et pensée arithmétique ; Von Aster & Shalev, 2007).

L'analyse des déficits précis d'un enfant présentant des difficultés mathématiques pourra donc être réalisée au regard du modèle cognitif du triple code de Dehaene (1992) et du modèle développemental de Von Aster et Shalev (2007).

2. L'anxiété des mathématiques

Au-delà du trouble spécifique des mathématiques, la sphère affective de chaque enfant a un impact important sur les difficultés d'apprentissage en mathématiques. De surcroît, l'anxiété est l'émotion la plus souvent associée à ces difficultés (Van Nieuwenhoven et al., 2019).

2.1. Définitions et caractéristiques de l'anxiété des mathématiques

L'anxiété est une émotion caractérisée par un sentiment d'inquiétude, d'insécurité et de troubles physiques diffus vis-à-vis d'un danger indéterminé devant lequel on se sent impuissant (Sillamy, 1980 cité par Van Nieuwenhoven et al., 2019). Selon le DSM 5 (American psychiatric association, 2013), celle-ci est souvent associée à une tension musculaire, à une vigilance dans la préparation au danger prochain, et à des conduites de prudence ou d'évitement.

Même si l'anxiété mathématique peut se manifester par les mêmes symptômes que l'anxiété générale, c'est une anxiété spécifique qui ne se retrouve pas dans d'autres domaines. Elle est donc à dissocier d'une anxiété généralisée présente dans tous les domaines de la vie quotidienne.

L'anxiété des mathématiques est définie comme un sentiment d'appréhension et de tension, qui survient dans les situations impliquant le traitement d'informations numériques (Richardson & Suinn, 1972 cité par Vilette, 2017). Elle se manifeste très précocement dès l'école maternelle et perdure jusqu'à parfois gêner l'exercice d'activités quotidiennes et limiter l'accès à certaines professions (Fayol, 2018).

Cette anxiété touche un grand nombre d'enfants. En effet, une enquête PISA (programme international pour le suivi des acquis des élèves) de 2012 sur l'anxiété mathématique révèle qu'un élève sur trois en moyenne se sentirait anxieux face à la résolution d'un problème de mathématiques (OCDE, 2015).

Cette même étude montre que dans la quasi-totalité des pays participants, l'anxiété mathématique affecte nettement plus les filles que les garçons. En France, le pourcentage de filles déclarant souvent s'inquiéter en pensant qu'elles auront des difficultés en cours de mathématiques est supérieur d'au moins 20 points de pourcentage à celui des garçons se disant dans ce cas (OCDE, 2015).

2.2. Double influence de l'anxiété mathématique et des difficultés d'acquisition des mathématiques

L'anxiété des mathématiques est en relation étroite avec les performances mathématiques. En effet, Hembree (1990) a montré, dans une méta-analyse, l'existence de corrélations négatives et significatives entre l'anxiété mathématique et les performances en mathématiques, à partir du CM2. D'après une autre étude, ces corrélations seraient présentes dès le CE1. De fait, il suffirait d'un an seulement de scolarisation pour voir apparaître la relation entre anxiété des mathématiques et performances mathématiques (Vilette, 2017).

Plusieurs théories peuvent expliquer cette relation. L'anxiété mathématique provoquerait des ruminations mentales, mobilisant alors les ressources en mémoire de travail. Ces ressources étant importantes pour les compétences mathématiques, les performances seraient diminuées (Ashcraft et al., 1998, 2001, 2007 cité par Vilette, 2017). Plusieurs autres études indiquent que la capacité en mémoire de travail serait affectée par l'anxiété, car les personnes anxieuses orienteraient leur attention vers leurs pensées intrusives. Les individus se trouveraient alors en situation de double tâche, réduisant par conséquent les capacités disponibles pour le traitement arithmétique (Fayol, 2018).

Au contraire, d'autres études rapportent que l'anxiété mathématique résulterait en premier lieu d'un déficit des traitements numériques élémentaires. Cela entraînerait de faibles performances arithmétiques, et provoquerait alors une anxiété des mathématiques (Maloney et al., 2011 cité par Vilette, 2017).

Selon Fayol (2018), l'influence entre anxiété mathématique et performances mathématiques serait bidirectionnelle. Dans leur étude, Lindskog et al. (2017) ont évalué la précision du système numérique approximatif (SNA) de 88 étudiants adultes, grâce à une tâche informatisée de comparaison d'ensemble de points ; et leur anxiété mathématique via une échelle d'évaluation. Grâce à cela, les auteurs ont démontré que l'anxiété mathématique est significativement corrélée à la précision du SNA. En effet, ils retrouvent que les personnes hautement anxieuses ont un fonctionnement du SNA moins bon que celles faiblement anxieuses. Selon leur interprétation, le fait d'avoir un faible SNA est un facteur de risque biologique spécifique pour le développement ultérieur de l'anxiété mathématique, qui émerge pendant l'enfance lorsque le système des nombres est appris pour la première fois. Ainsi, l'anxiété mathématique se développe de manière similaire à une phobie spécifique apprise dans un processus de spirale descendante. Les déclencheurs environnementaux négatifs pendant l'apprentissage induisent de l'anxiété, ce qui entrave la performance, entraînant davantage d'anxiété et un comportement d'évitement (Lindskog et al., 2017).

Cette théorie est corroborée par l'étude longitudinale de Ma et Xu en 2004, effectuée du collège au lycée sur 60 élèves sélectionnés au hasard parmi 3116 garçons et filles. Ainsi, il est démontré que l'anxiété mathématique dépend fortement des scores en arithmétique. De plus, les auteurs mettent en évidence qu'une anxiété mathématique antérieure élevée est peu liée à une faible réussite ultérieure en mathématiques.

Une autre recherche incluant 18 enfants canadiens, âgés de sept à treize ans, et présentant une dyscalculie développementale, a été réalisée et montre que les faiblesses en mathématiques entraînent de l'anxiété mathématique, conséquence des multiples échecs et souvenirs induisant une attitude négative par rapport aux activités mathématiques (Rubinsten & Tannock, 2010).

En outre, il est important de prendre en compte pour l'anxiété mathématique les dimensions sociales et l'influence possible des pairs, des parents et des enseignants, ajoutant un jugement extérieur supplémentaire (Fayol, 2018).

Pour résumer, l'anxiété des mathématiques et les performances mathématiques ont une double influence avec un poids respectif entre la part génétique et la part environnementale (Fayol, 2018).

3. La prise en charge orthophonique des patients en cognition mathématique et anxiété mathématique

Nous retrouvons dans la nomenclature générale des actes en orthophonie du 1^{er} juillet 2019, le « bilan de la cognition mathématique (troubles du calcul, troubles du raisonnement logicomathématique...) », AMO 34, ainsi que la « rééducation des troubles de la cognition mathématique (dyscalculie, troubles du raisonnement logicomathématique...) », AMO 10,2.

Deux modes d'interventions sont possibles en orthophonie afin de réduire l'anxiété mathématique. Nous développerons tout d'abord l'intervention consistant à améliorer les performances en mathématiques afin de réduire l'anxiété puis nous nous intéresserons au second type d'intervention qui est d'agir directement sur l'anxiété mathématique afin d'augmenter les compétences mathématiques.

3.1. Amélioration des performances mathématiques et de l'anxiété mathématique grâce aux interventions cognitives

Les performances en mathématiques et l'anxiété mathématique étant corrélées, une augmentation des performances en mathématiques permettrait une diminution des réactions anxieuses. Réaliser une intervention cognitive en orthophonie est donc pertinent pour la prise en soin des enfants avec retard ou trouble d'acquisition des mathématiques.

Iuculano et al. (2015), dans une étude impliquant des enfants âgés de sept à neuf ans, ont démontré qu'une intervention cognitive de 8 semaines était efficace et pouvait normaliser les performances arithmétiques des enfants présentant un TAM par rapport à des enfants tout-venant. Grâce à l'imagerie cérébrale (IRM fonctionnelle et structurelle), une normalisation de l'activité cérébrale des enfants avec TAM a pu être observée, au niveau des zones sous-tendant la résolution des problèmes numériques (zones temporo-occipitales pariétales, préfrontales et ventrales), celle-ci étant différente de celle des enfants tout-venant avant l'intervention.

De plus, l'étude de Supekar et al. (2015) montre qu'une intervention cognitive chez des enfants faiblement ou hautement anxieux, est bénéfique. Chez les enfants hautement anxieux, une normalisation de l'activité cérébrale est également observée, au niveau des zones sous-tendant le traitement des émotions négatives (i.e. l'amygdale) et des processus numériques (i.e. le sillon intrapariétal).

Pour conclure, les interventions cognitives sont utiles chez les enfants avec TAM ou les enfants anxieux et permettent une normalisation de l'activité cérébrale.

3.2. Prises en charge spécifiques de l'anxiété mathématique

Fayol (2018) recense dans sa revue de littérature plusieurs types d'intervention, en plus de l'intervention cognitive développée plus haut, pour réduire l'anxiété mathématique. Tout d'abord, il indique que les interventions censées diminuer l'anxiété en apprenant aux individus à éviter le stimulus anxiogène ont montré une efficacité discutable, la réduction de l'anxiété n'étant pas assez importante.

Un autre moyen de diminuer l'anxiété mathématique serait de réduire la charge attentionnelle et celle en mémoire de travail grâce à la gestion de l'anxiété. Pour cela, les exercices de relaxation et de respiration ont été scientifiquement validés (Fayol, 2018).

De plus, une technique, consistant en la rédaction libre pendant dix minutes, et permettant l'expression de sentiments et émotions avant la réalisation d'une activité arithmétique, donne lieu à des améliorations de temps et de scores lors de la résolution de problèmes (voir pour revue Fayol, 2018).

