

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



MEMOIRE

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

Angèle PREGO

soutenu publiquement en juin 2024

**Elaboration d'un protocole d'entraînement visant la
réduction de l'anxiété mathématique chez des patients
atteints de trouble des apprentissages mathématiques**

MEMOIRE dirigé par
Sandrine MEJIAS, Maître de conférences, Département d'orthophonie, Université de Lille

Lille – 2024

Remerciements

Tout d'abord, je tiens à remercier ma directrice de mémoire, Madame Mejias, pour son accompagnement attentif, ses précieux conseils et sa bienveillance constante.

Je remercie Madame Lecroq pour avoir accepté d'être ma lectrice et pour ses enseignements en cognition mathématique.

Je remercie l'ensemble des membres du jury pour l'intérêt porté à ce mémoire.

Merci à mes maîtres de stage, pour la qualité de leur savoir et pour leur bienveillance.

Mes remerciements vont également à mes proches, mes grands-parents, mon frère, pour avoir cru en moi depuis les premiers concours.

Merci à mes camarades de promotion pour les peines et les rires partagés ensemble.

Merci à mes parents. Leur soutien chaque week-end a été d'une aide précieuse depuis le début de mes études. Elle me prouve que je suis entourée de la meilleure des façons. Merci d'avoir rendu ces études possibles.

Enfin, merci à Lucas, dont la présence a apporté bonheur et sérénité dans ma vie depuis cinq ans.

Résumé :

L'anxiété mathématique et les troubles des apprentissages sont intimement liés, mais jusqu'à présent, aucun outil de rééducation prenant en compte cette double dimension n'est disponible pour les orthophonistes. La littérature offre une variété de moyens pour atténuer cette anxiété, incluant des entraînements mathématiques, des interventions cognitivo-comportementales et des modifications environnementales. Pour combler cette lacune, nous avons créé un protocole de rééducation spécifique, nommé "Explorons les maths sans pression". Il vise les enfants d'école élémentaire (environ six à douze ans) présentant à la fois des troubles des apprentissages mathématiques et une anxiété mathématique. Ce protocole s'étend sur huit semaines, avec des sessions hebdomadaires de 30 minutes, totalisant ainsi quatre heures d'intervention. En outre, chaque séance hebdomadaire est accompagnée d'un livret d'histoires mathématiques, destinée à promouvoir le partenariat avec les parents. Ce livret propose une histoire facultative suivie d'une série de questions mathématiques. Pour faciliter l'administration du protocole, une fiche détaillée destinée aux orthophonistes est incluse. Nous proposons également des outils pour mesurer les performances mathématiques ainsi que l'anxiété mathématique.

Mots-clés :

Anxiété mathématique ; performances mathématiques ; trouble d'apprentissage ; protocole d'entraînement ; orthophoniste.

Abstract :

Mathematical anxiety and learning disabilities are intimately linked, but to date, no rehabilitation tools that take this dual dimension into account are available to speech therapists. The literature offers a variety of ways to alleviate this anxiety, including mathematical training, cognitive-behavioral interventions and environmental modifications. To fill this gap, we have created a specific re-education protocol, called "Explorons les maths sans pression". It is aimed at elementary school children (aged around six to twelve) with both mathematical learning disabilities and mathematical anxiety. The protocol runs for eight weeks, with weekly 30-minute sessions, totaling four hours of intervention. In addition, each weekly session is accompanied by a mathematical story booklet, designed to promote partnership with parents. The booklet features an optional story followed by a series of mathematical questions. To facilitate administration of the protocol, a detailed sheet for speech therapists is included. We also offer tools for measuring mathematical performance and mathematical anxiety.

Keywords :

Mathematical anxiety ; learning disabilities ; mathematical performance ; training protocol ; speech therapist.

Table des matières

Introduction	1
Contexte théorique, buts et hypothèses	1
1. L'anxiété mathématique	1
1.1. Définition.....	1
1.2. Fréquence.....	2
1.3. Effet de l'anxiété mathématique	2
1.3.1. Manifestations	2
1.3.2. Effets sur les performances mathématiques	2
2. Le trouble des apprentissages mathématiques	3
2.1. Définition	3
2.2. Orthophonie et trouble des apprentissages mathématiques.....	4
3. Remédiations à l'anxiété mathématique.....	4
3.1. Interventions spécifiques aux mathématiques	4
3.1.1. Entraînements intensifs des mathématiques.....	4
3.1.2. Jeux numériques	5
3.1.3. Interventions ludiques	6
3.1.4. Stratégies métacognitives	7
3.2. Interventions cognitivo-comportementales	9
3.2.1. Stratégies d'adaptation	9
3.2.2. L'écriture expressive	10
3.3. Modifications environnementales	11
3.3.1. Modification des supports	11
3.3.2. Situation de succès	11
3.3.3. Classe inversée	12
3.3.4. Implication des parents.....	12
4. Buts et hypothèses du mémoire.....	12
Méthode.....	13
1. Description du protocole	13
1.1. Sélection des articles	13
1.2. Population ciblée	14
1.3. Importance de la motivation	15
1.3.1. Etat des lieux du matériel existant	15
1.3.2. Contenu	15
1.3.3. Durée de passation	15
1.3.4. Progression du protocole.....	16
1.4. Elaboration formelle du protocole	16
1.4.1. Choix du titre	16
1.4.2. Support.....	16
1.4.3. Design du protocole	16
2. Lignes de base	16
2.1. Echelles mesurant l'anxiété mathématique	17
2.1.1. Les échelles d'anxiété mathématique dans la littérature.....	17
2.1.2. Sélection des échelles mathématiques pour le protocole	17
2.2. Tests de performance mathématiques	17
2.2.1. Outils de diagnostic de TAM	17
2.2.2. Evaluation des compétences mathématiques en prétest et post-test	18
Résultats	18
1. Création d'un matériel de rééducation orthophonique	18
1.1. « L'exploration de la détente » : stratégie d'adaptation.....	18

1.2. « L'exploration des émotions » : écriture expressive	19
1.3. « L'exploration des mathématiques », « L'exploration des stratégies mathématiques » et « L'exploration des billes d'états émotionnels » : entraînements spécifiques aux mathématiques et interventions ludiques.....	20
1.4. « Prépare-toi pour ton expédition » : apprentissage basé sur le jeu	21
1.5. « Explorons les problèmes » : stratégie métacognitive	23
2. Création d'un livret de huit courtes histoires avec problèmes mathématiques	24
2.1. Conception du livret	24
2.2. Type d'exercices	24
3. Création du document adressé aux orthophonistes	25
3.1. But de la fiche.....	25
3.2. Contenu de la fiche	25
Discussion	26
1. Interprétation des résultats	26
2. Limites.....	28
2.1. Limites liées à la sélection des articles	28
2.2. Limites liées à la création du matériel	28
3. Perspectives et pistes d'amélioration	30
Conclusion.....	30
Bibliographie.....	31
Liste des annexes	35
Annexe n°1 : échelle d'anxiété mathématique (5-7 ans) adaptée de l'AMAS (EES- AMAS : Primi et al., 2020).	35
Annexe n°2 : échelle d'anxiété mathématique (8-13 ans) adaptée de l'AMAS (mAMAS : Carey et al., 2017).	35
Annexe n°3 : échelle picturale (heureux/ excité/ stressé) de Bradley et Lang (1994).	35
Annexe n°4 : premières pages du livret d'entraînement (protocole) : <i>Explorons les maths sans pression.</i>	35
Annexe n°5 : fiche adressée aux orthophonistes (sans les échelles).	35
Annexe n°6 : premières pages du livret de partenariat parental : <i>L'aventurier des maths.</i>	35

Introduction

Le trouble des apprentissages mathématiques (TAM), également connu sous le nom de dyscalculie développementale, est un trouble persistant et sévère des apprentissages concernant le sens du nombre, les faits arithmétiques, le calcul ou le raisonnement (American Psychiatric Association, 2015). Ces troubles perdurent à l'âge adulte et peuvent interférer avec l'insertion sociale des individus (Lafay, 2015). Ainsi, ils sont importants à prendre en considération précocement chez les enfants en souffrant pour limiter leurs répercussions dans les apprentissages et dans leur future vie professionnelle.

Depuis les années 1950, un intérêt croissant a été porté par les chercheurs à propos de l'anxiété qui accompagne l'apprentissage des mathématiques dans des perspectives neurophysiologiques, comportementales ou encore expérimentales (Cipora et al., 2022). Cette problématique a suscité de nombreuses études visant à mieux comprendre l'impact des émotions sur l'apprentissage des mathématiques, ainsi que l'impact de cet apprentissage sur les émotions.

L'anxiété mathématique (AM) se définit comme un état de tension, d'appréhension ou de peur interférant avec les performances mathématiques (Ashcraft, 2002). L'anxiété et la réussite mathématique guident les individus vers certains choix éducatifs et de carrière. Des inégalités de niveaux d'anxiété mathématique ont été retrouvées chez les femmes, les personnes issues de minorités raciales et ethniques, ainsi que les individus avec trouble d'apprentissage (pour une revue, voir Barroso et al., 2021). Les recherches récentes s'accordent à affirmer que la relation entre l'anxiété mathématique et les performances mathématiques est bidirectionnelle, c'est-à-dire que les deux sont causalement liées l'une à l'autre.

Tout d'abord, il s'agira de réaliser une revue de littérature afin de répertorier les outils diminuant l'anxiété mathématique. Ensuite, il conviendra de créer un protocole d'entraînement se basant sur les résultats de la littérature pour offrir aux orthophonistes un moyen d'intervention sur cette anxiété. Le protocole créé pourra faire l'objet d'une diffusion sur le site LOLEMATH.

Contexte théorique, buts et hypothèses

1. L'anxiété mathématique

L'anxiété mathématique (AM) est étudiée avec une certaine attention par de nombreux auteurs. Nous allons définir l'anxiété puis l'AM, sa fréquence et ses effets.

1.1. Définition

L'anxiété est définie comme étant une inquiétude pénible, une tension, causée par l'incertitude, l'attente ou l'angoisse ou comme un trouble émotionnel impliquant un sentiment d'insécurité (Larousse, s.d.). On distingue l'état d'anxiété et l'anxiété trait. L'état d'anxiété est une réponse comportementale face à la perception de la menace. Le trait d'anxiété correspond à une prédisposition à percevoir certaines situations comme plus ou moins menaçantes et à y répondre par des états d'anxiété plus ou moins élevés (Delignières, 1993).

L'AM est définie comme un sentiment d'appréhension et de tension survenant dans les situations qui impliquent un traitement d'informations numériques (Richardson & Suinn, 1972). Ce

sentiment interfère avec les performances mathématiques (Ashcraft, 2002). Selon Cipora et al. (2022), il s'agit d'une anxiété spécifique, distincte de l'anxiété état, de l'anxiété de trait et de l'anxiété de test. Ces auteurs ne donnent pas de définition précise à l'AM, postulant que les hétérogénéités de définitions entre les auteurs reflètent une compréhension différente et peuvent également mener à des malentendus. Toutefois, selon eux, il reste très important de mieux comprendre l'AM pour guider les interventions.

Les raisons de cette anxiété spécifique peuvent être environnementales, c'est-à-dire liées à des expériences négatives dans les cours de mathématiques ou avec les professeurs. Elles peuvent également être personnelles, c'est-à-dire liées à une faible estime de soi. Finalement, elles peuvent être cognitives, liées aux caractéristiques innées des individus (Rubinstein & Tannock, 2010).

1.2. Fréquence

L'AM peut être retrouvée dès le début de l'école élémentaire et sa fréquence augmente à l'âge adulte (Cipora et al., 2022). L'enquête PISA de 2012 (OCDE, 2014) révèle que près de 30% des élèves déclarent se sentir perdus lors des résolutions de problèmes, dans les pays de l'Organisation de Coopération et de Développement Economique (OCDE). Elle montre également que, dans une majorité de pays, les filles ainsi que les élèves issus de milieux socio-économiques défavorisés sont plus sujets à faire état d'AM et que les niveaux d'AM diffèrent selon les pays. Également, les individus avec trouble des apprentissages mathématiques (TAM) ont un risque plus important de développer une AM, avec une corrélation négative plus élevée que chez le tout-venant (Rubinstein et Tannock, 2010). Les recherches indiquent que les individus de sexe féminin ont tendance à sous-estimer leurs capacités et à éprouver plus d'inquiétude envers les mathématiques, comme en témoignent les études menées par Hembree (1990) et Vilette (2017).

1.3. Effet de l'anxiété mathématique

Les effets de l'AM sont nombreux. Ils peuvent être délétères, notamment sur les performances mathématiques (Ashcraft, 2002).

1.3.1. Manifestations

Les manifestations de l'AM sont physiques comme les mains qui tremblent (Ashcraft, 2002). Cette réaction peut être assimilée à de la douleur (OCDE, 2014).

Au niveau cérébral, les schémas cérébraux des personnes souffrant d'AM s'apparenteraient à ceux des personnes phobiques (Cipora et al., 2022). Lyons et Beilock (2012) indiquent que lorsqu'on anticipe une tâche mathématique, une anxiété accrue liée aux mathématiques entraîne une augmentation de l'activité dans les régions du cerveau associées à la détection de la menace pouvant souvent être ressentie comme de la douleur (insula dorso-postérieure bilatérale). Cette relation n'a pas été observée pendant la réalisation de tâches mathématiques, ce qui suggère que ce n'est pas la matière en elle-même qui cause la douleur, mais plutôt l'anticipation de la tâche.

De plus, les personnes anxieuses en mathématiques vont avoir une plus forte tendance à éviter cette discipline (Hembree, 1990 ; Ashcraft, 2002).

1.3.2. Effets sur les performances mathématiques

Il a été observé qu'il existe une corrélation faible à modérée entre l'AM et les compétences

mathématiques chez les élèves de tous les niveaux. Cette corrélation significative se retrouve dans tous les domaines des mathématiques, sauf dans celui qui mesure le système numérique approximatif (Barroso et al., 2021).

Les personnes souffrant d'AM se retrouvent avec des compétences et des résultats en mathématiques inférieurs à ceux qui ne sont pas anxieux. Ces résultats sont mis en évidence par des tests standardisés (Ashcraft, 2002). L'enquête PISA (OCDE, 2014) montre que l'AM entraîne une diminution de 34 points en moyenne du score mathématique, ce qui correspond à près d'un an de scolarité. La relation entre l'AM et les performances mathématiques est significative à partir du CE1, après une année de scolarisation en CP indépendamment de la capacité en mémoire de travail (Vilette, 2017).

Il existe trois grandes théories présentes dans la littérature qui explorent les liens de causalité entre AM et performances mathématiques. La première est la théorie du déficit suggérant que les expériences pauvres en mathématiques augmentent l'AM (Carey et al., 2016 ; Carey et al., 2019). Des études longitudinales suggèrent qu'une baisse de performances en mathématiques pourrait être liée à une AM plus élevée pour la suite de la scolarité. Les adultes anxieux mathématiques auraient des problèmes avec le système numérique (Carey et al., 2019). Cette théorie est également corroborée par les résultats de l'étude de Rubinstein et Tannock (2010) dans laquelle les individus avec trouble des apprentissages mathématiques souffriraient d'un faible rendement en mathématiques, ce qui engendrerait l'AM. La deuxième est la théorie de l'anxiété invalidante suggérant que c'est l'anxiété qui réduit les performances mathématiques et impacte le prétraitement, le traitement et la récupération de l'information (Carey et al., 2016). Le fait que l'anxiété ait un effet délétère sur les performances mathématiques est démontré par de nombreuses études, et ce à tous les âges. Ainsi, elle est expliquée par un déficit de mémoire de travail causé par des pensées intrusives (Carey et al., 2016). La troisième est la théorie de la réciprocité suggérant que la relation entre l'AM et les performances mathématiques sont bidirectionnelles (Carey et al., 2016).

2. Le trouble des apprentissages mathématiques

Le trouble des apprentissages mathématiques (TAM) constitue un domaine d'intervention en orthophonie. Avant d'approfondir sur le rôle de l'orthophonie dans ce cas, nous définirons précisément en quoi consiste le trouble.

2.1. Définition

Le TAM est un trouble figurant dans la nomenclature générale des actes en orthophonie et un sujet de recherche en plein essor. Selon le DSM-5 (American Psychiatric Association, 2015), le TAM est un trouble qui concerne l'atteinte du sens du nombre, de la mémorisation des faits arithmétiques, du calcul et du raisonnement. Les difficultés doivent être persistantes, c'est-à-dire durer plus de six mois malgré la mise en place de mesures spécifiques. Elles doivent également être attestées par des tests standardisés et se situer nettement en dessous du niveau escompté par rapport à l'âge. Elles débutent au cours de la scolarité, mais peuvent se manifester une fois que les demandes excèdent les capacités de l'individu. Enfin, elles ne s'expliquent pas par une déficience intellectuelle, sensorielle ou encore une déprivation éducative.

D'après Lafay (2015), la prévalence du TAM varie entre 1 et 10 % des enfants d'âge scolaire,

avec persistance à l'âge adulte. Pour les élèves du secondaire, le pourcentage approche les 4 %, d'après Rubinstein et Tannock (2010).

Ce trouble peut être primaire, pur ou spécifique, c'est-à-dire dû à une anomalie d'une région cérébrale dédiée au nombre et au calcul. Il peut être secondaire, c'est-à-dire consécutif à une ou plusieurs fonctions cognitives altérées (Fédération Wallonie-Bruxelles, 2018).

2.2. Orthophonie et trouble des apprentissages mathématiques

La fédération nationale des orthophonistes (FNO) mentionne le « bilan de la cognition mathématique (trouble du calcul, troubles du raisonnement logico-mathématique...) » ainsi que la « rééducation des troubles de la cognition mathématique (dyscalculie, troubles du raisonnement logico-mathématique...) » dans la nomenclature générale des actes en orthophonie (FNO, 2023). Les troubles liés aux mathématiques constituent donc un domaine à part entière de la pratique orthophonique.

L'avenant numéro dix-neuf du 25 février 2022 à la Convention nationale des orthophonistes a également permis la création d'un acte de prévention et d'accompagnement parental. Cet acte peut être mis en place précocement pour les enfants ayant des difficultés en mathématiques, mais également dans le cadre d'une information sur l'AM (FNO, 2022). L'accompagnement parental se fonde dans une relation de soin horizontale et triangulaire entre les parents, le patient et l'orthophoniste, chacun ayant ses propres représentations et ses attentes (Gantelme et Vanuxem, 2011).

3. Remédiations à l'anxiété mathématique

De nombreux chercheurs ont proposé des études expérimentales afin de diminuer l'AM.

3.1. Interventions spécifiques aux mathématiques

Dans la littérature, la mise en place de stratégies mathématiques plus ou moins explicites pour diminuer l'AM a été retrouvée.

3.1.1. Entraînements intensifs des mathématiques

Un programme d'entraînement a été proposé par Supekar et al. (2015) pour 28 enfants de sept à neuf ans souffrant d'AM. Ce programme était constitué de 22 leçons sur huit à neuf semaines (traitement intensif), comprenant l'apprentissage de stratégies de calcul, des problèmes de difficulté croissante et des activités ludiques. Supekar et al. (2015) proposent de travailler les additions et les soustractions avec des opérands simples, de zéro à six, avec l'exploration de la commutativité de l'addition et l'identité additive du 0 (leçons une à quatre) puis proposent un apprentissage de la stratégie du minimum - commencer l'addition à partir du plus grand nombre - et la stratégie d'addition manquante pour la soustraction - commencer par le plus petit nombre - (leçons cinq et six), avant de proposer une complexification des problèmes (leçons sept à vingt-deux). Les leçons avaient une structure particulière. Elles se composaient de cartes mémoires, de révisions de la connaissance des nombres via des stratégies de comptage et de la manipulation, d'une feuille de travail introduisant le nouveau problème, de jeux mathématiques, de cartes mémoires informatisées

ou encore d'une fiche de travail sur la famille de nombres travaillée. Les résultats ont montré une réduction des réponses émotionnelles négatives et une réduction de l'activation de l'amygdale (structure du cerveau liée à la régulation des émotions). En outre, l'AM a été diminuée pour le groupe interventionnel (pour les faiblement anxieux et les fortement anxieux, mais davantage pour les fortement anxieux) et les performances en mathématiques ont été améliorées dans le groupe des faiblement anxieux et des fortement anxieux.

Les auteurs Passolunghi et al. (2020) ont proposé un entraînement aux stratégies mathématiques axé sur des exercices supplémentaires afin d'améliorer les stratégies de calcul pour des enfants de CM1, âgés en moyenne de neuf ans et demi (durant huit semaines avec une session d'une heure par semaine). L'entraînement se constituait d'exercices ludiques à l'oral et à l'écrit sur les additions, les soustractions, les multiplications et les divisions ainsi que l'apprentissage de stratégies et d'une synthèse. Les performances des élèves ont augmenté et l'AM a diminué.

Supekar et al. (2015) montrent qu'un entraînement de huit semaines (40 à 50 minutes, trois fois par semaine) centré sur les mathématiques est performant sur l'AM. Le programme d'entraînements de Passolunghi et al. (2020) a également duré 8 semaines (sessions de 60 minutes). Nous retenons des deux programmes que huit semaines intensives avec un apprentissage de stratégies auront un effet bénéfique sur l'AM.

3.1.2. Jeux numériques

Les approches d'apprentissage basées sur le jeu numérique ont fourni des preuves dans la littérature scientifique. *Calcularis* est un programme d'enseignement des mathématiques créé par une équipe de l'Ecole Polytechnique de Zurich pour enfants avec dyscalculie (Constructor, s. d.). L'efficacité de ce logiciel d'entraînement a été démontrée chez 68 individus avec trouble des apprentissages mathématiques dans l'étude de Rauscher et al. (2017). Les résultats ont montré que le groupe d'intervention a obtenu des scores d'AM inférieurs à ceux des groupes témoins. Kohn et al. (2020) recommandent une période d'entraînement individuel d'au moins 3 mois avec 3 à 4 séances par semaine.

Certains jeux numériques ont également été accompagnés de techniques particulières. Huang et al. (2014) ont créé un jeu numérique basé sur l'addition et la soustraction (dans un magasin virtuel) auprès de 56 élèves de deuxième année d'une école primaire de Taïwan. Le système virtuel fournissait une rétroaction diagnostique interactive durant le jeu, un feed-back sur les erreurs. Les deux groupes de cette étude (avec et sans rétroaction) ont montré une diminution des scores d'AM. Ils ont également amélioré leurs performances, avec une amélioration plus marquée pour le groupe avec rétroaction.

Dans une étude similaire auprès de 84 enfants de première année du primaire (CP), Vanbecelaere et al. (2021) ont comparé les effets de deux versions d'un jeu, adaptative et non adaptative, sur les compétences mathématiques précoces : comparaison et estimation sur la ligne numérique. La version adaptative consiste en l'ajustement du contenu par rapport à la capacité du joueur. Les deux groupes ont diminué leur AM et ont amélioré leurs compétences en calcul après trois semaines d'entraînements de deux sessions de 30 minutes par semaine. La version non adaptative était davantage bénéfique pour les enfants avec de faibles performances de base (pouvant signifier qu'une approche prédéfinie avec complexité croissante serait plus efficace pour eux) *a*

contrario de ceux avec des performances élevées. La condition alternative permet d'apprendre plus efficacement (moins de temps passé).

L'utilisation d'un appareil de neurofeedback, Emotiv EPOC BCI, capturant les émotions humaines en temps réel a fait l'objet d'une étude pour réduire l'AM chez 36 élèves âgés de dix à seize ans en Afrique du Sud par Verkijika et De Wet (2015). Les participants jouaient à un jeu numérique intitulé *Math Mind* et obtenaient un feed-back visuel lorsque leur niveau d'anxiété augmentait. Les résultats de l'étude montrent que l'utilisation du neurofeedback combinée aux jeux numériques a permis la réduction de l'AM et l'amélioration de la confiance des élèves envers les mathématiques.

Au sujet des jeux numériques, Verkijika et De Wet (2015) indiquent que le recours à des jeux éducatifs pour améliorer les compétences en mathématiques présente un fort potentiel, mais des études empiriques solides font défaut pour appuyer leur efficacité. L'utilisation de jeux dans l'apprentissage est pertinente, car elle stimule la motivation interne, se concentre sur le processus plutôt que sur le résultat, encourage l'initiative individuelle, favorise une ambiance positive, et est une méthode active et dynamique (Garvey, 1977 ; Rubin & Vandenberg, 1983 ; cités par Huang et al., 2014). Les jeux non adaptatifs sont bénéfiques pour les enfants avec de faibles performances de base (Vanbecelaere et al., 2021). Un apprentissage est considéré comme adaptatif s'il peut suivre les activités de ses utilisateurs, les comprendre en utilisant des modèles spécifiques au domaine, inférer les besoins et les préférences des utilisateurs, les représenter dans des modèles et, enfin, s'il facilite dynamiquement le processus d'apprentissage (Paramythis & Loidl-Reisinger, 2004). Finalement, les résultats de Verkijika et De Wet (2015) suggèrent une possibilité d'utiliser un dispositif BCI peu coûteux et non invasif à des fins éducatives.

3.1.3. Interventions ludiques

La recherche sur l'utilisation de jeux récréatifs pour améliorer les performances mathématiques est restée limitée à des jeux passifs alors que les enfants ont des préférences pour les activités récréatives actives (Alanazi, 2020). L'étude de Alanazi (2020) a été menée auprès de 60 élèves de première année dans une école primaire d'Arabie Saoudite. Le groupe expérimental a participé à des jeux mathématiques récréatifs actifs pendant deux mois (24 sessions de 45 minutes). Les objectifs comprenaient le comptage, la soustraction, les additions, les formes, l'ordre des nombres, etc. L'une des activités consistait à rendre l'addition et la soustraction plus ludiques grâce à la lecture d'une histoire de mouvements. Au niveau des résultats, le groupe d'intervention a obtenu des scores d'AM inférieurs et des performances en mathématiques supérieures à celles du groupe témoin.

Rodriguez et al. (2019) présentent une étude sur l'effet d'une formation musicale axée sur les performances en mathématiques d'enfants ayant des difficultés en mathématiques. L'étude a été menée auprès de 42 enfants brésiliens de huit à dix ans. Il y a eu huit séances hebdomadaires de 45 minutes. Chacune d'elles comprenait une période de cinq minutes d'échauffement ainsi que cinq minutes de relaxation. Les entraînements étaient basés sur la stimulation rythmique, la stimulation mélodique et la stimulation des tonalités. Les enfants ont été encouragés à utiliser leur voix et leur corps comme sources de sons pendant les quatre premières séances, puis des instruments de musique ont été utilisés lors des quatre dernières. Des ressources audiovisuelles ont également été

prises à disposition pour renforcer les informations données par le professeur de musique. Les séances étaient structurées pour se concentrer sur différents systèmes numériques tels que le système cardinal, numérique verbal, numérique visuel et ordinal. Les enfants ont été encouragés à chanter des chansons comportant des nombres et à utiliser des gestes pour stimuler la perception des quantités et des symboles mathématiques. Une diminution de l'AM et une amélioration de la capacité à compter à rebours, à lire et écrire les chiffres, à effectuer des opérations arithmétiques ainsi qu'à résoudre des problèmes mathématiques ont été observées. Il y a également eu une amélioration légère de la mémoire de travail verbale. Malgré les progrès dans les domaines ciblés par la formation, les enfants avaient toujours des difficultés en calcul, en mémoire de travail, en comparaisons orales et écrites et en estimation contextuelle (participants correspondant au profil de trouble d'apprentissage des mathématiques secondaire).