Enfin une autre approche appelée « reframing », induisant une modification de la manière de voir le monde, a été créée, mais il n'existe pas de données concernant les mathématiques (voir pour revue Fayol, 2018).

Du point de vue de la pratique clinique, une enquête réalisée en 2019 lors d'un mémoire d'orthophonie, via un questionnaire en ligne diffusé sur des groupes Facebook auprès d'orthophonistes, montre que plus de la moitié (60,7 %) des répondants mettent en place des outils lors des séances d'orthophonie afin de réduire l'anxiété des patients face aux mathématiques. Les sondés indiquent utiliser du matériel concret et ludique, de la manipulation et des aide-mémoire afin d'atténuer le stress des patients. Certains orthophonistes proposent également des moyens non matériels comme de la relaxation, une dédramatisation de la situation et des renforcements verbaux afin d'augmenter la confiance en soi du patient. Par ailleurs, la méthode de la métacognition (représentation de nos connaissances que nous avons et la façon dont nous pouvons les construire et les utiliser), est citée afin de réduire l'anxiété mathématique. Enfin, 42,7 % des orthophonistes interrogés ont déjà réorienté leurs patients vers un psychologue, un psychomotricien ou un sophrologue (Marin, 2019).

Par ailleurs, il est important de noter que les supports proposés par les orthophonistes ne sont pas souvent généralisés au milieu scolaire du patient, là où les situations d'anxiété des mathématiques peuvent le plus souvent apparaître (Marin, 2019).

4. La cohérence cardiaque et le biofeedback

Afin de diminuer l'anxiété mathématique, la méthode du biofeedback couplée à des exercices de cohérence cardiaque est un mode d'intervention validé scientifiquement permettant une meilleure régulation des émotions et une diminution du stress (voir pour revue Dormal et al., 2020).

4.1. Définitions

La cohérence cardiaque est une technique de relaxation basée sur la respiration volontaire. Celle-ci met en résonance la respiration et la fréquence cardiaque. Elle vise à augmenter l'amplitude de la variabilité de la fréquence cardiaque (VFC), régulée par le système nerveux autonome, en ralentissant la respiration et en prolongeant l'expiration. Une séance classique se base en général sur six cycles respiratoires (inspiration puis expiration) par minute.

De plus, la méthode du biofeedback est une technique consistant à visualiser une mesure physiologique en temps réel, à la comprendre et à apprendre à la maîtriser. C'est une technique simple d'entraînement non invasive (Dormal et al., 2020).

Enfin, la variabilité de la fréquence cardiaque (VFC) est une mesure des changements naturels de la fréquence cardiaque (nombre de battements de cœur par minute) d'un battement à l'autre. Une grande amplitude de VFC est associée à une meilleure régulation des émotions et l'utilisation de stratégies d'adaptations ou de résilience adaptées (Fabes & Eisenberg, 1997 cité par Dormal et al., 2020). A l'inverse, une diminution de l'amplitude de VFC montre une vulnérabilité au stress (Dormal et al., 2020).

4.2. Apport de la cohérence cardio-respiratoire et du biofeedback pour la gestion de l'anxiété

L'anxiété des mathématiques pourrait être réduite en utilisant des techniques de relaxation via des exercices de cohérence cardiaque, afin de limiter la charge attentionnelle et en mémoire de travail. Cela permettrait de gérer l'anxiété et donc d'augmenter les ressources disponibles pour le traitement arithmétique (Fayol, 2018).

Les travaux de Brunyé et al. (2013) ont montré que les adultes fortement anxieux ont amélioré significativement leurs performances en mathématiques en se focalisant sur la respiration. L'équipe de chercheurs a effectué une intervention auprès de 36 jeunes adultes tout-venant en leur demandant de réaliser des exercices de respiration. Avant les séances de respiration, les individus hautement anxieux étaient légèrement moins performants en mathématiques que les faiblement anxieux sur les opérations les plus simples. En revanche, ils étaient significativement moins performants et plus lents sur les opérations impliquant la mémoire de travail (-14 %) par rapport aux personnes faiblement anxieuses. Juste après les séances de respiration, les individus fortement anxieux ont augmenté leur performance de 9 % sans pour autant rattraper les performances des personnes peu anxieuses (-8 %). Cette étude suggère donc que les exercices de respiration permettent aux étudiants de réduire leur sentiment d'anxiété. Ils peuvent ainsi focaliser leur attention sur autre chose que leurs pensées intrusives (Brunyé et al., 2013).

En 2020, une revue systématique sur dix-huit études utilisant le biofeedback de la VFC, de Dormal et al., a démontré la contribution positive de cette technique sur les enfants et adolescents, qu'ils soient en bonne santé ou avec des pathologies physiques ou psychiques. Les séances de biofeedback de la VFC ont permis d'augmenter les capacités d'autorégulation des participants. De plus, les enfants ont pu synchroniser leur rythme respiratoire dès l'âge de 5 ans et les avantages de cette méthode ont semblé être généralisés et durables, avec certains changements encore observés six mois après l'intervention (Dormal et al., 2020).

4.3. Le projet FOCUS

Le projet de ce mémoire s'ancre dans un projet plus global de recherche et de création d'un outil de biofeedback et de cohérence cardiaque pour les enfants à partir de six ans, nommé FOCUS, développé en partenariat avec l'Université de Lille et l'Université catholique de Louvain. Les acteurs de ce projet ont créé un boîtier avec un capteur de fréquence cardiaque ainsi qu'un biofeedback interactif couplé à des exercices de respiration. Cet outil s'adresse à tous les enfants présentant des signes de stress et d'anxiété, mais également aux enfants émotionnellement plus sensibles et fragiles, ainsi que ceux présentant des difficultés d'apprentissage et/ou de concentration.

L'objectif de FOCUS est de répondre précisément et adéquatement aux besoins des enfants en situation de stress et aux attentes des professionnels de santé, en proposant une alternative complémentaire aux pratiques actuelles, à savoir un outil de désensibilisation et de gestion du stress.

5. Problématique et hypothèses

Comme nous l'avons évoqué plus tôt, l'anxiété mathématique et les performances en mathématiques sont fortement dépendantes l'une de l'autre. De plus, la revue systématique de Dormal et al. en 2020 a démontré l'efficacité du biofeedback de la VFC et de la cohérence cardiaque chez les enfants et adolescents, pour lutter contre l'anxiété et le stress.

Afin d'augmenter les compétences arithmétiques, deux solutions s'offrent donc au thérapeute : agir directement sur les compétences mathématiques avec une rééducation en cognition mathématique, selon les modèles théoriques connus, ou bien traiter directement l'anxiété mathématique. Nous nous intéressons dans ce mémoire à cette deuxième possibilité de traitement. La problématique qui se pose alors est : est-il possible d'améliorer les compétences arithmétiques des enfants en difficulté, en diminuant leur anxiété face à cette discipline ?

Nous émettons deux hypothèses : la première est que l'anxiété mathématique diminuera grâce à l'utilisation de l'outil FOCUS (biofeedback de la VFC et cohérence cardiaque). De plus, une fois l'anxiété mathématique diminuée grâce à FOCUS, les performances arithmétiques des enfants seront meilleures, compte tenu de la corrélation entre l'anxiété et les performances mathématiques.

Méthode

Afin de répondre à notre problématique, nous avons choisi de réaliser une étude de cas unique. Ce projet a été approuvé par un comité d'éthique d'établissement (projet « FOCUS » : protocole comité d'éthique n° 2019-45) et a fait l'objet d'une déclaration à la CNIL (délibération de la CNIL n°2018-154).

1. Choix de l'étude d'un cas unique

Comme nous l'avons vu dans la partie théorique, les enfants rencontrant des difficultés en mathématiques peuvent présenter des diagnostics très hétérogènes (troubles ou retard d'acquisition, atteinte d'un ou plusieurs codes, comorbidités, atteinte de processus cognitifs plus généraux comme la mémoire de travail...) ; leurs compétences mathématiques diffèrent donc de manière considérable. Ainsi, l'importante variabilité de profils dans ce type de population rend pertinent le recours à l'étude de cas unique. En effet, l'analyse d'une étude de cas unique offre une compréhension plus fine des mécanismes individuels du participant que s'il avait été inclus dans une étude quantitative à grande échelle. Dans une étude de cas unique, le participant à l'intervention est considéré comme son propre contrôle, ce qui permet d'analyser précisément ses différentes particularités.

Les études de cas unique peuvent être considérées comme des études à haut niveau de preuve, tout comme les essais contrôlés randomisés, si elles sont élaborées selon une méthodologie stricte (Durieux et al., 2013 cité par Maillart et al., 2017). Pour cela, le design d'étude se décompose généralement en trois étapes : une ligne de base préthérapeutique, une intervention et un suivi post-thérapeutique (Maillart et al., 2017). Nous avons donc suivi cette méthodologie lors de la réalisation de notre protocole.

2. Sélection du participant

Afin de recruter le participant, des critères d'inclusion et d'exclusion ont été mis en place. Le participant devait être un enfant garçon ou fille, âgé entre 7 ans (CE1) et 11 ans (CM2), présentant un trouble ou un retard dans les apprentissages mathématiques. Les difficultés en mathématiques devaient être objectivées par la réalisation d'un bilan orthophonique en cognition mathématique, s'étant suivi d'une rééducation ou non. L'enfant devait présenter certains signes d'anxiété face aux mathématiques. Étaient exclus les enfants présentant des pathologies médicales importantes pouvant expliquer leurs difficultés d'apprentissage (par exemple des troubles acquis tels qu'un AVC ou un traumatisme crânien, une surdité, une déficience intellectuelle...) ainsi que les enfants avec carences environnementales importantes.

Les familles ont été contactées par le biais de leur orthophoniste. Une famille a répondu favorablement et a donné son consentement écrit, nécessaire à la réalisation de l'intervention. Lors de la rédaction de ce mémoire, le prénom de la participante a été changé afin de conserver son anonymat.