A propos des activités ludiques, Alanazi (2020) propose les activités récréatives. Selon Salmon et al. (2019), les activités récréatives physiquement actives contribuent positivement à la santé physique, sociale et cognitive en améliorant entre autres, l'estime de soi. Pour la création de jeux récréatifs, plusieurs aspects ont été pris en compte tels que la compétition, le défi, la rétroaction, l'incertitude, les objectifs, la fantaisie, le contrôle de l'apprenant, la coopération, l'interactivité, la flexibilité et l'équité (Burguillo, 2010 ; Chizary & Farhangi, 2017 ; Zosh et al., 2017 ; cités par Alanazi, 2020). Par ailleurs, Rodriguez et al. (2019) citent Koelsch et Siebel (2005), qui ont mis en lumière le fait que l'apprentissage de la musique engendre un impact sur la cognition, car il mobilise des processus mentaux complexes tels que l'analyse des caractéristiques sonores, la rétention de mémoire auditive, la transformation des relations de tonalité, la structuration syntaxique et sémantique de la musique, ainsi que la mobilisation et la représentation des actions. De plus, l'interaction avec la musique éveille des émotions qui stimulent les sensations personnelles, influencent les systèmes nerveux autonome et hormonal, et ont un impact sur le système immunitaire, procurant ainsi une sensation de bien-être (Koelsch & Siebel, 2005).

3.1.4. Stratégies métacognitives

L'étude de Kramarski et al. (2009) porte sur l'apprentissage autorégulé. Dans cette étude, 140 élèves israéliens de troisième année (environ huit ans) issus de quatre classes de deux écoles différentes ont participé à l'étude. Le groupe expérimental (deux classes d'une école primaire) a reçu un support métacognitif nommé *Improve* et reposant sur l'introduction de nouveaux concepts, le questionnement métacognitif, la pratique en petits groupes, la vérification ou encore la maîtrise. Quatre principes didactiques étaient soutenus : compréhension (caractéristiques de base de la tâche), connexion (liens avec les connaissances antérieures), stratégie (déclarative, procédurale, conditionnelle) et réflexion (suivi et évaluation). Le groupe contrôle (deux classes d'une autre école primaire) a reçu un enseignement sans support métacognitif. Les groupes étaient hétérogènes en matière de capacité mathématique. Les deux groupes (expérimental et contrôle) ont bénéficié de seize heures d'enseignement (quatre heures par semaine pendant quatre semaines). Le programme portait sur l'addition, la soustraction, la multiplication et la division dans des tâches basiques et complexes. Enfin, les paires participaient à un discours de réflexion en classe sur les solutions et les explications des problèmes. Les élèves qui ont été exposés au questionnement métacognitif, peu performants ou performants, ont eu de meilleurs résultats dans la résolution de problèmes (tâches de

base, complexes et de transfert) comparativement à ceux qui n'ont pas bénéficié du programme. Les élèves du groupe expérimental ont également développé un niveau plus élevé d'utilisation de stratégies métacognitives et ont diminué leur AM (moins de pensées négatives, moins d'évitement, plus de pensées positives envers les mathématiques).

De la même manière, l'enseignement de la stratégie métacognitive *Know-Want-Learn* a été étudié. Dans cette étude, 55 élèves turcs âgés de onze à douze ans ont été répartis dans deux groupes : un groupe avec cette stratégie et un groupe contrôle avec quatre heures de cours par semaine, 40 minutes par leçon (32 heures au total). La stratégie consiste en un brainstorming de la part des élèves sur un sujet sur ce qu'ils savent déjà tandis qu'un professeur transcrit leurs idées sur un tableau. Ensuite, le professeur demande aux élèves ce qu'ils veulent savoir et l'écrit également. Finalement, les élèves rédigent ce qu'ils ont appris et consolident leur apprentissage (Tok, 2013). Cette stratégie a permis de meilleures performances en mathématique ainsi qu'une métacognition supérieure au groupe témoin, mais n'a pas montré de réduction de l'AM, sûrement car la stratégie seule n'a pas été suffisante selon Tok (2013). L'auteur préconise également de réaliser des études comme celles-ci dès le plus jeune âge.

L'étude menée par Lafortune et Mongeau (2002) a investigué l'impact de l'approche philosophique des mathématiques sur l'anxiété de 112 élèves âgés de neuf à douze ans vis-à-vis des mathématiques, à travers 22 rencontres hebdomadaires d'une heure chacune. Huit heures étaient consacrées à la lecture d'un chapitre d'un roman et à la collecte de questions alors que quatorze heures étaient dédiées à des activités philosophico-mathématiques. Les résultats de l'étude ont mis en évidence que l'approche de philosophie pour les enfants adaptée aux mathématiques peut aider les élèves à éviter de développer des attitudes plus négatives envers les mathématiques, puisqu'elles sont réparties sur toute l'année. Cependant, les filles des groupes expérimentaux ont présenté une augmentation significative de leur AM par rapport à celles des groupes témoins. Les entretiens montrent que les filles ressentent et expriment davantage d'anxiété envers les mathématiques que les garçons. Étant donné que l'approche philosophique vise à aider les élèves à prendre conscience de leurs croyances envers les mathématiques, les filles ont possiblement pu être plus touchées que les garçons par cette approche. Ainsi, pour aider les individus de sexe féminin à modifier positivement leurs préjugés envers les mathématiques, les auteurs préconisent des interventions psychopédagogiques associées à cette approche philosophique.

Au niveau des stratégies métacognitives, Kramarski et al. (2009) ont mis en œuvre un modèle basé sur la méthode *Improve* pour améliorer la résolution de problèmes mathématiques, renforcer les stratégies métacognitives et réduire l'anxiété liée aux mathématiques chez les jeunes étudiants. La méthode *Improve* est fondée sur les principes de l'autoapprentissage régulé. Cette méthode concerne la préaction (planifier), la sur-action (surveiller) et la post-action (évaluer). Elle s'appuie sur les théories sociocognitives de l'apprentissage, prenant en compte le dialogue autodirigé mais aussi les aspects sociaux. Ceci intègre l'exécution de tâches et la discussion de groupe (Brown et Campione, 1994 ; cités par Kramarski et al., 2009). Enfin, la stratégie *Know-Want-Learn* repose sur la théorie des schémas (Tok, 2013). Cette stratégie constructiviste a été conçue pour encourager la recherche et l'investigation des élèves (Ogle, 2009 ; cité par Tok, 2013).

3.2. Interventions cognitivo-comportementales

De nombreuses études ont étudié l'effet des stratégies d'adaptation pour gérer les émotions telles que la relaxation musculaire, la méditation, la respiration profonde, la visualisation, la réflexion positive ou encore la résolution de problèmes.

3.2.1. Stratégies d'adaptation

L'étude de Passolunghi et al. (2020) a proposé un entraînement à des enfants âgés de neuf ans et demi en moyenne, consistant en des exercices de respiration, des visualisations d'endroits sûrs ou encore des réévaluations des pensées négatives mathématiques (durant huit semaines avec une session d'une heure par semaine) chez des enfants d'âge scolaire. Les résultats ont montré une diminution des scores d'AM sans augmentation des performances en mathématiques.

Ruff et Boess (2014) ont mené une étude auprès de treize élèves de cinquième grade (environ dix ans). Les douze sessions ont duré six semaines avec deux sessions par semaine. Elles reposaient sur l'identification et l'expression des ressentis, le discours intérieur positif et négatif, la modification des schémas de pensée négatifs, les exercices de réduction du stress, la relaxation, l'autoreprésentation du savoir sur l'aide, la définition d'objectifs, l'acceptation des erreurs, la célébration des succès, les compétences requises en mathématiques, la tenue de journal et l'auto-évaluation. Une partie des étudiants a obtenu une diminution de l'AM et une augmentation de leur compétence mathématique. Les professeurs ont relevé également plus de confiance ainsi que plus de participation en classe de mathématiques.

L'étude de Singh (2016) met en avant 60 étudiants de neuvième standard en Inde (environ quatorze ans). Les élèves ont bénéficié de plusieurs techniques pendant six semaines (réduction du rythme, technique du rire, développement de réponses émotionnelles alternatives au stimulus menaçant et yoga cérébral). A la suite de ces séances, l'AM avait été réduite et les performances mathématiques avaient été augmentées.

Balt et al. (2022) citent plusieurs études ayant des résultats qui diffèrent. Par exemple, l'étude de Collingwood et Dewey (2018) étudie les stratégies d'adaptation, la respiration consciente et l'autorégulation (quatre semaines, trois sessions par semaine de 45 minutes) et montre une augmentation des performances mathématiques, mais pas de réduction de l'AM. Ils citent également l'étude de Kamann et Wong (1993), qui compare des élèves avec difficultés d'apprentissage à des élèves sans ces difficultés en étudiant les stratégies d'adaptation (pendant six semaines avec une session par semaine). Le groupe avec difficultés mathématiques a montré une augmentation du discours intérieur positif, par rapport au groupe sans difficulté, indiquant une meilleure adaptation à l'AM.

Les stratégies cognitivo-comportementales pourraient également être efficaces sur une très courte durée. Sheffield et Hunt (2006) ont développé une brève intervention comportementale combinée à une intervention systématique. L'étude comportait 154 participants âgés de dix à onze ans des Etats-Unis. Les élèves pratiquaient la respiration relaxante, l'utilisation de l'image, la désensibilisation *in situ* (problèmes mathématiques de plus en plus difficiles combinés à une respiration relaxante). Ces techniques ont été proposées lors d'une session d'une heure puis ont été pratiquées à la maison. Les performances mathématiques se sont significativement améliorées sur une tâche arithmétique simple et l'AM a significativement diminué à une semaine et à cinq semaines à distance de l'intervention. Les auteurs postulent qu'une intervention brève suffit pour diminuer l'AM.

Au niveau des stratégies d'adaptation, dans leur étude, Passolunghi et al. (2020) choisissent différentes activités sans énoncer de modèle théorique particulier. Les deux premières séances reposent sur la connaissance et la reconnaissance des émotions via des activités ludiques (dessiner la météo intérieure, indiquer les changements corporels en cas de colère ou encore lire des histoires d'émotions). Les deux sessions suivantes concernent l'importance des mathématiques dans la vie quotidienne ainsi que l'effet de cette matière scolaire sur les émotions (discuter de ce que serait le monde sans les chiffres, discuter des sentiments d'un personnage d'une nouvelle, dire pourquoi on aime ou pourquoi on n'aime pas les mathématiques). Les trois séances suivantes impliquent les stratégies en elles-mêmes : respiration, visualisation d'endroit sûr, transformation d'émotions. Celle-ci repose, entre autres, sur le travail de Di Pietro (2014) exposant des conseils et des activités sur la reconnaissance des sentiments, notamment la colère et la tristesse. La dernière session comporte une synthèse des séances. L'étude de Ruff et Boess (2014) repose sur les mêmes concepts. Ils ajoutent cependant le discours intérieur positif et négatif, l'autoreprésentation du savoir sur l'aide, la définition d'objectifs, l'acceptation des erreurs, la célébration des succès, les compétences requises en mathématiques, la tenue de journal et l'auto-évaluation. Les techniques utilisées dans l'article de Singh (2016) diffèrent. Tout d'abord, le « Super Brain Yoga » est une technique réinventée, simple, efficace et scientifiquement validée pour dynamiser le cerveau. Elle est basée sur les principes de l'acupuncture de l'oreille. Les autres techniques sont la réduction du taux respiratoire, la technique du rire et le développement de réponses émotionnelles alternatives au stimulus menaçant. Toutes ces techniques citées par Singh (2016) ont été développées par Ganesan (2008, 2008, 2012). En fin de compte, Sheffield et Hunt (2006) ont introduit une désensibilisation systématique unique d'une heure, dérivée du programme de modification cognitive de Meichenbaum (1972), cité par Sheffield et Hunt (2006). Cette méthode implique plusieurs éléments, notamment la pratique de la respiration diaphragmatique pour la relaxation, l'utilisation de l'imagerie mentale pour réduire l'anxiété, ainsi que la désensibilisation *in situ*. La désensibilisation *in situ* consiste en une exposition progressive à des problèmes de plus en plus complexes, tout en combinant cette exposition avec la pratique de la respiration relaxante.

3.2.2. L'écriture expressive

L'écriture expressive est une intervention où les individus écrivent sur des expériences personnelles et bouleversantes pendant quinze à vingt minutes chaque jour pendant plusieurs jours (Hines et al., 2016). Dans l'étude de ces auteurs, ils ont exploré les effets de l'écriture expressive auprès de 93 participants âgés de quatorze à dix-neuf ans. Le groupe expérimental écrivait sur leurs sentiments au sujet des mathématiques, des tests et de l'école alors que le groupe témoin écrivait sur des sujets neutres durant 15 à 30 minutes par jour pendant trois jours. Cette intervention a réduit l'anxiété générale et l'AM pour le groupe expérimental. Le groupe témoin a aussi eu une réduction de l'AM, ce qui suggère qu'une anxiété pouvait être libérée même en écrivant sur des sujets neutres.

Dans leur étude, Park et al. (2014) permettaient sept minutes d'écriture pour un groupe expérimental tandis que le groupe contrôle restait assis avant de participer à une tâche de mathématiques et de mots imposant la mémoire de travail. Les participants étaient 80 étudiants des

Etats-Unis, faiblement ou hautement anxieux en mathématique, répartis en deux sous-groupes. Les individus fortement anxieux en mathématique du groupe témoin ont obtenu des résultats moins bons que ceux peu anxieux en mathématiques du groupe témoin. Dans le groupe avec les activités d'écriture expressive, la différence de performance entre les deux sous-groupes a été significativement réduite. Les auteurs postulent que l'écriture expressive permet d'éviter les ruminations mentales et favoriserait ainsi la mémoire de travail.