3. Présentation du participant

Emma est âgée de 8 ans et 8 mois au commencement du protocole. Elle est scolarisée en CE2. Elle présente des difficultés d'apprentissages des mathématiques, objectivées par un compte-rendu orthophonique en cognition mathématique réalisé en mars 2021. Celui-ci met en évidence des difficultés au niveau de la numération et du sens des opérations (code arabe – Dehaene), ainsi qu'au niveau du système numérique approximatif (code analogique – Dehaene). Un retard d'acquisition des mathématiques est relevé, mais il n'est pas significatif d'un trouble d'apprentissage des mathématiques (TAM) car inférieur à 24 mois (Fayol, 2011).

Une prise en soin a été effectuée à raison d'une fois par semaine ; celle-ci s'axait principalement sur le système décimal, le système en base dix, et le sens des opérations. Les structures logiques telles que la conservation et la classification ont également été travaillées. La prise en soin s'est arrêtée, car des progrès ont été observés, l'orthophoniste considérant que les difficultés relevaient maintenant plus du soutien scolaire que du soin. Lors de la mise en place du protocole, une fenêtre thérapeutique était donc mise en place.

Emma est décrite par l'orthophoniste et ses parents comme une enfant rapidement anxieuse dans la vie quotidienne et dans les tâches mathématiques. Elle peut par exemple avoir les mains moites rapidement et les évaluations en classe l'angoissent. Selon l'orthophoniste, les difficultés en mathématiques d'Emma résultent plutôt d'un manque de confiance en soi et d'une anxiété mathématique que d'un trouble spécifique des mathématiques (TAM). Son anxiété ne lui permet pas d'explorer tout le champ des possibles lors des tâches mathématiques et cela la bloque dans les apprentissages.

4. Matériel utilisé

Afin de réaliser l'intervention avec Emma, nous avons utilisé l'outil FOCUS, un outil de cohérence cardiaque couplée au biofeedback. Outre cet appareil, une série d'épreuves a été mise en place pour permettre l'évaluation de notre intervention.

4.1. L'outil FOCUS

L'outil FOCUS a été fourni à la famille pendant quatre semaines pour réaliser les séances de cohérence cardiaque couplée au biofeedback de la VFC. Celui-ci se présente sous la forme d'un petit boîtier que l'enfant peut tenir dans ses mains. Il contient un capteur de fréquence cardiaque, sur lequel l'enfant pose son doigt. L'enfant doit suivre les vibrations et les indices visuels de l'appareil afin de respirer et se détendre ; il inspirera par le nez lorsqu'il verra la lumière et sentira la vibration, il expirera par la bouche lorsque la lumière et la vibration diminueront. Le biofeedback est donné via une jauge visuelle au centre de l'appareil, augmentant progressivement pendant la séance.

Image 1 : illustration de l'outil FOCUS



4.2. Constitution d'une ligne de base

Afin de mesurer les différentes variables de notre intervention, une ligne de base contenant plusieurs épreuves a été constituée. Tous les étudiants travaillant sur l'anxiété mathématique et l'outil FOCUS ont approximativement utilisé la même ligne de base, ce qui permet une certaine homogénéisation des résultats rapportés.

Cette ligne de base comportait deux épreuves en mathématiques : le Tempo Test Rekenen (TTR ; De Vos, 1992), une épreuve de fluence arithmétique, et le test de repérage de difficultés en mathématiques (TRDM ou Mathematical School Readiness ; Mejias et al., 2019), constitué d'épreuves de dictée et comparaison de nombres arabes et d'additions à compléter.

Afin d'évaluer l'anxiété, trois échelles d'auto-évaluation ont été ajoutées à cette ligne de base. Tout d'abord, le STAI-C (Spielberger et al., 1973) évalue l'anxiété trait, c'est-à-dire l'anxiété durable dans le temps. Le questionnaire PANAS (Thompson, 2007) a également été administré ; il évalue les émotions et humeurs positives et négatives. Enfin, le Self-Assessment Manikin (Bynion et al., 2017) est une échelle non verbale allant de 0 à 100, mesurant trois états émotionnels : la joie (« valence »), l'excitation (« arousal ») et le stress (« stress »). À cela, s'ajoute une échelle d'auto-évaluation de l'anxiété mathématique pour les enfants de 8 à 13 ans : m-AMAS (Carey et al., 2017).

Ont également été ajoutées les épreuves de barrage, de codes, et d'empan endroit et envers de la WISC-V, une échelle d'intelligence pour les enfants âgés de 6 à 16 ans (Wechsler, 2014). Les épreuves de codes et de barrage évaluent les compétences en vitesse de traitement tandis que l'épreuve d'empan endroit et envers teste les capacités en mémoire à court terme et mémoire de travail. Celles-ci ont été choisies, car elles évaluent les compétences nécessaires lors de la réalisation d'exercices mathématiques.

Nous avons également inséré dans notre ligne de base des mesures physiologiques, dont le taux d'oxygénation dans le sang et la fréquence cardiaque grâce à un cardiofréquencemètre.

En outre, cette ligne de base contenait deux questionnaires parentaux, le SNAP-IV (Swanson, 2013) et l'échelle Connors abrégée (Connors, 1997), permettant chacun de mesurer certains signes comportementaux comme l'hyperactivité, l'inattention ou l'anxiété de l'enfant.

5. Design de l'étude et déroulement

La passation du protocole s'est déroulée sur deux mois et vingt jours, de décembre 2021 à février 2022, avec trois séances d'évaluation au total d'environ une heure chacune, ainsi qu'une période d'intervention de quatre semaines avec des séances quotidiennes de cohérence cardiaque couplée au biofeedback.

5.1. Déroulement des séances de cohérence cardiaque couplée au biofeedback avec FOCUS

Les séances de cohérence cardiaque couplée au biofeedback de la VFC ont été réalisées avec l'outil FOCUS au domicile de l'enfant, sous surveillance des parents. L'intervention a duré 4 semaines du 3 au 30 janvier 2022. L'enfant devait réaliser entre une et trois séances FOCUS par jour à n'importe quel moment de la journée, suivant ses envies. Ces séances devaient durer trois minutes. Un tableau de suivi a été créé afin de suivre la progression de l'enfant, et d'avoir une trace écrite du nombre de séances effectuées (cf. Annexe 1).

Au total, Emma a réalisé 42 séances avec FOCUS dont 12 la première et la deuxième semaine, 11 la troisième semaine et 7 la dernière semaine. Sur les quatre semaines d'intervention, soit 28 jours, deux jours ont été omis par la famille.

Les séances ont été réalisées dans des moments variés tout au long de la journée, la majorité ayant été réalisée avant le coucher (23 séances) ou après les devoirs (6 séances).

5.2. Évaluation de l'intervention

Le participant étant son propre contrôle, il a été évalué à trois reprises grâce à la ligne de base (LDB) créée, selon un modèle croisé. Il a été testé une première fois, puis une période de latence a été effectuée, avant une deuxième évaluation. Ceci correspond à la ligne de base préthérapeutique dans la méthodologie de Maillart et al., 2017. Enfin, nous avons effectué l'intervention avec FOCUS, pour terminer avec une dernière passation de la ligne de base, c'est-à-dire le suivi post-thérapeutique selon Maillart et al., 2017.

En outre, la réalisation d'un entretien libre avec la famille à la fin du protocole d'intervention a permis de recueillir des données qualitatives sur cette expérience.

Le tableau 1 synthétise les différentes étapes de l'intervention.

Tableau 1 : Résumé du protocole d'intervention.

Prétest 1 : 20.11.21	LDB avec TRDM
Période de latence	Pas d'intervention pendant 5 semaines et 5 jours
Prétest 2 : 30.12.21	LDB sans TRDM
Période d'intervention avec FOCUS	Bilan mi-intervention fait par les parents : Self-Assessment Manikin, Connors et mesures physiologiques
Post-test : 06.02.22	LDB avec TRDM

La période de latence a servi de contrôle par rapport à la période d'intervention. Le choix d'effectuer une période de latence entre le prétest 1 et 2 visait à éliminer certains biais notamment les biais de maturation et l'effet test-retest.

Nous pourrions considérer notre intervention efficace si nous retrouvons une faible évolution entre le prétest 1 et 2, due à des effets généraux de maturation ou d'effet test-retest ; ainsi qu'une évolution importante entre le prétest 2 et le post-test, due à l'intervention en elle-même.

A l'issue de ce protocole d'intervention, les résultats d'Emma aux échelles m-AMAS (Carey et al., 2017) et STAI-C (Spielberger et al., 1973) ont fait l'objet d'une analyse statistique, grâce au logiciel IBM SPSS Statistics for Macintosh, version 25.0. Cela a permis d'observer si les résultats étaient significatifs ou non.

Résultats

Dans cette partie, les résultats d'Emma aux trois périodes d'évaluation vont être détaillés. La présentation des résultats obtenus par Emma sera faite par domaines évalués. Nous effectuerons d'abord l'analyse des mesures physiologiques puis nous présenterons les résultats des échelles comportementales. Nous exposerons ensuite les résultats des épreuves

en mathématiques. Enfin, nous développerons les conclusions de l’entretien final avec la famille.

1. Évaluation des mesures physiologiques

Tableau 2 : Mesures physiologiques.

Temps		Fréquence	% saturation
Prétest 1	Avant séance	95	98
	Après test maths	91	98
	Fin de séance	106	99
Prétest 2	Avant séance	99	98
	Après test maths	92	98
	Fin de séance	102	98
Bilan mi parcours	Matin	65	99
	Après midi avant Focus	80	97
	Après midi après Focus	79	98
Post -test	Avant séance	76	96
	Après test maths	93	99
	Fin de séance	80	99

Le tableau 2 présente l’évolution des mesures physiologiques tout au long du protocole. Nous observons une évolution de la fréquence cardiaque à partir du début de l’intervention. En effet, la fréquence cardiaque est en moyenne de 97,3 battements par minute (bpm) pour le prétest 1, et de 97,6 bpm lors du prétest 2. Dès le début de l’intervention avec FOCUS, celle-ci diminue, avec une moyenne de 74,6 bpm lors du bilan de mi-parcours, puis, avec une moyenne de 83 bpm lors du post-test. Ces résultats sont en accord avec les données scientifiques. En effet, la revue de littérature de Zaccaro et al., en 2018, met en évidence que la fréquence cardiaque diminue lors de la réalisation d’exercices de cohérence cardiaque. Par conséquent, ces résultats suggèrent une meilleure régulation de la fréquence cardiaque pour Emma, et donc la potentielle efficacité de l’utilisation de FOCUS. Cela se vérifie tout au long du protocole et particulièrement lors du bilan de mi-parcours lorsqu’Emma réalise la séance FOCUS. En effet, sa fréquence cardiaque passe de 80 bpm à 79 bpm après la séance de respiration.

Quant à la saturation en oxygène, elle reste stable, variant de 96 à 99 % dans le sang avec une moyenne de 98,3 % pour le prétest 1, et de 98 % pour les autres temps du protocole. D’autre part, il est intéressant de se concentrer sur les mesures recueillies lors du bilan de mi-parcours, avant et après les séances avec FOCUS, car nous savons que le taux d’oxygénation augmente une fois les exercices de cohérence cardiaque effectués (Zaccaro et al., en 2018). Emma obtient un taux d’oxygénation à 98 % après la séance FOCUS, c’est-à-dire 1 % de plus qu’avant les exercices de cohérence cardiaque. Par conséquent, cela suggère qu’elle a correctement effectué les séances avec FOCUS.

2. Évaluation du comportement

Par le biais de différentes échelles d’auto-évaluation ou de questionnaires parentaux, nous avons pu évaluer l’évolution du comportement d’Emma, avant et après l’intervention.

Les composantes émotionnelles comme l’anxiété, l’hyperactivité ou l’inattention ont pu être analysées.

2.1. Échelles d’auto-évaluation

2.1.1. Échelle des états émotionnels : Self-assessment Manikin (Bynion et al., 2017)

Tableau 3 : résultats de l’échelle visuelle Self-assessment Manikin (Bynion et al., 2017).

Temps	Valence	Arousal	Stress
Prétest 1	94	35	4
Prétest 2	98	51	3
Bilan mi parcours	100	100	0
Post -test	98	52	0

L’échelle visuelle Self-assessment Manikin mesure les différents états émotionnels de l’enfant, la joie (i.e. valence), l’excitation (i.e. arousal) et le stress. Comme l’illustre le tableau 3, les scores indiquent un seuil de joie (valence) déjà très haut dès le prétest 1. Il augmente et se stabilise entre le prétest 2 et le post-test. Concernant l’excitation elle augmente entre le prétest 1 et 2, mais se stabilise entre le prétest 2 et le post-test. Les scores au niveau du stress sont dès le début faibles, mais on remarque une baisse de 3 points entre le prétest 2 et le post-test, ce qui pourrait indiquer une relative diminution de l’anxiété, Emma se sentant moins stressée. Il est important de noter que les résultats de mi-parcours ne sont pas exploitables, car Emma s’est précipitée pour remplir l’échelle et nous n’avons pas pu contrôler qu’elle comprenne correctement la consigne.

2.1.2. Échelle d’anxiété générale : STAI-C (Spielberger et al., 1973)

La STAI-C permet de mesurer le niveau d’anxiété générale de l’enfant. Nous observons une diminution régulière du niveau d’anxiété entre les différents temps du protocole avec un score d’anxiété trait de 33 pour le prétest 1, de 32 pour le prétest 2 et de 30 pour le post-test. L’analyse statistique a mis en évidence que les scores d’Emma à la STAI-C n’évoluent pas de manière significative ($p > 0.05$) entre le prétest 2 ($M = 1.60$; $ET = .68$) et le post-test ($M = 1.50$; $ET = .61$; $t(19) = .81$, $p = .428$).

2.1.3. Échelle PANAS évaluant les affects positifs et négatifs (Thompson, 2007)

Tableau 4 : résultats de l’échelle PANAS évaluant les affects positifs et négatifs (Thompson, 2007).

	Affects positifs	Affects négatifs
Prétest 1	16	6
Prétest 2	18	5
Bilan mi parcours	18	5
Post -test	13	5

L’utilisation de la PANAS permet de déterminer l’humeur et les sensations positives et négatives, comme par exemple la détermination (affect positif) ou l’angoisse (affect négatif).

Cette échelle évalue 10 émotions différentes. Le tableau 4 illustre l'évolution des sensations d'Emma lors des différents temps du protocole. Les scores des affects positifs sont calculés en additionnant tous les scores des émotions positives de l'échelle (i.e. alerte, inspiré, déterminé, attentif, actif). De la même façon, les scores des affects négatifs correspondent à la somme de chaque score d'émotions négatives (i.e. angoissé, hostile, honteux, nerveux, craintif).

Les effets négatifs évoluent peu, contrairement aux affects positifs qui diminuent fortement lors du post-test. Cela semble contraire à nos hypothèses, car nous recherchons logiquement une augmentation des affects positifs et une diminution des affects négatifs afin de montrer l'utilité de FOCUS. Cependant, comme l'indique le tableau 5 ci-dessous, le score des affects positifs diminue lors du post-test en raison de la baisse importante des scores des sensations « actif » et « alerte ». Ces composantes émotionnelles s'atténuent logiquement chez un enfant stressé ou hyperactif qui réaliserait des séances de cohérence cardiaque. Il est par conséquent cohérent de retrouver une diminution de l'activité, car l'enfant est plus détendu et calme.

En outre, Emma obtient le score le plus bas qu'il est possible d'obtenir pour les affects négatifs lors du prétest 2, du bilan de mi-parcours et du post-test. Cela suggère que l'enfant ne ressent pas ou très peu d'émotions négatives.

Tableau 5 : résultats détaillés de l'échelle PANAS (Thompson, 2007).

	angoissé.e	hostile	alerte	honteux.se	inspiré.e	nerveux.se	déterminé.e	attentif.ve	actif.ve	craintif.ve
Prétest 1	2	1	3	1	1	1	2	5	5	1
Prétest 2	1	1	3	1	2	1	5	4	4	1
Bilan mi parcours	1	1	5	1	2	1	2	4	5	1
Post-test	1	1	2	1	1	1	4	5	1	1

Note. 1 : très peu ou pas du tout. 2 : un peu. 3 : moyennement. 4 : beaucoup. 5 : énormément.

2.1.4. Échelle d'anxiété mathématique : m-AMAS 8-13 ans (Carey et al., 2017)

Tableau 6 : résultats de l'échelle d'anxiété mathématique m-AMAS 8-13 ans (Carey et al., 2017).

	Score total
Prétest 1	26
Prétest 2	23
Post-test	13

Le tableau 6 illustre les scores à l'échelle m-AMAS 8-13 ans lors des différents temps du protocole. Nous observons une diminution de 3 points sur l'échelle d'anxiété mathématique entre le prétest 1 et 2, alors que la baisse est plus marquée lors du post-test avec une diminution de 10 points par rapport aux résultats du prétest 2. Le test statistique réalisé a permis de montrer que le niveau d'anxiété mathématique d'Emma diminue significativement ($p < 0.05$) entre le prétest 2 ($M = 2.56$; $ET = 1.01$) et le post-test ($M = 1.44$; $ET = .52$), mesuré par le biais de l'AMAS ($t(8) = 4.26$, $p = .003$). Cela suggère donc que les séances de cohérence cardiaque avec FOCUS ont été efficaces pour réduire l'anxiété mathématique d'Emma.

2.2. Questionnaires parentaux

2.2.1. Questionnaire abrégé de Conners (Conners, 1997)

Le questionnaire abrégé de Conners a été rempli par les deux parents. Il permet de mettre en évidence les signes d'hyperactivité et d'inattention chez l'enfant. Grâce à une échelle de Likert, allant de 0 à 4, les scores totaux ont été calculés sur les différents temps du protocole. Nous retrouvons un total de 10 points lors du prétest 1, puis de 9 points lors du prétest 2, et un total de 8 points pour le post-test. La diminution est régulière et la différence de scores est la même entre les deux prétests puis entre le prétest 2 et le post-test. Par conséquent, nous ne pouvons pas conclure à une diminution des indices d'hyperactivité et d'inattention grâce à l'utilisation de l'outil FOCUS.

Cependant, d'un point de vue qualitatif, nous pouvons noter que le score total n'est jamais considéré comme pathologique pour Emma (i.e. score supérieur à 15), même si selon ses parents, Emma est parfois nerveuse ou impulsive, elle ne finit pas souvent ce qu'elle commence, et peut être parfois distraite.

2.2.2. Questionnaire SNAP-IV (Swanson, 2013)

Tableau 7 : résultats au questionnaire SNAP-IV (Swanson, 2013).

	Moyenne score Inattention	Moyenne score Impulsivité	Moyenne score Anxiété généralisée
Prétest 1	2,2	1,3	2,1
Prétest 2	2,6	1,3	2,3
Post -test	2,5	1,7	2,1

Le questionnaire SNAP-IV a également été complété par les parents d'Emma. Celui-ci permet d'évaluer certains aspects comportementaux de l'enfant tels que l'inattention, l'impulsivité et l'anxiété généralisée. Chaque moyenne de ces composantes a été calculée afin d'obtenir un score global. Le tableau 7 ci-dessus synthétise les résultats.