A l'inverse l'étude de Ruark (2021) faisait intervenir des groupes de 40 étudiants des Etats-Unis (cinquième et quatrième en France), sur de l'écriture expressive sur les devoirs mathématiques et les sentiments, tous les jours au moins une minute durant deux semaines. Il n'y a pas eu de réduction de l'AM. Les auteurs postulent que les effets de l'expression écrite peuvent être différents chez les adolescents, puisque ces résultats contredisent la littérature.

Au niveau de l'écriture expressive, les différentes études indiquent qu'il s'agit d'écrire, librement, pendant un certain temps à propos de ses émotions (Park et al., 2014 ; Hines et al., 2016 ; Ruark, 2021). Elle permet de réduire les pensées négatives et les ruminations chez les sujets anxieux (Park et al., 2014).

3.3. Modifications environnementales

La mise en place de modifications de l'environnement pour les personnes anxieuses mathématiques est une stratégie qui a été étudiée dans divers aspects.

3.3.1. Modification des supports

Dans leur étude, Tok et al. (2015) ont testé l'effet de l'enseignement créatif des mathématiques auprès de 42 élèves turcs de sixième année (onze et douze ans). Les élèves du groupe contrôle ont bénéficié d'un total de 24 heures d'enseignement créatif (quatre heures par semaine). Les techniques créatives consistaient en techniques d'analogie, d'origami, de tangrams, des histoires et d'activités de manipulation de cure-dents. Les résultats ont montré que les élèves du groupe expérimental ont obtenu des scores significativement plus élevés en mathématiques que ceux du groupe témoin. De plus, les élèves du groupe expérimental ont amélioré leurs attitudes envers les mathématiques et ont réduit leur AM par rapport aux élèves du groupe témoin. Ces résultats suggèrent que l'enseignement des mathématiques de manière créative peut être bénéfique pour les élèves en matière de réussite scolaire, d'attitudes positives envers les mathématiques et de réduction de l'AM.

3.3.2. Situation de succès

Dans leur étude, Jansen et al. (2013) ont utilisé un programme informatique adaptatif appelé *Math Garden* pour adapter la difficulté des problèmes mathématiques en fonction des capacités individuelles de chaque élève (207 élèves de huit à treize ans des Pays-Bas). Les élèves ayant des succès en mathématiques avaient de meilleures performances et jouaient davantage. Les deux groupes ont vu une diminution de leur AM. Les résultats de l'étude soulignent l'importance d'adapter la difficulté des problèmes mathématiques aux capacités individuelles afin de garantir succès et attitudes positives envers les mathématiques.

3.3.3. Classe inversée

La classe inversée consiste à donner les éléments théoriques en distanciel afin de laisser plus de temps pour les interactions en présentiel. Dans leur étude, Segumpan et Tan (2018) ont étudié l'effet de la classe inversée sur l'AM auprès d'élèves de douze et treize ans des Etats-Unis. Les performances en mathématiques des élèves ayant suivi une méthode de classe inversée sont similaires à celles de la classe non inversée. En ce qui concerne l'anxiété liée aux mathématiques, les deux groupes d'élèves ont commencé et terminé avec un niveau d'anxiété modéré, mais les élèves ayant suivi la méthode de classe inversée ont enregistré une réduction significative de leur anxiété, qui était même nettement inférieure à celle des élèves ayant suivi la méthode de classe traditionnelle.

3.3.4. Implication des parents

L'implication des parents est importante à prendre en compte. Effectivement, elle peut être un atout en rééducation orthophonique. Dans le cadre d'une expérience portant sur 587 familles (enfant du début d'école primaire et son parent), Berkowitz et al. (2015) ont invité les familles à participer à une activité d'histoire mathématique (courts problèmes numériques présentés sous forme d'histoires via l'application *Bedtime Math* sur iPad). Cette activité utilisée hebdomadairement a considérablement amélioré les résultats en mathématiques des enfants tout au long de l'année scolaire par rapport à un groupe de lecture (témoin), en particulier pour les enfants dont les parents sont habituellement inquiets à l'égard des mathématiques.

Pour les modifications environnementales, nous retiendrons que l'enseignement créatif avec du matériel diversifié (Tok et al., 2015) et l'importance de mettre l'enfant dans des situations de succès (Jansen et al, 2013) sont des pratiques permettant d'agir sur l'AM et sont également utilisables en orthophonie. La participation aux activités mathématiques comme étudiée par Berkowitz et al. (2015) peut également correspondre à ce qui est possible en partenariat parental en orthophonie.

4. Buts et hypothèses du mémoire

Les résultats de l'enquête du mémoire de Larrigade (2022) révèlent que 28,6% des orthophonistes mettent en place des techniques, au sein de leur cabinet, afin de réduire l'AM de leurs patients. Néanmoins, l'ensemble des répondants indiquent ne pas avoir connaissance d'un outil spécifique permettant de diminuer cette anxiété.

La littérature scientifique nous informe que l'AM a une influence néfaste sur les performances mathématiques. Les études sur les interventions pour réduire cette anxiété sont assez nombreuses et montrent des résultats significatifs. Les interventions peuvent également permettre d'augmenter les performances mathématiques.

Il existe de nombreux moyens pouvant réduire l'AM. D'abord, un entraînement spécifique et intensif aux mathématiques peut permettre la diminution de l'AM, en plus d'augmenter les performances (Supekar et al., 2015 ; Passolunghi et al., 2020). Ensuite, intégrer les mathématiques dans les jeux numériques peut également être bénéfique, car ils permettent de diminuer l'AM

(Rauscher et al., 2017 ; Huang et al., 2014 ; Vanbecelaere et al., 2021 ; Verkijika et De Wet, 2015). Par ailleurs, des interventions ludiques avec des mouvements corporels et/ ou vocaux ont également contribué à une diminution de cette anxiété (Alanazi, 2020., Rodriguez et al., 2019). Les résultats des études sur les stratégies métacognitives sont hétérogènes. Le support métacognitif *Improve* de Kramarski et al. (2009) a des résultats intéressants : le développement de stratégies métacognitives a un effet positif sur l'AM. Les stratégies adaptatives (des exercices de respiration, des visualisations, des modifications de schéma de pensées, du yoga, etc.) ont un retentissement positif sur l'AM (Passolunghi et al., 2020 ; Ruff et Boess, 2014 ; Singh, 2016) et peuvent avoir un effet très rapidement : dès une semaine d'après Sheffield et Hunt (2006). L'écriture expressive permet de diminuer l'AM. Hines et al. (2016) postulent que : « l'anxiété peut être libérée seulement en écrivant ». Park et al. (2014) prétendent que cette activité permet de favoriser la mémoire de travail. Finalement, les modifications de l'environnement sont intéressantes. L'enseignement créatif (origamis, tangrams, etc.) permet d'augmenter les performances et d'atténuer l'AM (Tok et al., 2015). Adapter la difficulté pour garantir des succès (Jansen et al., 2013), permettre plus de temps pour les interactions en classe (Segumpan et Tan., 2018) et inviter les parents à participer à des activités mathématiques avec leurs enfants (Berkowitz et al., 2015) sont des stratégies qui ont eu pour résultat de diminuer l'AM.

Le but de notre étude est donc d'offrir aux orthophonistes un protocole d'entraînement à la réduction de l'AM, utilisable en cabinet. Ce protocole permettrait de réduire l'AM et donc de délivrer aux enfants souffrant de TAM un environnement plus adéquat à leur apprentissage. De plus, il pourrait également améliorer leurs performances en mathématiques.

Méthode

1. Description du protocole

Nous présenterons dans les paragraphes qui suivent un protocole reposant sur les éléments pertinents issus de la littérature et relevés au sein de ce mémoire. Nous définirons la population ciblée, les items utilisés et nous présenterons la mise en page. Ce protocole fera ensuite l'objet d'études ultérieures afin d'objectiver son intérêt.

1.1. Sélection des articles

Nous avons décidé d'isoler certaines recherches qui nous semblent particulièrement adaptées pour l'orthophonie. Ainsi, nous avons choisi de construire nos propres problèmes à partir des données de la littérature et de les adapter afin qu'ils soient réalisables en séance d'orthophonie.

En outre, les stratégies d'adaptation s'avérant utiles, nous avons choisi les exercices rapides de détente d'Isimat-Mirin (2022), qui ne sont pas exposés dans la partie théorique.

Tableau 1. Tableau récapitulatif des articles utilisés pour l'élaboration du protocole.

Article	Intervention	Population	Effets
Supekar et al. (2015)	Entraînements intensifs des mathématiques	28 enfants (7 à 9 ans)	- Diminution de l'AM - Augmentation des performances

Article	Intervention	Population	Effets
Passolunghi et al. (2020)	Entraînements intensifs des mathématiques	76 enfants âgés de neuf ans et demi, en moyenne	- Diminution de l'AM - Augmentation des performances
Vanbecelaere et al. (2021)	Jeu numérique (version adaptative et version non adaptative)	84 enfants (6 ans)	- Diminution de l'AM pour les deux groupes - Augmentation des performances pour les deux groupes - Version non adaptative plus bénéfique pour les enfants avec de faibles performances de base
Verkijika et De Wet (2015)	Jeu numérique (appareil de neurofeedback)	36 enfants (10 à 16 ans)	- Diminution de l'AM - Amélioration de la confiance des élèves envers les mathématiques
Alanazi (2020)	Intervention ludique (jeux récréatifs)	60 enfants (6 ans)	- Diminution de l'AM - Augmentation des performances
Kramarski et al. (2009)	Stratégie métacognitive (<i>Improve</i>)	140 enfants (huit ans)	- Diminution de l'AM - Meilleures performances en résolutions de problème - Davantage d'utilisations de stratégies métacognitives
Park et al. (2014)	Ecriture expressive	80 étudiants (Université)	- Réduction de l'AM (évitement des ruminations mentales et favorisation de la mémoire de travail)
Jansen et al. (2013)	Situation de succès	207 enfants (8 à 13 ans)	- Réduction de l'AM - Augmentation de la perception de la compétence mathématique - Augmentation des performances mathématiques
Berkowitz et al. (2015)	Implication des parents	587 familles (enfants de 6 ans)	- Amélioration des performances mathématiques pour tous, d'autant plus pour ceux dont les parents sont inquiets à l'égard des mathématiques

1.2. Population ciblée

Nous ciblerons une population d'enfants d'école élémentaire présentant un TAM et une AM. Le diagnostic de trouble des apprentissages mathématiques doit être posé, et l'AM doit être objectivée (voir la section 2. Lignes de base).

Les principaux acquis mathématiques concernant la passation du protocole sont les habiletés numériques de base (tâches de comparaison et d'estimation sur une ligne numérique allant de 0 à

18), les additions et les soustractions, avec des opérands allant de 0 à 18, les problèmes additifs et soustractifs avec des opérands allant de 0 à 280.

Notre protocole est tout à fait adaptable. En fonction du niveau du patient, l'orthophoniste peut, par exemple, changer les numérosités qui sont proposées.

1.3. Importance de la motivation

Pour mettre en œuvre le protocole, nous prendrons en compte les éléments liés à la motivation. Selon Lieury et Léger (2020), la motivation découle de besoins fondamentaux tels que le besoin de se sentir compétent - de bons résultats renforcent la motivation tandis que de mauvais résultats ne la renforcent pas - et le besoin d'autodétermination, c'est-à-dire ne pas se sentir contraint. Ces deux éléments sont le produit de la motivation intrinsèque.

La situation de jeu, en plus de favoriser la coopération, de permettre l'intégration des informations par l'établissement de liens, d'aider à la structuration des connaissances et de développer la résolution de problèmes, favorise également la motivation à l'apprentissage en soutenant positivement l'estime de soi, la confiance en soi, l'engagement, le désir de persévérer et d'accomplir une tâche (Sauvé et al., 2017).

Nous nous efforcerons donc de créer un matériel divertissant permettant les succès.

1.3.1. Etat des lieux du matériel existant

Notre matériel comporte plusieurs mots clés : réduction de l'AM, protocole d'entraînement, augmentation des performances mathématiques, TAM, dyscalculie.

Nous avons réalisé une recherche sur *Google* afin de savoir si un matériel regroupant nos mots clés avait déjà été proposé. Nous avons constaté qu'aucun matériel validé de ce type n'est disponible pour les orthophonistes.

1.3.2. Contenu

Notre matériel est construit afin d'apporter un entraînement basé sur les éléments issus de la littérature scientifique pour réduire l'AM. Il est organisé pour proposer une base de huit séances de travail avec des exercices à la maison.

Le protocole est composé des éléments suivants :

- Un livret d'entraînement (protocole) contenant les exercices (cf. annexe 4).
- Une fiche adressée aux orthophonistes, composée de conseils pour veiller au bon déroulement du protocole ainsi que des échelles d'AM permettant une analyse de l'effet du traitement (cf. annexe 5).
- Un livret de partenariat parental, composé de courtes histoires et de questions mathématiques à la complexité croissante : « L'aventurier des maths » (cf. annexe 6).

Au niveau du matériel, nous ajoutons qu'une enveloppe vide et des billes seront nécessaires. A l'avenir, le protocole pourra être associé avec certains enfants à un dispositif BCI (brain computer interface) à faible coût afin d'avoir un feedback sur l'AM (Verkijika & De Wet, 2015).

1.3.3. Durée de passation

Les séances d'orthophonie durant 30 minutes, nous avons la volonté de proposer un

protocole rapide et évolutif. Le protocole a été conçu de manière à durer quatre heures : 8 fois 30 minutes. La durée effective du protocole est de 25 minutes, ce qui inclut cinq exercices, chacun d'entre eux prenant cinq minutes. Nous prévoyons également cinq minutes de battement pour permettre une transition en douceur ou pour permettre des ajustements lors de la passation.

Nous proposons également aux parents d'entraîner les compétences de leur enfant par le biais d'un exercice sur ordinateur et d'un livret d'histoires. Ces deux exercices sont volontairement rapides et faciles à exécuter.

1.3.4. Progression du protocole

La complexité des exercices augmente progressivement, ce qui se révèle particulièrement bénéfique pour les enfants ayant des bases mathématiques fragiles, comme le suggère l'étude de Vanbecelaere et al. (2021).

1.4. Elaboration formelle du protocole

Nous présenterons dans les paragraphes qui suivent les méthodes de réalisation d'un protocole de 90 pages, accompagnées de celles d'un livret de courtes histoires avec problèmes mathématiques de 10 pages.

1.4.1. Choix du titre

Pour le titre, nous avons choisi « Explorons les maths sans pression ». Dans ce protocole, les enfants pourront être considérés comme des explorateurs (d'où « explorons »). Nos activités ont pour but de diminuer l'AM (d'où « les maths sans pression »).

Enfin, pour le livret de courtes histoires avec problèmes mathématiques, nous avons opté pour le titre « L'aventurier des maths ». Dans ce livret, quelques histoires sont présentées sur des animaux aventuriers, suivies de leurs trois questions de complexité croissante.

1.4.2. Support

Nous avons décidé de présenter notre protocole sous la forme de documents PDF. Le protocole est proposé en entier, c'est-à-dire qu'il se compose des huit semaines, avec explication ou rappel des consignes. Le livret d'histoires courtes est également sous la forme d'un document PDF et regroupe les huit histoires accompagnées de leurs questions.

Nous avons également proposé un document PDF destiné à l'orthophoniste pour le déroulement du protocole et pour la passation et l'analyse des lignes de base.

1.4.3. Design du protocole

Le design du protocole a été réalisé à l'aide de l'outil graphique en ligne *Canva*. Le but est d'apporter un environnement graphique attrayant, surtout pour les exercices basés sur le jeu. Pour ce faire, nous avons également choisi d'inclure un scénario amusant où le patient devient un explorateur.

2. Lignes de base

Dans le cadre de notre protocole, évaluer à la fois l'AM et les performances en mathématiques est essentiel. Dans cette partie, nous allons détailler la méthodologie permettant de mesurer ces deux aspects fondamentaux.

2.1. Echelles mesurant l'anxiété mathématique

Dans cette partie, nous détaillerons les différentes échelles mesurant l'anxiété mathématique ainsi que celles que nous avons choisies pour notre protocole.

2.1.1. Les échelles d'anxiété mathématique dans la littérature

De nombreux outils de mesure de l'AM existent chez les adultes tels que l'AMAS (Abbreviated Math Anxiety Scale) de Hopko et al. (2003) ou la MARS (Math Anxiety Rating Scale) de Richardson et Suinn (1972). Chez les enfants, plusieurs outils de mesure de l'AM ont été développés tels que le CMAQ (Children's Math Anxiety Questionnaire) de Ramirez et al. (2013) ou la SEMA (Scale for Early Mathematics Anxiety) de Wu et al. (2012), qui concernent des enfants plus jeunes. Plus récemment, Vilette (2017) a proposé l'EVAM 6-9 (Echelle d'Evaluation de l'Anxiété Mathématique), échelle adaptée à partir de l'échelle CMAQ. Ensuite, Carey et al. (2017) ont modifié l'AMAS de Hopko et al. (2003), une échelle fiable et valide, en l'adaptant pour les enfants britanniques. Ils ont donc développé la mAMAS (Modified Abbreviated Math Anxiety Scale), pour les enfants de huit à treize ans. L'AMAS a été également utilisée pour développer une nouvelle échelle, l'EE-AMAS (Early Elementary School Students – Abbreviated Math Anxiety Scale), réalisée par Primi et al. en 2020 pour les élèves de cinq à sept ans. La SAM (Self Assessment Manikin) est une échelle picturale simple, rapide et peu coûteuse (Bradley & Lang, 1994).

Dans notre revue de littérature, nous pouvons constater que certains questionnaires sont spécifiques à certains pays, mais aussi que nous retrouvons souvent des outils connus tels que des adaptations de l'AMAS (Abbreviated Math Anxiety Scale) de Hopko et al. (2023) ou encore tels que la MASC (The Math Anxiety Scale for Children) de Chiu et Henry (1990).

2.1.2. Sélection des échelles mathématiques pour le protocole

Pour mesurer l'efficacité du traitement, il conviendra de mesurer l'AM, avant et après le test de performances mathématiques et la passation du protocole. Pour cela, nous nous servirons de trois échelles d'AM. La première est l'adaptation française de la version modifiée de l'AMAS pour les 5-7 ans (EE-AMAS, Primi et al., 2020). Cette échelle d'anxiété est une échelle abrégée pour les élèves du début de l'école primaire. La seconde est l'adaptation française de la version modifiée et abrégée de l'AMAS pour les 8-13 ans (Mamas, Carey et al., 2017). La dernière échelle est la SAM (Bradley & Lang, 1994). Ces outils permettent de couvrir une large tranche d'âge. Ces documents sont présentés dans la fiche de l'orthophoniste pour la passation du protocole. Ces trois questionnaires sont disponibles en annexe (annexe 1, annexe 2 et annexe 3).

2.2. Tests de performance mathématiques

Dans cette partie, nous détaillerons le choix des tests en fonction de leur utilisation.

2.2.1. Outils de diagnostic de TAM

Pour établir un diagnostic de trouble des apprentissages mathématiques, les outils utilisés en orthophonie sont standardisés. Les tests spécifiques évaluent de manière précise les compétences mathématiques. Parmi eux, nous retrouvons, entre autres, le *Tedi-Maths* (Van Nieuwenhoven et al., 2001) le *Tedi-Maths Grands* (Noël et Grégoire, 2015), *Examaths 5-8* (Lafay et Helloin, 2021) et

2.2.2. Evaluation des compétences mathématiques en prétest et post-test

Dans les articles étudiés dans notre partie théorique, la plupart des évaluations sur les connaissances mathématiques concernent les acquis scolaires.

Pour mesurer l'efficacité d'un protocole de diminution de l'AM sur les performances mathématiques sur une courte durée, nous avons choisi de nous baser sur un test accessible et tout-venant. Afin d'avoir un maximum de niveaux, nous avons choisi le Tempo Test Rekenen (TTR) de De Vos (1992), qui couvre une période du CP à la 5^e. Il s'agit d'un outil d'évaluation de la fluence arithmétique pour les quatre opérations.

Résultats

1. Création d'un matériel de rééducation orthophonique

Nous présenterons le protocole de manière détaillée.

1.1. « L'exploration de la détente » : stratégie d'adaptation

Les exercices rapides de détente d'Isimat-Mirin (2022), docteure en didactique et enseignante ayant une formation de psychorelaxologue, ont pour objectifs d'amener le calme chez les enfants, de vaincre le stress et de se concentrer. Ces exercices ont initialement été proposés pour leur utilisation en classe, notamment pour les élèves hyperactifs.

Nous avons intitulé ce premier exercice de cinq minutes : « L'exploration de la détente ». Nous avons indiqué dans le protocole : « Tu peux prendre un temps pour être calme et concentré(e). Tu seras prêt(e) pour commencer tes missions ! ».

Ainsi, nous avons créé huit fiches d'utilisation de ces techniques de détente avec un type d'exercice différent par semaine afin de les varier.

Tableau 2. Exercices proposés dans « L'exploration du de la détente » (d'après Isimat Mirin, 2022).

Semaine	But	Consigne
1 (« Je lâche »)	Être plus réceptif, plus calme, relâcher les tensions, soulager la fatigue nerveuse et apprendre à souffler	« Inspiration par le nez torse bombé, en ouvrant les épaules et en redressant le corps. Expiration en soufflant fort par la bouche et en relâchant la tête et les épaules vers l'avant ».
2 (« Je respire donc je suis »)	Pause, recentrage, détente, oxygénation, concentration par auto-observation	« Assis, dos droit. Bâiller, le corps relâché. Observer son souffle, comment et où bouger son corps ».
3 (« Respiration du ballon »)	Détente, recentrage et concentration via l'auto-observation	« Assis, dos droit, bâiller, le corps relâché, observer son souffle, comment et où bouger son corps... Imaginer son ventre comme étant un ballon de baudruche, mains sur le ventre... ».

Semaine	But	Consigne
4 (« La poupée de chiffon »)	Calme, repos, détente globale du corps, prise de conscience de soi et de son schéma corporel	« Sur la chaise, dos droit. Se détendre avec un grand soupir. Relâcher toutes les parties du corps, une à une ».
5 (« Je serre les poings »)	Vaincre le stress, concentration, relâchement musculaire	« 1. Serrer un poing fort, ouvrir la main, serrer, relâcher... 2. Tendre un bras au-dessus de la table, fermer le poing, sentir le bras se raidir. 3. Observer son bras se relâcher... Faire pareil avec la jambe ».
6 (« Les coquilles »)	Calme, vaincre le stress, concentration, prévenir ou alléger la fatigue des yeux avant une activité	« Assis, yeux ouverts. Se frotter les mains jusqu'à ce qu'elles soient chaudes. Poser les coudes puis mettre les paumes de main en forme de coquillage sur les yeux en gardant les yeux ouverts. Sentir la chaleur de la main droite se poser sur l'œil droit et vice-versa. Respiration profonde pendant 1 ou 2 min, possibilité de bouger les yeux ».
7 (« Les pieds sur terre »)	Calme, se recentrer, concentration sur l'objet d'apprentissage	« Poser les pieds à plat au sol. Observer intérieurement, les yeux fermés, le pied gauche en contact avec le sol. Puis observer le pied droit. Puis observer les deux ».
8 (« La tête dans les nuages »)	Développement de l'imaginaire, créativité, faire une pause, détente physique et mentale, concentration volontaire, relaxation et visualisation	« Assis, les yeux fermés. Bâiller, se lâcher sur la chaise avec un grand soupir, dos droit. Respirer tranquillement puis laisser libre cours à son imagination (penser à quelqu'un/ un lieu/ quelque chose qu'on aime et imaginer une situation (parler à la personne, voir les couleurs, voir le lieu). Mettre les images dans un coin de la tête et penser à sa respiration, se redresser sur sa chaise, bomber le torse, bouger un à un les membres du corps doucement, prendre conscience des bruits dans la pièce, bâiller en s'étirant puis ouvrir les yeux. Partage d'expérience possible ».

1.2. « L'exploration des émotions » : écriture expressive

Pour l'exercice d'écriture, nous avons adapté la consigne donnée par Park et al. (2014) dans leur protocole. Il est possible d'utiliser une enveloppe que le patient peut fermer afin de garder sa production écrite secrète.

Nous avons intitulé ce second exercice de cinq minutes : « L'exploration des émotions ». Nous avons indiqué dans le protocole : « Maintenant, tu peux explorer tes émotions vis-à-vis des mathématiques ». Il s'agit du même exercice pour les huit séances.

Finalement, la consigne conçue a été la suivante : « Pendant cinq minutes, prends un

moment pour écrire ce que tu ressens à propos des maths. Tu peux dire tout ce que tu penses, même si c'est difficile ou étrange. Tu peux te rappeler des moments à l'école ou ailleurs où les maths t'ont fait sentir quelque chose de spécial ».

1.3. « L'exploration des mathématiques », « L'exploration des stratégies mathématiques » et « L'exploration des billes d'états émotionnels » : entraînements spécifiques aux mathématiques et interventions ludiques

Nous avons conservé de nombreux éléments du protocole de Supekar et al. (2015) tels que les additions et les soustractions simples, les concepts de commutativité de l'addition et de propriété du 0, les stratégies additives et soustractives ainsi que la complexification des problèmes (avec un résultat égal à cinq puis un résultat inférieur ou égal à dix-huit). Enfin, nous avons choisi de garder le jeu en ligne proposé par les auteurs *mathbingo*, disponible gratuitement en ligne. Ce jeu pourra être proposé en partenariat parental, c'est-à-dire en dehors des séances d'entraînement au cabinet (au moins un bingo dans la semaine).

Chaque fiche d'additions ou soustractions dure cinq minutes. Nous avons créé six opérations pour les semaines avec additions linéaires et quatre pour celles avec problèmes. Pour ces derniers, nous avons imaginé des billes d'états émotionnels, en lien avec la thématique de la sérénité.

Ainsi, les semaines une et deux font partie de la mission : « L'exploration des mathématiques », dans laquelle, il est indiqué au patient : « Tu peux explorer les additions et les soustractions et découvrir leurs mystères. Elles n'auront plus de secrets pour toi ! ». Ensuite, les semaines trois et quatre font partie de la mission : « L'exploration des stratégies mathématiques », dans laquelle il est indiqué au patient : « Maintenant, tu peux utiliser les stratégies expliquées. Elles t'aideront à maîtriser encore mieux les additions et les soustractions ! ». Enfin, les dernières semaines, c'est-à-dire les semaines cinq, six, sept et huit font partie de la mission « L'exploration des billes d'états émotionnels », dans laquelle il est indiqué : « Tu peux compter le nombre de billes gagnées au cours de ta journée ». Pour ces dernières missions, nous avons ajouté la possibilité de tourner les problèmes en jeux récréationnels, c'est-à-dire d'utiliser de vraies billes en lisant les problèmes comme des histoires en mouvement, tel qu'Alanazi (2019) le décrit dans son article.

Tableau 3. Proposition d'exercices pour « L'exploration des mathématiques ».

Semaine	Contenu	Principe mathématique
1	Trois couples d'additions avec résultat inférieur ou égal à 5 (opérandes 1/2/3) <i>Exemple :</i> <ul style="list-style-type: none"> • $1 + 2 = \dots\dots\dots$ • $2 + 1 = \dots\dots\dots$ 	Découverte ou explication par le patient de la commutativité de l'addition (Supekar et al., 2015)
2	Six additions avec un des deux opérandes égaux à 0 et deuxième opérande inférieur ou égal à 6 <i>Exemple :</i> <ul style="list-style-type: none"> • $0 + 1 = \dots\dots\dots$ 	Découverte ou explication par le patient de la propriété du zéro (Supekar et al., 2015)

Tableau 4. Proposition d'exercices pour « L'exploration des stratégies mathématiques ».