Ces résultats sont relativement stables durant tous les temps du protocole malgré de légères variations. Le score d'inattention augmente d'abord de 0,4 au prétest 2 puis diminue de 0,1 lors du post-test. Par conséquent, le score au post-test est plus important que lors de la première évaluation du prétest 1, nous ne pouvons donc pas en déduire une diminution des signes d'inattention. Concernant le score d'impulsivité, celui-ci reste stable entre les deux prétests puis augmente de 0,4 au post-test. Ce score indique donc une augmentation des signes d'impulsivité chez cet enfant après l'intervention. Au niveau de l'anxiété généralisée, le score s'accroît de 0,2 lors du prétest 2 puis diminue de 0,2 lors du post-test. Les scores du prétest 1 et du post-test sont donc équivalents, ce qui ne nous permet pas de conclure à une diminution de l'anxiété généralisée grâce à la cohérence cardiaque.

3. Evaluation des performances mathématiques

L'évaluation des performances mathématiques avec le TRDM et le TTR, avant et après l'intervention, nous a permis d'analyser de manière quantitative et qualitative les compétences d'Emma.

Tableau 8 : Résultats au TRDM (test de repérage des difficultés en mathématiques ; Mejias et al., 2019).

	Dictée nombres Arabes (/10)	Comparaison nombres Arabes (/12)	Maison des 100 (/10)	Maison des 1000 (/10)	Maison des 1000 (2) (/10)
Prétest 1	9	11	0	0	0
Post -test	9	11	1	0	0

Le tableau 8 synthétise les différents scores aux différentes épreuves du TRDM. D'une manière générale, nous n'observons pas de différences de scores entre le prétest 1 et le post-test, excepté au niveau de l'épreuve « maison des 100 », correspondant à des additions à compléter, toujours égales à 100, où l'on constate une augmentation d'un point.

Du point de vue qualitatif, nous observons lors des deux évaluations, la même erreur de transcodage dans la dictée de nombres arabes avec un oubli d'un zéro intercalaire (6 735 pour 60 735) pouvant suggérer des difficultés au niveau du système positionnel et du système en base 10. Ces difficultés apparaissent également dans l'épreuve de comparaison de nombres arabes. Lors du prétest 1, Emma indique que 20 045 est plus grand que 20 405, et lors du post-test elle indique que 13 316 est supérieur à 300 313. On peut supposer que l'enfant ne comprend pas correctement le rôle du zéro dans les grands nombres ou prend seulement en compte les derniers chiffres. De plus, lors des deux tests, dans les épreuves d'additions, Emma ne prend pas en compte la retenue, ni le nombre à additionner dans sa totalité : par exemple, elle ajoutera 80 à 24 pour arriver à 100, ou 100 à 975 pour arriver à 1 000. Il est également important de noter qu'un très grand nombre d'items reste sans réponse de sa part pour les épreuves d'additions.

Spontanément, lors du prétest, Emma va parfois dire « je ne sais pas » notamment lors de la dictée de nombres, mais en l'encourageant, par exemple avec des phrases du type « fais de ton mieux » ou « tu connais sûrement la réponse », elle est capable de produire des réponses correctes. Cette inhibition peut être un signe d'anxiété mathématique. De plus, lors du prétest en dictée, il est souvent nécessaire de répéter les nombres à Emma. Cela pourrait traduire un déficit en mémoire à court terme, conséquence de pensées intrusives et d'anxiété, mobilisant excessivement cette mémoire. En revanche, lors du post-test, elle n'a jamais besoin que les nombres lui soient répétés. D'autre part, nous observons qu'elle propose plus aisément des réponses, même si celles-ci sont incorrectes, et nous avons moins besoin de la rassurer sur ses propositions.

Tableau 9 : Résultats au TTR (De Vos, 1992).

	Score total	Nombre de mauvaises Réponses
Prétest 1	10	1
Prétest 2	11	1
Post -test	13	2

Le tableau 9 ci-dessus illustre les résultats au TTR, une épreuve de fluence arithmétique constituée d'additions, de soustractions, de multiplications et de divisions, des

plus simples au plus complexes. Nous constatons une amélioration de 1 point entre les prétests 1 et 2 puis une augmentation de 2 points lors du post-test. Cette augmentation est supérieure d'un point par rapport à celle entre les deux prétests. De plus, nous observons la production d'une mauvaise réponse supplémentaire lors du post-test.

4. Evaluation des capacités mnésiques et attentionnelles

L'évaluation des compétences mnésiques et attentionnelles a été effectuée, car celles-ci sont nécessaires à la réalisation de tâches arithmétiques.

4.1. Mémoire à court terme et mémoire de travail

Tableau 10 : Résultats à l'épreuve de mémoire à court terme et de travail (WISC-V).

	Ordre endroit (note brute totale)	Ordre envers (note brute totale)
Prétest 1	4	7
Prétest 2	6	7
Post -test	6	6

Comme l'indique le tableau 10, l'épreuve de répétition de chiffres à l'endroit, permettant d'évaluer la mémoire à court terme, ne met pas en évidence de progression lors du post-test. En revanche, nous observons une progression des scores entre le prétest 1 et 2.

De plus, l'épreuve de répétition de chiffres à l'envers, évaluant la mémoire de travail, ne permet pas non plus de conclure à une amélioration. En effet, le score lors du post-test est de 6, un point de moins que lors de l'évaluation du prétest 1 et 2. Lors de cette épreuve, Emma mémorise les chiffres en subvocalisant, c'est-à-dire qu'elle se répète continuellement les chiffres à voix haute. Nous relevons également des signes d'anxiété lors de la passation de cette épreuve : Emma demande très souvent des confirmations de ce qu'elle annonce et a besoin d'être rassurée par l'adulte.

4.2. Epreuves évaluant la vitesse de traitement et l'attention

Tableau 11 : Résultats à l'épreuve de barrages (WISC-V).

	Score total
Prétest 1	23
Prétest 2	26
Post -test	25

Le tableau 11 synthétise les scores obtenus lors de l'épreuve de barrage permettant d'évaluer la vitesse de traitement, l'attention visuelle et la concentration. Lors de cette épreuve, Emma devait barrer le plus d'animaux possible en 45 secondes. Nous constatons une augmentation des scores de 3 points entre le prétest 1 et 2 ainsi qu'une diminution d'un point, après l'intervention avec FOCUS, lors du post-test. Par conséquent, ceci ne met pas en évidence de progrès des capacités attentionnelles. D'un point de vue qualitatif, nous pouvons noter qu'Emma utilise une stratégie de barrage efficace, elle analyse visuellement les éléments dans le sens de la lecture, c'est-à-dire, horizontalement, de gauche à droite.

Tableau 12 : Résultats à l'épreuve de codes (WISC-V).

	Nombre Réponses correctes	Nombre Réponses incorrectes
Prétest 1	36	1
Prétest 2	35	0
Post -test	42	0

Les résultats de l'épreuve de codes sont résumés dans le tableau 12 ci-dessus. L'épreuve consiste à reporter en 2 minutes le maximum de symboles associés à des chiffres. Celle-ci permet de mesurer les capacités d'attention et la vitesse de traitement. Comme le montre le tableau 12, le nombre de réponses correctes diminue d'un point entre les prétests 1 et 2 alors qu'il augmente fortement lors de l'évaluation en post-test, avec 7 réponses correctes supplémentaires. Cela suggère donc une amélioration des capacités attentionnelles suite à l'intervention avec FOCUS.

5. Entretien final avec les parents

Lors de l'entretien libre en fin d'intervention, Emma et ses parents ont pu exprimer leurs ressentis sur cette expérience. De manière générale, la famille a trouvé l'utilisation de FOCUS bénéfique, mais elle a regretté le protocole « contraignant ». Au début de l'expérimentation, Emma prenait plaisir à faire les exercices de respiration, les parents notent qu'Emma était plus calme et qu'elle s'endormait mieux. L'enfant a également eu la même impression concernant le sommeil. La famille indique donc un réel effet relaxant des séances FOCUS. Cependant, faire les séances tous les jours pendant quatre semaines est devenu assez contraignant pour Emma. Les parents étaient obligés de lui rappeler régulièrement d'effectuer les séances. Cela entraînait de légers conflits, car Emma n'avait parfois pas envie de faire l'exercice. De plus, les trois minutes de séances ont paru longues à la famille et l'enfant aurait préféré faire l'exercice de respiration moins longtemps.

En outre, Emma n'avait jamais fait de respiration en conscience comme elle a pu le faire avec FOCUS lors des séances. Le fonctionnement de la respiration a donc été une découverte pour elle, tant au niveau des termes techniques (inspirer, expirer) qu'au niveau du fonctionnement de son corps (« différence entre gonfler le ventre ou les poumons », respirer doucement, inspirer par le nez et expirer par la bouche). Tout ceci étant nouveau pour elle, il a parfois été difficile de garder le rythme de respiration imposé par l'outil FOCUS. Elle indique qu'il était plus facile d'effectuer les respirations le matin.

Enfin, la famille souhaite continuer les exercices de respiration et de détente notamment au moment du coucher, même s'ils ne disposent plus de FOCUS.

Discussion

L'objectif principal de ce mémoire était de montrer les effets bénéfiques des séances de cohérence cardiaque couplées au biofeedback, via l'outil FOCUS et à travers l'étude d'un cas unique. Nous avons tenté d'analyser précisément l'impact de l'utilisation d'un tel l'outil sur le comportement et l'anxiété mathématique, sur les performances en mathématiques ainsi

que sur des processus cognitifs plus généraux tels que la mémoire à court terme et de travail et l'attention, pour un enfant présentant des difficultés mathématiques.

L'enfant ayant participé au protocole a réalisé 42 séances de cohérence cardiaque sur une durée de 4 semaines. Afin d'évaluer les progrès ou non de cet enfant, nous avons élaboré une ligne de base servant de référence lors des trois temps d'évaluation : le prétest 1, le prétest 2 et le post-test. La période de latence entre les deux prétests nous a servi de période contrôle, l'enfant étant son propre contrôle dans une étude de cas unique.