Semaine	Contenu	Stratégie mathématique
3	Six additions avec des opérands allant de 1 à 18 <i>Exemple :</i> • $12 + 6 = \dots\dots\dots$	Explication de la stratégie du minimum, dans laquelle le plus grand nombre constitue le premier élément à considérer (Supekar et al., 2015)
4	Soustraction avec des opérands allant de 1 à 18 <i>Exemple :</i> • $15 - 11 = \dots\dots\dots$	Explication de la stratégie d'addition manquante, dans laquelle le plus petit nombre constitue le premier élément à considérer et dans laquelle il faut ensuite compter jusqu'au plus grand nombre (Supekar et al., 2015)

Tableau 5. Proposition d'exercices pour « L'exploration des billes d'états émotionnels ».

Semaine	Contenu
5	4 additions avec résultats égaux à 5, sous forme de problèmes. <i>Exemple :</i> • Tu commences ta journée avec 3 billes de bonheur. Plus tard, tu trouves un magnifique paysage qui t'apporte 2 billes de bonheur en plus. Combien de billes as-tu maintenant ?
6	4 soustractions avec résultats égaux à 5, sous forme de problèmes. <i>Exemple :</i> • Tu commences ta journée avec 7 billes de bonheur. Tu veux donner quelques billes de bonheur à ton ami. Tu lui en donnes 2. Combien de billes te reste-t-il ?
7	4 additions avec résultats égaux ou inférieurs à 18, sous forme de problèmes. <i>Exemple :</i> • Tu commences ta journée avec 14 billes de bonheur. Plus tard, tu trouves un magnifique paysage qui t'apporte 4 billes de bonheur en plus. Combien de billes as-tu maintenant ?
8	4 soustractions avec résultats égaux ou inférieurs à 18, sous forme de problèmes. <i>Exemple :</i> • Tu commences ta journée avec 17 billes de bonheur. Tu veux donner quelques billes de bonheur à ton ami. Tu lui en donnes 7. Combien de billes te reste-t-il ?

1.4. « Prépare-toi pour ton expédition » : apprentissage basé sur le jeu


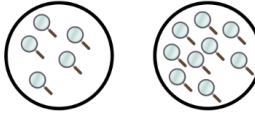


Pour l'apprentissage basé sur le jeu, nous avons décidé de suivre la mécanique du jeu du

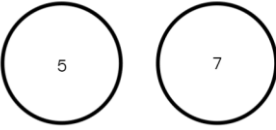
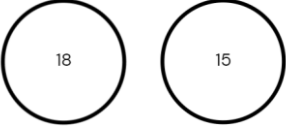

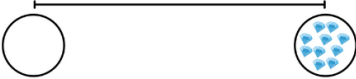
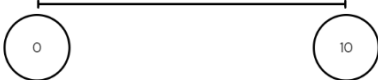
sens du nombre, avec une complexification croissante (non adaptative) comme évoqué dans l'article de Vanbecelaere et al. (2021). Pour rappel, l'approche prédéfinie avec complexité croissante serait plus efficace pour les personnes avec faibles performances de base, comme les patients atteints du TAM.

Pour que le protocole dure huit semaines, nous avons utilisé le matériel symbolique (chiffres arabes) et le matériel non symbolique (dessins d'objets), mais nous n'avons pas utilisé le matériel mixte (symbolique et non symbolique). Chaque exercice dure cinq minutes. Nous avons eu recours aux mêmes numérosités que dans l'article de Vanbecelaere et al. (2021).

Nous avons intitulé ce troisième exercice : « Prépare-toi pour ton expédition », dans lequel il est indiqué au patient pour les semaines une à six : « Tu peux te préparer pour ton expédition. Tu peux prendre le plus d'objets possible ! ». Pour les semaines sept et huit, il est indiqué au patient : « Tu peux déposer ton nombre de perles sur la ligne numérique ».

Tableau 6. Exercices proposés dans « Prépare ton expédition ».

Semaine	Type d'activité	Matériel	Numérosités
1	Comparaison de nombres (3 exercices)	Non symbolique (dessins de jumelles, de boussoles, de chapeaux) <i>Exemple :</i> LEQUEL DES DEUX A LE PLUS GRAND NOMBRE DE JUMELLES ? 	1 à 4
2	Comparaison de nombres (3 exercices)	Non symbolique (dessins de sifflets, de loupes et de gourdes) <i>Exemple :</i> LEQUEL DES DEUX A LE PLUS GRAND NOMBRE DE LOUPES ? 	1 à 9
3	Comparaison de nombres (3 exercices)	Non symbolique (dessins d'étoiles, de diamants et de soleils) <i>Exemple :</i> LEQUEL DES DEUX A LE PLUS GRAND NOMBRE D'ETOILES ? 	5 à 18
4	Comparaison de nombres (3 exercices)	Symbolique (chiffres arabes) <i>Exemple :</i> QUEL EST LE PLUS GRAND NOMBRE ? 	1 à 4

Semaine	Type d'activité	Matériel	Numérosités
5	Comparaison de nombre (3 exercices)	Symbolique (chiffres arabes) <i>Exemple :</i> QUEL EST LE PLUS GRAND NOMBRE ? 	1 à 9
6	Comparaison de nombres (3 exercices)	Symbolique (chiffres arabes) <i>Exemple :</i> QUEL EST LE PLUS GRAND NOMBRE ? 	5 à 18
7	Ligne numérique mentale (3 exercices)	Non symboliques (dessins de perles) <i>Exemple :</i> PLACE :  	0 à 10
8	Ligne numérique mentale (3 exercices)	Symboliques (chiffres arabes) <i>Exemple :</i> PLACE : 5 	0 à 10

1.5. « Explorons les problèmes » : stratégie métacognitive

Pour l'exercice métacognitif, nous avons adopté les principes établis par Kramarski et al. (2009). Nous avons choisi de courts problèmes d'addition et de soustraction, regroupés sous l'intitulé : « Explorons les problèmes ». La mission est : « Tu peux résoudre le problème et devenir un(e) expert(e) ! ». Pour les quatre premières semaines, nous avons eu la volonté de maintenir le même niveau que les exercices dans l'exploration des mathématiques. A partir de la cinquième semaine, nous avons choisi d'utiliser de plus grands opérands afin d'ajouter un peu de difficulté. La sixième semaine est un problème soustractif. La septième semaine est un problème soustractif avec une mesure différente (mètres). Enfin, la huitième semaine est un problème soustractif.

Nous avons procédé de la même façon que Kramarski et al. (2009). D'abord, le patient prend en compte les termes mathématiques et les opérations (il peut les souligner en rouge) ainsi que la question (il peut la souligner en vert). Ensuite, le patient peut indiquer la stratégie qu'il va utiliser pour résoudre le problème, par exemple par le biais d'un tableau, d'un cercle, de flèches, de ligne numérique, etc. Après cela, il peut indiquer la réponse. Enfin, il indique s'il comprend et si la solution trouvée est possible. En revanche, nous n'avons pas utilisé la question de relation.

Tableau 7. Contenus proposés pour « Explorons les problèmes ».

Semaine	Contenu
1	Addition avec les opérandes 3 et 2
2	Addition avec les opérandes 0 et 6
3	Addition avec les opérandes 6 et 12
4	Soustraction avec les opérandes 4 et 2
5	Addition avec les opérandes 96 et 24
6	Soustraction avec les opérandes 20 et 6
7	Soustraction avec une mesure en mètres (opérandes 650 et 280)
8	Soustraction avec les opérandes 56 et 23

2. Création d'un livret de huit courtes histoires avec problèmes mathématiques

Nous avons créé un livret pour le partenariat parental.

2.1. Conception du livret

Nous avons conçu un livret de huit courtes histoires dans lequel chacune d'elles possède trois problèmes mathématiques progressifs. Les histoires ont été créées. Les problèmes ont été inspirés de l'application anglophone *Bedtime Math*, comme utilisée par Berkowitz et al. (2015). Les problèmes sont issus de la rubrique « nature » de l'application. Nous proposons aux parents de lire une histoire par semaine avec leur enfant, avant d'aller dormir. Au préalable, l'orthophoniste pourra identifier si l'enfant n'est pas capable de répondre au-delà d'un certain niveau. Les parents peuvent soutenir les enfants et les accompagner pendant l'activité.

L'histoire est celle d'un ours aventurier qui va rencontrer plusieurs animaux sur son chemin. En fonction de l'âge de l'enfant et de ses préférences, l'histoire peut ne pas être lue. Elle est présente en supplément pour la motivation.

2.2. Type d'exercices

Voici, les différents types de problème par semaine, dans l'ordre de difficulté :

Tableau 8. Exercices proposés dans le livret de partenariat parental, selon la difficulté.

Semaine	Difficulté 1	Difficulté 2	Difficulté 3
1	Comparaison de nombres (2 vs 4)	Comptage de 1 à 11	Problème multiplicatif (4 x plus)
2	Comparaison de nombres (2 vs 4)	Comparaison de poids en kilogrammes (10 kilos vs poids de l'enfant)	Problème multiplicatif (le double de 35)
3	Problème additif avec unité minute (7+1)	Problème soustractif (12-7)	Problème de division (diviser par 2, donner la moitié)

Semaine	Difficulté 1	Difficulté 2	Difficulté 3
4	Comptage de 1 à 8	Problème additif (100+8)	Problème de division (40/2)
5	Trouver un élément pour chaque couleur	Problème additif (1+7)	Problème multiplicatif (7x4)
6	Enoncer une taille plus grande que soi	Problème additif (3+ 2)	Problème additif avec des heures (8 heures 30 + 4 heures 30)
7	Problème additif avec distances en kilomètres (4+1)	Problème additif avec distances en kilomètres (2+3+4)	Problème multiplicatif avec distances en kilomètres (10x24)
8	Trouver trois éléments blancs	Problème additif (6+ 4)	Comptage par pas (tous les « 50 »)

3. Création du document adressé aux orthophonistes

Nous avons créé un document permettant de veiller au bon déroulement du protocole.

3.1. But de la fiche

Cette fiche a pour but de guider l'orthophoniste pour veiller à la correcte mise en place du protocole. Celui-ci rappelle donc l'enjeu du protocole et indique qu'il est primordial de l'adapter à chaque patient selon son profil mathématique.

3.2. Contenu de la fiche

La fiche comprend des observations générales : le matériel supplémentaire nécessaire (billes et enveloppe), le fait de se baser sur les capacités du patient, de ne pas hésiter à lire à haute voix pour le patient, d'offrir de l'aide sans hésitation, de proposer des supports supplémentaires, ou encore de reformuler. Nous ajoutons la priorisation des situations de succès (Jansen et al., 2013) et la possibilité d'orienter le patient vers un bilan psychologique si cela s'avère nécessaire. Ensuite, nous avons détaillé le déroulement de chaque semaine.

Tableau 9. Indications pour la fiche orthophoniste.

Titre de l'activité	Indications
« L'exploration de la détente »	Tout est indiqué dans le protocole. Il est également possible de garder un même exercice plusieurs semaines s'il convient bien au patient.
« L'exploration des émotions »	Préciser à l'enfant que ce qui est écrit lui appartient (en utilisant une enveloppe). Renvoyer chez un spécialiste (psychologue) si cela s'avère nécessaire.

Titre de l'activité	Indications
« L'exploration des mathématiques »	Commencer par laisser le patient comprendre lui-même le principe de commutativité de l'addition (semaine 1) et de la propriété du 0 (semaine 2) en réalisant l'exercice. Si ce n'est pas possible, aider le patient voire lui expliquer.
« L'exploration des stratégies mathématiques »	Expliquer au patient la stratégie du minimum (semaine 3) et la stratégie d'addition manquante (semaine 4).
« L'exploration des billes d'états émotionnels »	Cet exercice doit être combiné à l'utilisation de vraies billes et de l'espace du bureau (se déplacer dans la pièce).
« Prépare-toi pour ton expédition »	Tout est indiqué dans le protocole.
« Explorons les problèmes »	Tout est indiqué dans le protocole.

Quant au livret d'histoires mathématiques, nous avons répertorié dans un tableau les prérequis de chaque problème (cf. tableau 8.). Nous indiquons que l'orthophoniste est libre de choisir les problèmes à proposer, en fonction des capacités du patient. L'orthophoniste précisera également aux parents des patients que la lecture de l'histoire est facultative, et qu'ils peuvent aider leur enfant lors de(s) question(s).

Finalement, nous avons ajouté les échelles d'anxiété mathématiques pour l'analyse et la passation des lignes de base : l'adaptation française de la version modifiée de l'AMAS pour les 5-7 ans (EE-AMAS, Primi et al., 2020), l'adaptation française de la version modifiée et abrégée de l'AMAS pour les 8-13 ans (Mamas, Carey et al., 2017) et la SAM (Bradley & Lang, 1994).

Discussion

Nous analyserons les résultats et mettrons en évidence les contraintes de notre matériel. Ensuite, nous identifierons les opportunités futures et proposerons des voies pour améliorer notre travail.

1. Interprétation des résultats

Les résultats de notre premier état des lieux des matériels existant viennent rendre compte d'un manque d'outils orthophoniques reposant sur l'AM. La littérature scientifique met en évidence que l'AM a une influence néfaste sur les performances mathématiques. Notre volonté a donc été de créer un protocole rapide et évolutif. Celui-ci a pour objectif de délivrer aux enfants de primaire souffrant de trouble d'apprentissage des mathématiques un environnement plus adéquat à leur apprentissage et d'augmenter leurs performances en mathématiques.

Les tâches proposées dans notre matériel ont été choisies en fonction de ce qui est préconisé dans les études démontrant une diminution de l'AM et, parfois, une amélioration des performances mathématiques. Dans ces articles retenus, les âges vont de 6 ans (CP) à plus de 18 ans (étudiants).

Notre matériel a été pensé pour être réalisé sur une durée déterminée de huit semaines avec

des objectifs précis pour chaque exercice, chaque semaine. La passation du protocole dure 25 minutes. Nous avons retenu des programmes d'entraînement de Supekar et al. (2015) et de Passolunghi et al. (2020) que huit semaines de travail étaient bénéfiques pour diminuer l'AM.

De plus, un matériel a été créé pour être réalisé à domicile, en partenariat parental. Celui-ci se déroule également sur une durée de huit semaines. La difficulté de notre entraînement suit une progression croissante. Nous avons proposé des exercices ayant une difficulté accrue prédéfinie. Effectivement, cette progression serait bénéfique pour les enfants avec de faibles connaissances de base en mathématiques (Vanbecelaere et al., 2021).

Notre revue de littérature a mis en avant de nombreuses stratégies d'adaptation telles que la respiration pour la relaxation, la visualisation d'endroit sûr, la reconnaissance des sentiments, l'imagerie mentale, etc. Nous avons choisi d'extraire les exercices de stratégie d'adaptation d'un livre de Isimat-Mirin (2022). Nous avons repris ces exercices, car, selon Isimat-Mirin (2022), l'angoisse, les tensions ainsi que la fatigue physiologique peuvent être apaisées via ces exercices calmes. Chaque exercice a des objectifs particuliers. Il est également possible de ne pas suivre à la lettre le protocole pour cette session et de réitérer un exercice de détente si l'orthophoniste le juge plus adapté. Cette indication est mise en avant dans la fiche pour l'orthophoniste.

Pour l'exercice d'écriture, nous nous sommes basés sur l'étude de Park et al. (2014). Les sept minutes mentionnées dans l'article ont été modifiées pour cinq minutes. Nous avons proposé la même consigne : écrire ses sentiments et ses pensées sur les problèmes mathématiques, et éventuellement relier les pensées actuelles à ce que le patient a ressenti dans des situations similaires. Cependant, celle-ci a été légèrement modifiée pour que le vocabulaire soit accessible aux enfants. Nous avons ajouté que le patient ne sera ni jugé ni évalué sur cette activité. Effectivement, dans l'article de Park et al. (2014), les auteurs mentionnaient qu'il n'y aurait pas d'informations concernant l'identification du patient. Ainsi, nous proposons une enveloppe à caractère confidentiel.

Pour les entraînements spécifiques, nous avons intégré les principes et stratégies mathématiques pour l'addition et la soustraction, évoqués dans l'article de Supekar et al. (2015), ainsi que l'utilisation du jeu en ligne *mathbingo* à domicile. Pour respecter la durée des exercices, nous avons omis certains éléments tels que les cartes mémoires et les fiches de travail. En outre, nous avons enrichi les problèmes impliquant les billes d'états émotionnels en intégrant les stratégies récréatives d'Alanazi (2020). Ainsi, nous nous sommes inspirés des histoires en mouvement via l'exploitation de l'espace et l'usage de réelles billes. Cette indication se trouve dans la fiche pour l'orthophoniste.

Pour l'apprentissage basé sur le jeu, nous avons proposé la comparaison de nombres et l'estimation sur une ligne numérique mentale, via un matériel symbolique et non symbolique. Nos exercices sont sous la forme d'un PDF et non sous celle d'un jeu sur un ordinateur. Les numérosités adoptées sont celles qui ont été adoptées dans l'article de Vanbecelaere et al. (2021), respectant la difficulté croissante. Ces numérosités ont ainsi été appliquées à tout le protocole.

Pour les stratégies métacognitives, nous nous sommes basés sur le modèle *Improve* (Kramarski et al., 2009) pour les additions et les soustractions. Le modèle a été repris comme il est décrit dans la littérature. Nous avons supprimé la question de relation, exposant ce qui est similaire ou différent entre le problème réalisé et le problème précédent. Effectivement, étant donné que nous proposons

un problème par semaine, nous avons jugé cela non pertinent. A partir de la cinquième semaine, nous avons opté pour l'utilisation d'opérandes plus grands afin d'éviter la redondance. Pour rappel, le but est d'offrir une complexité croissante au protocole.

Concernant le partenariat parental, nous nous sommes inspirés de l'application *Bedtime Math*. Elle ne concerne pas exactement l'anxiété des enfants TAM, mais s'adresse plutôt aux enfants dont l'environnement (leurs parents) est inquiet à l'égard des mathématiques. Nos items sont adaptés des items anglais de l'application. Le livret créé est proposé hebdomadairement, comme le préconisent Berkowitz et al. (2015). Les petites histoires (facultatives) ont été inventées comme support à la motivation. Nous pouvons également citer à nouveau le jeu que nous avons préconisé pour les entraînements spécifiques : *mathbingo*.

Une ligne de base est également proposée afin d'évaluer l'efficacité de la thérapie. En effet, il était nécessaire de proposer un outil permettant d'objectiver l'efficacité de l'intervention proposée pour notre matériel. Nous avons sélectionné des outils validés couvrant une tranche d'âge allant de cinq à treize ans : l'adaptation française de la version modifiée de l'AMAS pour les 5-7 ans (EE-AMAS, Primi et al., 2020), l'adaptation française de la version modifiée et abrégée de l'AMAS pour les 8-13 ans (Mamas, Carey et al., 2017) et la SAM (Bradley & Lang, 1994).

2. Limites

2.1. Limites liées à la sélection des articles

La première limite est liée à la sélection des articles. Effectivement, les études sur lesquelles nous nous sommes appuyées proviennent de différents pays, ce qui induit des variations en fonction des cultures, des systèmes scolaires, ou encore des méthodes de mesure des performances mathématiques et de l'AM. Citons, par exemple, l'expérience d'Alanazi (2020), qui se déroule en Arabie Saoudite, ou encore celle de Kramarski et al. (2009) qui se déroule en Israël. Il convient également de noter que la plupart des études portent sur des enfants ordinaires et ne s'appuient pas sur une population présentant un TAM. En revanche, l'étude de Vanbecelaere et al. (2021) met en avant un groupe d'enfants avec de faibles performances de base. Ainsi, nous avons décidé de proposer un protocole avec une complexité croissante et définie.

Nous pouvons ajouter que nous avons intégré au protocole les exercices de stratégie d'adaptation d'Isimat-Mirin (2022), car notre revue de littérature a mis en avant que de nombreuses stratégies, telles que la respiration pour la relaxation, la visualisation d'endroit sûr, la reconnaissance des sentiments ou encore l'imagerie mentale étaient bénéfiques. Cependant, ces exercices n'ont pas été testés sur une population d'enfants anxieux mathématiques.

Les articles sélectionnés l'ont été principalement pour leur adaptabilité aux séances d'orthophonie, mais d'autres options auraient pu être envisagées telles que l'emploi du jeu numérique payant *Calcularis*, ayant démontré des effets bénéfiques sur la population TAM (Rauscher et al., 2017).

2.2. Limites liées à la création du matériel

Ensuite, il y a des limites qui sont inhérentes à la création de notre matériel. La première limite

réside dans le choix de certains exercices issus des articles, tandis que d'autres ont été omis lors de la création de notre protocole. Nos exercices ne sont pas une reproduction, ils sont adaptés et simplifiés. Il est possible que l'effet escompté, c'est-à-dire la diminution de l'AM, soit compromis.

Cette limite peut être associée aux différents niveaux d'âge des participants. Par exemple, dans l'article de Vanbecelaere (2021), les participants sont en CP alors que dans l'article de Park et al. (2014), les participants sont des étudiants. Pourtant, nous proposons un protocole pour les enfants d'école élémentaire, d'environ six à douze ans. Cet élément peut former un biais important.

De plus, des limites sont également observées en ce qui concerne les temps d'entraînement. Le protocole, s'étalant sur une durée de huit semaines avec des séances d'exercices de cinq minutes chacune, a été conçu pour être réalisable en séance d'orthophonie. Toutefois, sa praticabilité ne garantit pas son efficacité. Certes, les articles choisis ont eu un effet positif, mais ils proposaient des temps plus longs ou des programmes plus intensifs. Par exemple, les séances dans l'étude de Supekar et al. (2015) ont été programmées sur huit semaines, mais les leçons étaient nombreuses (22 leçons en tout). Il en est de même pour l'expérience d'Alanazi (2020), qui s'est composée de 24 sessions de 45 minutes pendant deux mois, ou encore pour celle de Vanbecelaere et al. (2021), qui s'est composée de deux sessions de 30 minutes par semaine, pendant au moins trois semaines.

Ensuite, nous avons croisé les résultats de deux expériences, ceux traitant des méthodes d'apprentissage par le jeu (Alanazi, 2020) via les problèmes en mouvements et ceux relatifs aux entraînements mathématiques, via les problèmes (Supekar et al., 2015). Il est légitime de se demander si les effets obtenus diffèrent si les deux stratégies sont combinées.

Dans nos exercices impliquant une participation parentale (livret), nous avons construit des items en fonction de ceux de l'application *Bedtime Math* (Berkowitz et al., 2015). Ceux-ci peuvent ne pas convenir au patient, selon ses capacités, puisqu'ils demandent des compétences particulières, qui ne sont pas entraînées dans le protocole. De plus, le langage utilisé pour les histoires est à l'imparfait et au passé simple, ce qui peut constituer une barrière à la compréhension pour les enfants plus jeunes ou ceux avec troubles d'apprentissage. Lors de la traduction des questions, il peut arriver que certains termes soient traduits de manière moins pertinente, comme l'utilisation du mot « jambe » au lieu de « pattes » pour la comparaison de deux éléments similaires entre l'ours et l'homme. En outre, les questions posées dans le livret nécessitent une adaptation de l'orthophoniste en fonction des capacités et des besoins spécifiques de chaque enfant, afin de garantir une compréhension optimale et un soutien adéquat dans leur apprentissage.

De manière générale, nous n'avons pas pris en compte d'autres facteurs pouvant influencer les performances, tels que les troubles du langage oral ou écrit. Effectivement, il n'y a pas eu de prise en compte des unités psycholinguistiques telles que la longueur des mots, des énoncés, la fréquence lexicale, etc. En définitive, notre étude s'est focalisée sur la population TAM souffrant d'anxiété mathématique, cependant, nous n'avons pas pris en considération d'éventuels troubles associés ou les difficultés existantes dans le cadre d'un TAM secondaire (Fédération Wallonie-Bruxelles, 2018).

La mise en œuvre de ce protocole nécessite une bonne compréhension des forces et faiblesses du patient ainsi qu'une adaptation de la part de l'orthophoniste afin d'ajuster au mieux le traitement. Effectivement, le protocole est général et couvre une large tranche d'âge. Ceci peut constituer une

difficulté pour le professionnel et un travail de réflexion en amont. Nous nous sommes efforcés d'utiliser des consignes claires dans la fiche pour l'orthophoniste afin d'éviter tout effet indésirable.

3. Perspectives et pistes d'amélioration

Tout d'abord, il serait intéressant de tester le protocole sur une population TAM et anxieuse en mathématique. Cette expérimentation pourrait permettre de réajuster les éléments inhérents au protocole tels que les activités, les exercices ou la durée. Il serait possible d'évaluer l'efficacité du protocole sur l'AM d'un côté, et sur les performances mathématiques (via le TTR), de l'autre.

Nous n'avons pas mis en place l'association d'un dispositif BCI (brain computer interface) à faible coût afin d'avoir un feedback sur l'AM, comme expérimenté par Verkijika et De Wet en 2015. Celui-ci pourrait être envisagé à l'avenir.

Finalement, il peut être envisagé de diffuser le protocole sur le site LOLEMATH. Un prochain mémoire testera notre protocole.

Conclusion

Dans le cadre de ce mémoire, nous avons exploré les liens complexes entre l'AM, les performances mathématiques et le trouble des apprentissages mathématiques (TAM). À travers une revue de littérature, nous avons constaté le manque de matériel spécifique adapté à la prise en charge de l'AM par les orthophonistes, malgré son importance dans le contexte clinique.

Par conséquent, nous avons décidé de développer un protocole d'intervention basé sur les données probantes disponibles dans la littérature scientifique. Notre protocole, conçu sur l'outil CANVA et présenté sous forme de document PDF, vise à réduire l'AM chez les enfants d'école primaire présentant un TAM. En plus de ce protocole d'intervention, nous avons également élaboré un document destiné à l'orthophoniste permettant le bon déroulement du protocole ainsi qu'un livret d'histoires destiné au partenariat parental. Reconnaisant l'importance de l'implication des parents dans le processus de réduction de l'AM chez leurs enfants, ce livret offre un support supplémentaire pour renforcer les stratégies et les apprentissages à domicile.

Notre étude s'est déroulée sur une période de huit semaines, avec des séances hebdomadaires de 30 minutes. Cette durée et fréquence ont été choisies pour permettre une immersion progressive dans les exercices proposés avec une difficulté croissante.

En conclusion, notre travail repose sur des interventions basées sur des données probantes, même si la création de notre matériel présente à ce jour certaines limites, nous espérons ouvrir de nouvelles perspectives dans le domaine de l'orthophonie et de la rééducation des troubles des apprentissages mathématiques. Ce protocole et ce livret d'histoires offrent des ressources concrètes pour aider les enfants et leurs familles à surmonter les obstacles liés à l'AM et à progresser vers une meilleure réussite scolaire et une confiance renouvelée dans leurs capacités mathématiques. En encourageant la recherche continue dans ce domaine, nous espérons que notre travail contribuera à l'évolution des pratiques cliniques et à l'amélioration des résultats pour les enfants confrontés à des difficultés en mathématiques. Pour cela, notre protocole pourra être réajusté et testé auprès de population d'enfants avec AM et TAM à l'avenir.