1. Interprétation des résultats

Les différents résultats vont être interprétés par domaines. Nous analyserons d'abord les résultats concernant l'anxiété puis l'anxiété mathématique, pour ensuite nous intéresser à l'évolution des performances mathématiques. Enfin, nous interpréterons les résultats concernant les processus cognitifs généraux de mémoire et d'attention.

1.1. Evolution de l'anxiété

Un des objectifs de ce mémoire était d'observer l'évolution de l'anxiété, une fois les séances réalisées avec FOCUS. Pour cela, nous avons donc administré à Emma une échelle d'auto-évaluation de l'anxiété : la STAI-C (Spielberger et al., 1973). Les résultats ne montrent pas de diminution significative de l'anxiété trait, même si les scores diminuent de 2 points en post-test. Le questionnaire d'hétéro-évaluation SNAP-IV (Swanson, 2013) permettait aussi d'estimer le niveau d'anxiété d'Emma, à travers la perception des parents. Nous retrouvons des scores équivalents au prétest 1 et au post-test, ce qui ne nous permet pas de conclure à une diminution de l'anxiété. Le niveau de stress mesuré par l'échelle visuelle du Self-Assessment Manikin (Bynion et al., 2017) diminue de 3 points entre le prétest 2 et le post-test. Emma est donc moins stressée, ce qui peut montrer une diminution de l'anxiété. L'échelle PANAS (Thompson, 2007) évaluant les affects positifs et négatifs montre une réduction importante des scores pour les affects « actif » et « alerte », habituellement très marqués chez un enfant stressé ou hyperactif. Par conséquent, cette diminution suggère qu'Emma est plus calme et détendue après l'utilisation de FOCUS.

Les signes de diminution de l'anxiété, mesurés par le biais de ces différentes échelles au moment du post-test, sont à nuancer. En effet, le niveau d'anxiété mesuré par la STAI-C et le Self-Assessment Manikin a pu diminuer, car Emma connaissait mieux l'évaluateur et s'est habituée à la passation des tests.

Lors de l'entretien final, Emma et ses parents nous indiquent que l'endormissement est beaucoup plus aisé, grâce aux séances avec FOCUS. Or, les difficultés d'endormissement peuvent être un signe d'anxiété. Les séances de cohérence cardiaque diminueraient donc l'anxiété d'Emma au moment du coucher.

Par conséquent, l'ensemble des différents éléments repris ci-dessus tendent à montrer que les exercices de cohérence cardiaque couplée au biofeedback induisent une diminution de l'anxiété, même si celle-ci est relative et ne se retrouve pas dans toutes les épreuves d'évaluation.

1.2. Evolution de l'anxiété mathématique

Les résultats obtenus lors de l'administration de l'échelle d'auto-évaluation m-AMAS 8-13 ans (Carey et al., 2017) montre une diminution nette et significative de l'anxiété mathématique d'Emma. Lors du post-test, sur l'échelle de Likert de 1 à 5, aucun item ne dépasse le score de 2, correspondant à « un peu anxieux » alors que certains items vont jusqu'à 4, lors du prétest 2, correspondant à « pas mal anxieux ». Pour illustrer cette nette amélioration, nous pouvons prendre l'exemple de l'item 8 : « Découvrir que tu vas avoir un contrôle surprise de maths au début de ton cours de maths ». Lors du prétest 2, Emma entoure le score 4 (i.e. pas mal anxieux) puis lors du post-test, après l'intervention avec FOCUS, elle choisit le score 2 (i.e. un peu anxieux). Il en est de même pour l'item 4 « faire un contrôle de maths » qui passe d'un score de 3 (i.e. moyennement anxieux) à un score de 1 (i.e. faiblement anxieux).

D'un point de vue qualitatif, nous retrouvons également des signes d'amélioration lors de la passation des épreuves en mathématiques. Après l'intervention avec FOCUS, Emma demande moins d'approbations ou d'encouragements auprès de l'adulte, et n'hésite pas à faire des propositions de réponses, même si celles-ci sont fausses. Par exemple, lors du TTR, elle produit en tout 15 réponses dont 2 incorrectes lors du post-test, alors qu'elle n'en produit que 12 dont 1 incorrecte lors du prétest 2. Cela suggère qu'elle a moins peur de se tromper, et par conséquent, que son anxiété mathématique a diminué.

Enfin, on note une importante diminution de l'anxiété mathématique après l'intervention. Les résultats sont plus nuancés concernant l'évolution de l'anxiété trait ou état. Cela confirme donc que l'anxiété mathématique est une anxiété spécifique et qu'elle est à dissocier de l'anxiété générale.

1.3. Evolution des performances mathématiques

Afin d'évaluer les performances mathématiques, deux tests ont été proposés à Emma. Le premier était le TTR (De Vos, 1992), une épreuve de fluence arithmétique comprenant différentes opérations à réaliser. Le deuxième était le TRDM (Mejias et al, 2019), constitué de diverses épreuves mathématiques.

Les résultats du TTR suggèrent une minime amélioration des capacités arithmétiques d'Emma avec une augmentation de scores de 2 points lors du post-test. Cette légère augmentation, supérieure d'un point par rapport à celle entre les deux prétests, ne peut pas être révélatrice d'une véritable efficacité des séances de cohérence cardiaque, l'écart de scores étant trop faible.

Concernant le TRDM, même si nous observons en post-test une augmentation d'un point pour l'épreuve d'additions, égales à 100, à compléter, les autres scores restent stables et cela ne nous permet pas de conclure à une amélioration des performances d'Emma en mathématiques. De plus, nous observons un effet plancher pour les trois épreuves d'additions à compléter (i.e. maison des 100 et des 1000), c'est-à-dire que ces épreuves sont trop difficiles pour Emma ; elle ne peut donc pas augmenter ses scores et obtient majoritairement 0/10 pour ces trois épreuves lors du prétest et du post-test, excepté 1/10 pour la maison des 100 en post-test.

Comme nous l'avons évoqué plus tôt, la diminution de l'anxiété mathématique d'Emma lui permet de proposer plus de réponses et d'explorer plus de possibilités. Cependant, nous ne pouvons pas savoir si cette augmentation du nombre de réponses est

exclusivement due à une diminution de l'anxiété mathématique ou à un effet d'apprentissage et de maturation. De plus, cela induit peu d'amélioration des performances, étant donné que certaines réponses proposées sont incorrectes.

Enfin, malgré la diminution significative de l'anxiété mathématique après l'intervention FOCUS, les performances en mathématiques d'Emma ne se sont pas améliorées, contrairement à ce que nous supposons lors de notre deuxième hypothèse. La réalisation de séances de cohérence cardiaque n'a donc pas permis, dans notre intervention, d'agir sur les difficultés mathématiques.

1.4. Evolution des compétences en mémoire à court terme et de travail

Comme nous l'avons indiqué précédemment, de nombreux auteurs ont mis en évidence l'impact négatif de l'anxiété mathématique sur les compétences en mémoire à court terme et en mémoire de travail. En effet, les ruminations mentales entravent la capacité de mémoire de travail, indispensable à toute tâche arithmétique. Il était donc important d'évaluer cette compétence lors de notre intervention, car elle est extrêmement liée à l'anxiété mathématique ainsi qu'aux performances mathématiques. Un de nos postulats était que l'anxiété mathématique étant diminuée, les pensées intrusives étaient moins importantes donc les capacités en mémoire de travail de l'enfant devaient progresser. Or, les résultats ne montrent pas d'amélioration évocatrice de meilleures capacités de mémoire de travail. Ces résultats inattendus peuvent s'expliquer par le choix des épreuves. En effet, nous avons choisi les épreuves de répétition de chiffres endroit et envers de l'échelle d'intelligence de la WISC-V (Wechsler, 2014), que nous avons répétées à trois reprises lors des différents temps du protocole. Or, cette batterie de tests n'est pas prévue à cet effet et il existe un très grand effet test-retest de ces épreuves. De plus, les épreuves de la WISC-V sont élaborées et normées dans le but d'être réalisées dans un ordre très précis et ne sont pas destinées à être administrées aléatoirement ou sélectionnées selon les besoins. En effet, la batterie de tests doit normalement être administrée entièrement. Les résultats retrouvés dans notre évaluation ont donc pu être faussés. Utiliser des épreuves isolées, ne faisant pas partie d'une batterie normée, aurait permis de diminuer ce biais.

D'un point de vue qualitatif, les épreuves de répétitions de chiffres endroit-envers étaient très coûteuses pour l'enfant et nous avons observé lors du post-test des signes de démotivation tels que des réponses précipitées ou une non-concentration. Cela a donc pu affecter les résultats. En effet, Emma est anxieuse lors de la passation de tests et, à cela, s'ajoute l'évaluation de la mémoire, domaine où elle se sent peu en confiance. De plus, un stress supplémentaire s'ajoute, car l'épreuve utilise des chiffres, alors qu'elle présente des difficultés en mathématiques. Afin d'éviter cela, nous aurions pu élaborer notre ligne de base à partir d'épreuves n'utilisant pas de vocabulaire arithmétique.

Les épreuves mnésiques étaient réalisées en avant-dernier lors de l'administration de la ligne de base. Une fatigue a donc pu s'installer et a pu modifier les performances d'Emma, car la passation de l'ensemble des épreuves était relativement longue (environ 1 heure).

Au vu de tous ces éléments, nous ne pouvons donc pas conclure à un bénéfice de notre intervention sur les capacités de l'enfant en mémoire à court terme et en mémoire de travail.

1.5. Evolution des capacités attentionnelles

Afin d'évaluer les capacités attentionnelles d'Emma, indispensables à la réalisation de tâches mathématiques, un test de barrage et de codes de la WISC-V (Wechsler, 2014) a été effectué. Les résultats à l'épreuve de barrage ne mettent pas en évidence de progrès concernant l'attention. En effet, le score diminue d'un point lors du post-test alors qu'il augmente de 3 points après la période de latence. Au contraire, l'épreuve de codes suggère une amélioration des capacités attentionnelles suite à l'intervention avec FOCUS, avec une augmentation importante du score lors du post-test. Les résultats aux épreuves de la WISC-V sont donc nuancés. De plus, tout comme les épreuves d'empan mnésique endroit-envers, le choix d'utiliser des épreuves de la WISC-V comporte des limites, comme nous l'avons expliqué précédemment.

Le questionnaire abrégé de Conners évalue aussi certains signes d'inattention. Même si les scores bruts ne permettent pas de conclure à une diminution des indices d'hyperactivité et d'inattention grâce à l'utilisation de l'outil FOCUS, nous pouvons tout de même observer la diminution de certains signes d'inattention entre le prétest 2 et le post-test. Par exemple, pour l'item 6 correspondant à « inattentif, facilement distrait », les parents d'Emma notent un score de 2 sur 3 sur l'échelle de Likert (i.e. beaucoup) lors du prétest 2 alors qu'ils jugent cet item avec un score de 1 (i.e. un petit peu) lors du post-test.

Concernant les scores globaux d'inattention, du questionnaire parental SNAP-IV (Swanson, 2013), ils ne nous permettent pas de déduire une diminution des signes d'inattention. En effet, le score au post-test est plus important que lors de la première évaluation du prétest 1.

Pour conclure, l'amélioration des capacités attentionnelles est relative et dépendante des épreuves administrées. Seule l'épreuve de codes met en évidence une nette amélioration de scores. Les conclusions aux différentes épreuves évaluant l'attention sont très différentes, ce qui ne permet pas d'interpréter clairement les résultats.

2. Limites de l'intervention

Notre première hypothèse a donc été validée : l'anxiété mathématique a diminué grâce aux séances de cohérence cardiaque. Cependant, notre deuxième hypothèse n'a pas pu être confirmée lors de cette intervention ; les compétences en mathématiques s'étant peu améliorées grâce à l'intervention. Différents facteurs peuvent expliquer ces résultats nuancés.

Tout d'abord, la question de l'efficacité des séances avec l'outil FOCUS se pose. Même si les mesures physiologiques ont montré l'impact positif des exercices de cohérence cardiaque sur la fréquence cardiaque et le taux d'oxygénation dans le sang, il est important de noter qu'Emma considérait parfois ces exercices comme une contrainte et pouvait entrer en conflit avec ses parents pour ne pas faire l'exercice. Nous pouvons donc supposer que le stress et la fréquence cardiaque augmentaient fortement avant la réalisation des exercices de respiration. Par conséquent, même si les respirations entraînaient une détente, celle-ci pouvait être équivalente à l'état antérieur d'Emma, avant le conflit avec ses parents. Ainsi, le fait qu'Emma considère les exercices avec FOCUS comme une contrainte a pu biaiser et diminuer le bénéfice de l'intervention. En effet, le sentiment d'obligation et les conflits avec les parents ont certainement entravé la relaxation et la détente.

Il est également important de noter la limite du non-contrôle des séances de cohérence cardiaque. En effet, seuls les parents contrôlaient le bon déroulement des séances et Emma réalisait parfois les séances en autonomie. Or, comme le bilan qualitatif a pu le souligner, Emma n'avait jamais fait d'exercices de respiration en conscience auparavant ; il a été difficile pour elle de comprendre le fonctionnement de sa respiration et de garder le rythme de respiration imposé. Il a fallu qu'Emma apprenne à respirer de manière lente et consciencisée et cela a pris un certain temps. Par ailleurs, le temps de 3 minutes par séance n'a pas toujours été respecté. Tous ces éléments ont pu affecter la qualité des séances de cohérence cardiaque, notamment au début de l'intervention, où l'apprentissage s'est fait. Il aurait donc pu être pertinent, en supplément des explications courtes lors de la distribution de l'outil FOCUS, d'effectuer des séances avec l'enfant, afin de lui montrer l'exemple, contrôler sa respiration et la corriger avec des conseils si nécessaire, et être certain qu'elle utilise l'outil de manière appropriée. Cela aurait possiblement permis d'augmenter l'efficacité de l'outil FOCUS.

De plus, nous pouvons nous interroger sur le choix de l'évaluation à partir de 4 semaines. Nous avons choisi cette échéance, car nous voulions observer l'évolution d'Emma sur le long terme. Quatre semaines nous paraissaient donc une durée d'intervention adaptée, suffisamment courte pour l'enfant, et permettant une bonne organisation d'un point de vue pratique, afin de respecter les différents temps du mémoire, c'est-à-dire, la passation des évaluations, l'intervention puis l'analyse des données et la rédaction du mémoire. Mais le choix de cette durée d'intervention peut être discuté. En effet, nous avons vu dans la revue de littérature de Dormal et al., en 2020, qu'une seule séance de cohérence cardiaque était déjà efficace pour diminuer l'anxiété. Se pose donc la question de choisir une durée d'intervention plus courte. En effet, nous pouvons nous demander si les quatre semaines n'ont pas été trop longues pour l'enfant, celle-ci s'étant moins investie les deux dernières semaines. Cependant, nous pouvons également supposer qu'une période d'intervention plus longue aurait permis une meilleure maîtrise de la respiration, et donc la réalisation de séances de cohérence cardiaque plus efficaces. Ainsi, nous aurions pu retrouver des résultats plus marqués notamment pour les performances arithmétiques. Pour conclure, cette période d'intervention de 4 semaines nous semblait donc idéale, mais une autre durée aurait peut-être permis de mettre plus facilement en évidence les bénéfices de l'outil FOCUS.

Enfin, il serait intéressant de constater si les résultats observés se maintiennent dans le temps. Il aurait donc été pertinent d'évaluer Emma, après un certain temps d'arrêt des séances de cohérence cardiaque, afin de voir si l'anxiété mathématique est toujours réduite ou si elle a de nouveau augmenté, et si les performances en mathématiques ont évolué.

3. Intérêt pour la pratique orthophonique

Le domaine de la cognition mathématique en orthophonie est un champ de compétences relativement récent, et encore trop peu d'articles scientifiques s'intéressent aux effets de l'orthophonie sur la rééducation des mathématiques ou l'anxiété mathématique. De plus, les professionnels hésitent parfois à prendre en soin ce type de difficultés, car tous n'ont pas été formés. Par exemple, une enquête, réalisée en 2019 lors d'un mémoire d'orthophonie, montre que 43,8 % des orthophonistes interrogés ne connaissent pas le terme d'anxiété mathématique, et 39,3 % des orthophonistes effectuant des prises en soin en cognition mathématique n'utilisent pas d'outils en séances afin de réduire l'anxiété mathématique (Marin, 2019). Dans ce mémoire, nous avons donc essayé d'évaluer l'efficacité d'un outil de

cohérence cardiaque, pouvant être utilisé à la fois au domicile du patient, mais aussi lors des séances d'orthophonie, en complément d'une prise en soin cognitive. Par exemple, FOCUS pourrait être utilisé en début de séance d'orthophonie, afin que l'enfant soit détendu et puisse entrer dans les apprentissages le plus sereinement possible, sans anxiété. De plus, le questionnaire de Marin en 2019 évoquait que les supports proposés par les orthophonistes étaient peu généralisés au milieu scolaire du patient, là où les situations d'anxiété des mathématiques apparaissent généralement. Or, l'outil FOCUS est intéressant, car il peut être utilisé en autonomie, après que les consignes aient été expliquées à l'enfant, et peut être emmené n'importe où, car c'est un appareil solide et léger. Par conséquent, cela pourrait permettre de généraliser les exercices de cohérence cardiaque, réalisés en séances d'orthophonie, au milieu scolaire et familial.

Ce mémoire permet aussi de s'interroger sur l'importance de l'évaluation de l'anxiété mathématique dans le bilan orthophonique. Nous avons pu noter l'importante interdépendance entre l'anxiété mathématique et les performances en mathématiques. Il est donc essentiel de savoir repérer les signes d'anxiété mathématique tout au long du bilan pour les prendre en charge de manière efficace. Cependant, l'évaluation de cette anxiété peut aussi être réalisée de manière quantitative, via des échelles d'auto-évaluation comme par exemple la mAMAS 8-13 ans (Carey et al., 2017). Cela permettrait une évaluation plus objective que la simple observation de signes d'anxiété sur un moment donné.

Enfin, lors de notre intervention, Emma n'effectuait plus de séances d'orthophonie. Il pourrait être pertinent d'effectuer un nouveau protocole sur un enfant pris en charge au même moment par un orthophoniste, afin d'observer si la diminution de l'anxiété mathématique s'effectue plus rapidement et si l'amélioration des performances mathématiques est plus évidente.

Conclusion

L'objectif de ce mémoire était d'identifier l'apport des exercices de cohérence cardiaque pour un enfant présentant une anxiété mathématique et des difficultés en cognition mathématique. Pour ce faire, nous avons effectué une étude de cas unique. Notre intervention s'est déroulée sur une période de 4 semaines. L'enfant a utilisé l'outil FOCUS, un outil de cohérence cardiaque couplée au biofeedback afin de réaliser une à trois séances de respiration par jour. Au total, 42 séances de cohérence cardiaque ont été effectuées au domicile de l'enfant. Afin d'évaluer notre intervention, une ligne de base a été élaborée et administrée à trois reprises : un prétest 1, un prétest 2 après une période de latence d'environ 5 semaines et un post-test, après l'utilisation de FOCUS pendant 4 semaines. La période de latence entre les deux prétests nous a servi de période contrôle, l'enfant étant son propre contrôle dans l'étude d'un cas unique. Nous avons évalué donc l'anxiété mathématique, l'anxiété générale, les performances en mathématiques, les composantes comportementales ainsi que les processus cognitifs généraux nécessaires à la réalisation des tâches arithmétiques.