Bibliographie

- Alanazi, H. M. N. (2020). The Effects of Active Recreational Math Games on Math Anxiety and Performance in Primary School Children : An Experimental Study. *Multidisciplinary Journal for Education, Social and Technological Sciences*, 7(1), 89.
- American Psychiatric Association. (2015). *DSM-5-Manuel diagnostique et statistique des troubles mentaux*. Elsevier Masson.
- Ashcraft, M. (2002). Math Anxiety : Personal, Educational, and Cognitive Consequences. *Current Directions in Psychological Science - CURR DIRECTIONS PSYCHOL SCI*, 11, 181-185.
- Balt, M., Börnert-Ringleb, M., & Orbach, L. (2022). Reducing Math Anxiety in School Children : A Systematic Review of Intervention Research. *Frontiers in Education*, 7.
- Barroso, C., Ganley, C.-M., McGraw, A.-L., Geer, E. A., Hart, S.-A., & Daucourt, M. C. (2021). A Meta-analysis of the Relation Between Math Anxiety and Math Achievement. *Psychological bulletin*, 147(2), 134-168.
- Berkowitz, T., Schaeffer, M.-W., Maloney, E.-A., Peterson, L., Gregor, C., Levine, S.-C., & Beilock, S. L. (2015). Math at home adds up to achievement in school. *Science*, 350(6257), 196-198.
- Bradley, M. M., & Lang, P. J. (1994). Measuring emotion : The self-assessment manikin and the semantic differential. *Journal of Behavior Therapy and Experimental Psychiatry*, 25(1), 49-59.
- Carey, E., Devine, A., Hill, F., Dowker, A., McLellan, R., & Szucs, D. (2019). *Understanding Mathematics Anxiety : Investigating the experiences of UK primary and secondary school students* [Report]. Centre for Neuroscience in Education.
- Carey, E., Hill, F., Devine, A., & Szücs, D. (2016). The Chicken or the Egg? The Direction of the Relationship Between Mathematics Anxiety and Mathematics Performance. *Frontiers in Psychology*, 6, 1987.
- Carey, E., Hill, F., Devine, A., & Szücs, D. (2017). The Modified Abbreviated Math Anxiety Scale : A Valid and Reliable Instrument for Use with Children. *Frontiers in Psychology*, 8.
- Chiu, L.-H., & Henry, L. (1990). Development and validation of the Mathematics Anxiety Scale for Children. *Measurement and Evaluation in Counseling and Development*, 23, 121-127.
- Cipora, K., Santos, F.-H., Kucian, K., & Dowker, A. (2022). Mathematics anxiety-where are we and where shall we go? *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1513(1), 10-20.
- Delignières, D. (1993). Anxiété et performance. In J.-P. Famosé (Éd.), *Cognition et performance* (p. 235-254). INSEP-Éditions.
- De Vos, T. (1992). Tempo Test Rekenen (TTR). Arithmetic Number Fact Test. Nijmegen: Berkhout.
- Di Pietro, M. (2014). L'ABC delle mie emozioni (4-7 anni). Programma di alfabetizzazione socio-affettiva secondo il metodo REBT. Trento: Erickson.

- Gantelme, M. & Vanuxem, L. (2011). Pratique de l'accompagnement parental des orthophonistes libéraux de la région Rhône-Alpes: quels enjeux pour la profession? [Mémoire pour le certificat de capacité d'orthophoniste, Université Claude Bernard Lyon1].
- Hembree, R. (1990). The Nature, Effects, and Relief of Mathematics Anxiety. *Journal for Research in Mathematics Education*, 21(1), 33-46.
- Hines, C., Brown, N., & Steve, M. (2016). *The effects of expressive writing on general and mathematics anxiety for a sample of high school students.*
- Hopko, D.-R., Mahadevan, R., Bare, R.-L., & Hunt, M.-K. (2003). The Abbreviated Math Anxiety Scale (AMAS). *Assessment*, 10(2), 178-182.
- Huang, Y.-M., Huang, S.-H., & Wu, T.-T. (2014). Embedding diagnostic mechanisms in a digital game for learning mathematics. *Educational Technology Research and Development*, 62(2), 187-207.
- Isimat-mirin, M. (2022). *Se détendre pour mieux apprendre : accompagnement de l'élève à l'école, à la maison.* Chronique sociale.
- Jansen, B.-R.-J., Louwerse, J., Straatemeier, M., Van der Ven, S.-H.-G., Klinkenberg, S., & Van der Maas, H.-L.-J. (2013). The influence of experiencing success in math on math anxiety, perceived math competence, and math performance. *Learning and Individual Differences*, 24, 190-197.
- Kamann, M.-P., & Wong, B.-Y. (1993). Inducing Adaptive Coping SelfStatements in Children with Learning Disabilities through Self-Instruction Training. *J. Learn. Disabil.* 26 (9), 630-638.
- Koelsch, S., & Siebel, W.-A. (2005). Towards a neural basis of music perception. *Trends in Cognitive Sciences*, 9(12), 578-584.
- Kohn, J., Rauscher, L., Kucian, K., Käser, T., Wyschkon, A., Esser, G., & von Aster, M. (2020). Efficacy of a Computer-Based Learning Program in Children With Developmental Dyscalculia. What Influences Individual Responsiveness? *Frontiers in Psychology*, 11, 1115.
- Kramarski, B., Weisse, I., & Kololshi-Minsker, I. (2009). How can self-regulated learning support the problem solving of third-grade students with mathematics anxiety? *ZDM: the international journal on mathematics education*, 42, 179-193.
- Lafay, A. & Helloin, M.-C. (2016). EXAMATH 8-15 : Batterie informatisée d'examen des habiletés mathématiques. Happyneuron.
- Lafay, A. & Helloin, M.-C. (2021). EXAMATH 5-8 : Batterie informatisée d'examen des habiletés mathématiques chez les enfants de 5 à 8 ans. Happyneuron.
- Lafay, A., St-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/Psychologie canadienne*, 56 (1). 96-107.

- Lafortune, L., & Mongeau, P. (2002). L'affectivité dans l'apprentissage. *Presses de l'Université du Québec*.
- Larrigade, M (2022). Diminuer les signes de l'anxiété mathématique : entraînement à la cohérence cardiaque auprès d'élèves de CE1 et intérêt de cette pratique en tant que soutien à la rééducation orthophonique [Mémoire de master, Université de Lille].
- Lieury, A., & Léger, L. (2020). Introduction à la psychologie cognitive. Dunod.
- Lyons, I.-M., & Beilock, S.-L. (2012). When Math Hurts : Math Anxiety Predicts Pain Network Activation in Anticipation of Doing Math. *PLoS ONE*, 7(10), e48076.
- Meichenbaum, D. (1972) Cognitive modification of testanxious college students. *Journal of Consulting and Clinical Psychology*, Vol. 39 (3): 370-380.
- Noël, M.-P., & Grégoire, J. (2015). Tedi-maths grands. Test diagnostique des compétences de base en mathématiques. ECPA.
- OCDE. (2014). *Résultats de PISA 2012 : Des élèves prêts à apprendre (Volume III): Engagement, motivation et image de soi*. OECD.
- Paramythis, A., & Loidl-Reisinger, S. (2004). *Adaptive learning environments and e-Learning standards*. 2(1).
- Park, D., Ramirez, G., & Beilock, S.-L. (2014). The role of expressive writing in math anxiety. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 20(2), 103-111.
- Passolunghi, M.-C., De Vita, C., & Pellizzoni, S. (2020). Math anxiety and math achievement : The effects of emotional and math strategy training. *Developmental Science*, 23(6), e12964.
- Primi, C., Donati, M.-A., Izzo, V.-A., Guardabassi, V., O'Connor, P.-A., Tomasetto, C., & Morsanyi, K. (2020). The Early Elementary School Abbreviated Math Anxiety Scale (the EES-AMAS) : A New Adapted Version of the AMAS to Measure Math Anxiety in Young Children. *Frontiers in Psychology*, 11.
- Ramirez, G., Gunderson, E.-A., Levine, S.-C., & Beilock, S.-L. (2013). Math Anxiety, Working Memory, and Math Achievement in Early Elementary School. *Journal of Cognition and Development*, 14(2), 187-202.
- Rauscher, L., Kohn, J., Käser, T., Kucian, K., McCaskey, U., Wyszkon, A., Moraske, S., Esser, G & Von Aster, M. (2017). Effekte des Calcularis-Trainings. *Lernen und Lernstörungen* 6 (2), 75–86.
- Richardson, F.-C., & Suinn, R.-M. (1972). The Mathematics Anxiety Rating Scale: Psychometric data. *Journal of Counseling Psychology*, 19(6), 551–554.
- Rodriguez, I.-A., Nascimento, J.-M. do, Voigt, M.-F., & Santos, F.-H.-D. (2019). Numeracy musical training for school children with low achievement in mathematics. *Anales de Psicología / Annals of Psychology*, 35(3), Article 3.
- Ruark, A. (2021). *Expressive Writing as an Intervention for Math Anxiety in Middle School*

Students. 7.

- Rubinsten, O., & Tannock, R. (2010). Mathematics anxiety in children with developmental dyscalculia. *Behavioral and Brain Functions*, 6(1), 46.
- Ruff, S.-E., & Boes, S.-R. (2014). The Sum of All Fears: The Effects of Math Anxiety on Math Achievement in Fifth Grade Students and the Implications for School Counselors. *Ga. Sch. Counselors Assoc. J.* 21 (1).
- Salmon, J., Eime, R., Brown, H., Hodge, S., Milton, K., & Foreman, R. (2019). Sport and active recreation: Increase physical activity levels through sport and active recreation. Blueprint for an Active Australia. (3rd ed.). Melbourne, Victoria: National Heart Foundation of Australia.
- Sauvé, L., Renaud, L., & Gauvin, M. (2007). Une analyse des écrits sur les impacts du jeu sur l'apprentissage. *Revue des sciences de l'éducation*, 33(1), 89-107.
- Segumpan, L.-L.-B., & Tan, D.-A. (2018). Mathematics Performance and Anxiety of Junior High School Students in a Flipped Classroom. *European Journal of Education Studies*, 0, Article 0.
- Sheffield, D., & Hunt, T. (2006). How Does Anxiety Influence Maths Performance and What Can We do About It? *MSOR Connections*, 6(4), 19.
- Singh, P. (2016). Management of Mathematics Phobia Among Ninth Standard Students. *Int. J. Indian Psychol.* 3 (2), 69–76.
- 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.
- Tok, Ş. (2013). Effects of the know-want-learn strategy on students' mathematics achievement, anxiety and metacognitive skills. *Metacognition and Learning*, 8(2), 193-212.
- Tok, Ş., Bahtiyar, A., & Karalök, S.-T. (2015). The effects of teaching mathematics creatively on academic achievement, attitude towards mathematics, and mathematics anxiety, *International Journal of Innovation in Science and Mathematics Education*, 23 (4), 1-24. 23, 1-24.
- Vanbecelaere, S., Cornillie, F., Sasanguie, D., Reynvoet, B., & Depaepe, F. (2021). The effectiveness of an adaptive digital educational game for the training of early numerical abilities in terms of cognitive, noncognitive and efficiency outcomes. *British Journal of Educational Technology*, 52(1), 112-124.
- Van Nieuwenhoven, C., Grégoire, J., & Noël, M.-P. (2001). Tedi-Math : Test diagnostique des compétences de base en mathématiques. Paris : ECPA.
- Vauthier, M., Paquet, Y., Krumm, C.-M., & Tarquinio, C. (2019). Vers une nouvelle appréhension des mathématiques par traitement EMDR : Actualités et perspectives. *Psychologie Française*, 64(3), 295-304.
- Verkijika, S.-F., & De Wet, L. (2015). Using a brain-computer interface (BCI) in reducing math

anxiety : Evidence from South Africa. *Computers & Education*, 81, 113-122.

Vilette, B. (2017). L'anxiété mathématique apparaît-elle au début des apprentissages scolaires ?. *Enfance*, 4, 513-519.

Wu, S.-S., Barth, M., Amin, H., Malcarne, V., & Menon, V. (2012). Math Anxiety in Second and Third Graders and Its Relation to Mathematics Achievement. *Frontiers in Psychology*, 3.

Sites internet consultés :

Constructor. (s.d.). Calcularis Math. Consulté 5 avril 2023, à l'adresse <https://school.alemira.com/fr/calcularis/>

FNO. (2022). Signature de l'avenant n°19 – 25 février 2022. Consulté 5 avril 2023, à l'adresse <https://www.fno.fr/actualites/signature-de-lavenant-n19/>

FNO. (2023). Affiches-NGAP-Metropole-20Juin2023. Consulté 1 avril 2024, à l'adresse <https://www.fno.fr/wp-content/uploads/2023/06/Affiches-NGAP-Metropole-29Juin2023.pdf>

Larousse. (s.d.). Définition : Anxiété. Consulté 10 mars 2023, à l'adresse <https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/anxi%C3%A9t%C3%A9/4369>

Fédération Wallonie-Bruxelles (2018). Présentation de la dyscalculie. Consulté 1 avril 2023, à l'adresse https://www.wbe.be/fileadmin/sites/wbe/uploads/Documents/Ressources/Ressources_pedagogiques/Dyscalculie.pdf

Liste des annexes

Annexe n°1 : échelle d'anxiété mathématique (5-7 ans) adaptée de l'AMAS (EES-AMAS : Primi et al., 2020).

Annexe n°2 : échelle d'anxiété mathématique (8-13 ans) adaptée de l'AMAS (mAMAS : Carey et al., 2017).

Annexe n°3 : échelle picturale (heureux/ excité/ stressé) de Bradley et Lang (1994).

Annexe n°4 : premières pages du livret d'entraînement (protocole) : *Explorons les maths sans pression*.

Annexe n°5 : fiche adressée aux orthophonistes (sans les échelles).

Annexe n°6 : premières pages du livret de partenariat parental : *L'aventurier des maths*.