Nos hypothèses étaient que les séances de cohérence cardiaque allaient diminuer l'anxiété mathématique et ainsi améliorer les performances en mathématiques, étant donné la forte corrélation entre ces deux composantes.

Les résultats nous permettent de mettre en évidence une diminution nette et significative de l'anxiété mathématique ainsi qu'une diminution plus modérée et non significative de l'anxiété générale. Ces résultats valident donc notre première hypothèse. Les autres résultats sont à nuancer et parfois difficilement interprétables. Nous observons une légère amélioration des performances arithmétiques lors d'une épreuve de calcul, mais nous ne retrouvons pas cette amélioration dans les autres épreuves mathématiques proposées. Notre deuxième hypothèse ne peut donc pas être confirmée. Concernant les capacités attentionnelles, nous constatons une augmentation des scores sur l'épreuve de codes, mais pas sur l'épreuve de barrage. Qualitativement, nous observons également quelques signes d'amélioration. Enfin, les capacités en mémoire à court terme et de travail sont difficilement interprétables et ne mettent pas en évidence d'amélioration. Malgré ces résultats mitigés, l'analyse qualitative a permis de souligner les bénéfices et l'apport de l'outil FOCUS.

Les séances de cohérence cardiaque peuvent donc être une méthode pertinente pour des enfants présentant une anxiété mathématique. Ainsi, FOCUS pourrait être un outil complémentaire à la rééducation cognitive en orthophonie, et son utilisation pourrait être généralisée dans tous les lieux de vie de l'enfant, au domicile ou à l'école.

À l'avenir, il serait pertinent d'effectuer des études sur les effets de l'outil FOCUS et de la cohérence cardiaque couplée au biofeedback, avec des enfants présentant un TAM et non un retard d'acquisition des mathématiques, ou avec des enfants présentant un TDAH. Aussi, il pourrait être intéressant d'évaluer le maintien ou non, des bénéfices de la cohérence cardiaque dans le temps.

Bibliographie

- American psychiatric association. (2013). *DSM-5: Diagnostic and statistical manual of mental disorders* (5th edition). American Psychiatric Publishing.
- Brunyé, T. T., Mahoney, C. R., Giles, G. E., Rapp, D. N., Taylor, H. A., & Kanarek, R. B. (2013). Learning to relax : Evaluating four brief interventions for overcoming the negative emotions accompanying math anxiety. *Learning and Individual Differences*, 27, 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2013.06.008>
- Bynion, T. M., & Feldner, M. T. (2017). Self-assessment manikin. *Encyclopedia of personality and individual differences*, 1-3.
- Carey, E., Hill, F., Devine, A., & Szűcs, D. (2017). The modified abbreviated math anxiety scale: A valid and reliable instrument for use with children. *Frontiers in psychology*, 8, 11. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.00011>
- Conners, C. K. (1997). *Conner's Rating Scales—Revised Technical Manual*. Toronto, ON: Multi-Health Systems Inc.
- Dehaene, S. (1992). Varieties of numerical abilities. *Cognition*, 44(1), 1-42. [https://doi.org/10.1016/0010-0277\(92\)90049-N](https://doi.org/10.1016/0010-0277(92)90049-N)
- De Vos, T. (1992). *Tempo Test Rekenen*. Berkhout Nijmegen.
- Dormal, V., Vermeulen, N. & Mejias, S. (2020). Is heart rate variability biofeedback useful in children and adolescents? A systematic review. [Manuscript submitted for publication].
- Fayol, M. (2011). *Chapitre 6. Difficultés et troubles des apprentissages* (p. 103-113). Presses Universitaires de France. <https://doi.org/10.3917/puf.brgeo.2011.01.0103>
- Fayol, M. (2013). *L'acquisition du nombre* (2è éd.). Presses Universitaires de France.
- Fayol, M. (2018). Activités arithmétiques et anxiété. *ANAE - Approche Neuropsychologique des Apprentissages Chez L'enfant*, 30(156), 603-610.
- Hembree, R. (1990). The Nature, Effects, and Relief of Mathematics Anxiety. *Journal for Research in Mathematics Education*, 21(1), 33-46. <https://doi.org/10.5951/jresmetheduc.21.1.0033>
- Iuculano, T., Rosenberg-Lee, M., Richardson, J., Tenison, C., Fuchs, L., Supekar, K., & Menon, V. (2015). Cognitive tutoring induces widespread neuroplasticity and remediates brain function in children with mathematical learning disabilities. *Nature Communications*, 6(1), 8453. <https://doi.org/10.1038/ncomms9453>
- Lafay, A., Saint-Pierre, M.-C., & Macoir, J. (2015). Revue narrative de littérature relative aux troubles cognitifs numériques impliqués dans la dyscalculie développementale : Déficit du sens du nombre ou déficit de l'accès aux représentations numériques mentales? *Canadian psychology*, 56(1), 96-107. <https://doi.org/10.1037/a0037264>
- Lafay, A. (2016). *Déficits cognitifs numériques impliqués dans la dyscalculie développementale*. <https://corpus.ulaval.ca/jspui/handle/20.500.11794/26755>

- Lindskog, M., Winman, A., & Poom, L. (2017). Individual differences in nonverbal number skills predict math anxiety. *Cognition*, *159*, 156-162. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2016.11.014>
- Ma, X., & Xu, J. (2004). The causal ordering of mathematics anxiety and mathematics achievement : A longitudinal panel analysis. *Journal of Adolescence (London, England.)*, *27*(2), 165-179. <https://doi.org/10.1016/j.adolescence.2003.11.003>
- Maillart, C., Fage, C., Heck, T., Lejeune, M., Grevesse, P., & Martinez Perez, T. (2017, décembre 7). *Comment peut-on mesurer l'efficacité d'une rééducation de manière écologique? Etudes de cas multiples chez des enfants présentant un trouble du spectre autistique (TSA)*. XVIIème rencontres internationales d'orthophonie. <https://orbi.uliege.be/handle/2268/216710>
- Marin, M. (2019). *Impact de l'anxiété mathématique sur la prise en charge orthophonique : Rôle de l'orthophoniste et outils spécifiques pour réduire cette anxiété en milieu scolaire ?* [mémoire d'orthophonie, Université de Lille]
- Mejias, S., Muller, C., & Schiltz, C. (2019). Assessing Mathematical School Readiness. *Frontiers in Psychology*, *10*, 1173-1173. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.01173>
- OCDE (2015), « Plus de peur que de maths », *PISA à la loupe*, n° 48, Éditions OCDE, Paris. <https://doi.org/10.1787/5js67b4thzd5-fr>
- Rousselle, L., & Noël, M.-P. (2007). Basic numerical skills in children with mathematics learning disabilities : A comparison of symbolic vs non-symbolic number magnitude processing. *Cognition*, *102*(3), 361-395. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2006.01.005>
- Rubinsten, O., & Henik, A. (2009). Developmental Dyscalculia : Heterogeneity might not mean different mechanisms. *Trends in Cognitive Sciences*, *13*(2), 92-99. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2008.11.002>
- Rubinsten, O., & Tannock, R. (2010). Mathematics anxiety in children with developmental dyscalculia. *Behavioral and Brain Functions*, *6*(1), 46-46. <https://doi.org/10.1186/1744-9081-6-46>
- Soltész, F., Szűcs, D., Dékány, J., Márkus, A., & Csépe, V. (2007). A combined event-related potential and neuropsychological investigation of developmental dyscalculia. *Neuroscience Letters*, *417*(2), 181-186. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2007.02.067>
- Spielberger, C. D., Edwards, C. D., Lushene, R. E., Montuori, J., & Platzek, D. (1973). *STAIC preliminary manual*. Palo Alto, Calif.: Consulting Psychologists Press, t973.
- Supekar, K., Iuculano, T., Chen, L., & Menon, V. (2015). Remediation of Childhood Math Anxiety and Associated Neural Circuits through Cognitive Tutoring. *Journal of Neuroscience*, *35*(36), 12574-12583. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.0786-15.2015>
- Swanson, J. M. (2013). SNAP-IV 26-Item Teacher and Parent Rating Scale.
- Thompson, E. R. (2007). Development and validation of an internationally reliable short-form of the positive and negative affect schedule (PANAS). *Journal of cross-cultural psychology*, *38*(2), 227-242. <https://doi.org/10.1177/0022022106297301>
- Van Nieuwenhoven, C., Vriendt, S. D., & Hanin, V. (2019). *L'enfant en difficulté d'apprentissage en mathématiques : Pistes de diagnostic et supports d'intervention*. De Boeck Supérieur.

- Vilette, B. (2017). L'anxiété mathématique apparaît-elle au début des apprentissages scolaires? *Enfance*, *N° 4*(4), 513-519.
- Von Aster, M. G., & Shalev, R. S. (2007). Number development and developmental dyscalculia. *Developmental Medicine and Child Neurology*, *49*(11), 868-873. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8749.2007.00868.x>
- Wechsler, D. (2014). Wechsler intelligence scale for children-fifth edition. Bloomington, MN: Pearson.
- Zaccaro, A., Piarulli, A., Laurino, M., Garbella, E., Menicucci, D., Neri, B., & Gemignani, A. (2018). How Breath-Control Can Change Your Life : A Systematic Review on Psycho-Physiological Correlates of Slow Breathing. *Frontiers in Human Neuroscience*, *12*, 353. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2018.00353>

Liste des annexes

Annexe n°1 : Tableaux de suivi des séances.