

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



 **Université
de Lille**

 **ufr35** faculté
de médecine

MEMOIRE

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

Méliné JARRIN

soutenu publiquement en juin 2024

**Conseils de stimulation à destination des
enseignants pour le développement des
compétences mathématiques précoces**
Une revue systématique de la littérature

MEMOIRE dirigé par
Sandrine MEJIAS, enseignante-chercheuse, Université de Lille

Lille – 2024

Remerciements

Je souhaite remercier, d'abord, ma directrice de mémoire, Sandrine Mejias, ainsi que ma lectrice, Lucie Macchi, pour leurs nombreuses corrections et pour m'avoir guidée dans mon travail.

Ensuite, je remercie tous mes maîtres de stage, qui m'ont partagé leurs expériences et leur soutien, tout au long de ma formation. Je remercie tout particulièrement Géraldine, Anne-Sophie et Aurélia, pour m'avoir accueillie en stage, conseillée et rassurée, toujours dans la bienveillance, durant toute ma dernière année d'études.

J'adresse un grand merci à mes parents, à mon frère, Benoît, et à ma soeur, Amélie, qui m'ont grandement soutenue : merci à eux pour m'avoir rassurée et épaulée au moment où j'en avais le plus besoin. Merci à mes amies niçoises, Melissa et Victoire, pour s'être intéressées à mon écrit et m'avoir apporté leurs précieuses corrections. Merci à Loïc pour m'avoir épaulée, encouragée et aidée au quotidien pendant cette dernière année d'études, qui n'a pas toujours été simple, et pour ses très nombreuses relectures, toujours accompagnées de conseils avisés.

Enfin, je remercie du fond du coeur mes amies lilloises, Alice, Camille, Eugénie et Roxane, pour ces cinq folles années, qui resteront un souvenir inoubliable à mes yeux. Merci particulièrement à Roxane, qui a participé à la réalisation de ce mémoire et qui a été, pour moi, d'un soutien inconditionnel.

Résumé :

Les mathématiques prenant une part importante du quotidien, les maîtriser semble être un enjeu important pour le bien-être des individus, et ce dès le plus jeune âge. Cette revue systématique de la littérature a pour objectif de proposer aux enseignants en maternelle des conseils pratiques pour stimuler les compétences mathématiques de leurs jeunes élèves. Après une contextualisation de notre sujet, nous avons interrogé différentes bases de données (PubMed, PsycInfo, PsycArticles, Lillocat, Web of Science, ScienceDirect) à l'aide d'une équation de mots-clés. Finalement, 19 articles ont été sélectionnés et analysés. Nos résultats suggèrent que les professeurs ont la possibilité de stimuler les capacités numériques des enfants en adaptant leurs méthodes d'enseignement, en proposant des aides spécifiques ou en utilisant du matériel conventionnel soigneusement choisi. Des fiches pratiques d'activités ont été élaborées et intégrées dans notre revue. Bien que notre revue ait abordé des thématiques diversifiées et suivi une méthodologie rigoureuse, certains biais sont à considérer afin de pouvoir prendre du recul sur les conseils prodigués.

Mots-clés :

Revue systématique, cognition mathématique, école maternelle, prévention primaire, trouble d'apprentissage mathématique

Abstract :

As mathematics plays an important role in people's everyday lives, understanding it seems to be a significant issue to ensure people's welfare, starting from their youngest years. This systematic review of the literature aims at offering to kindergarten teachers practical advice to sharpen the mathematical skills of their young pupils. After a contextualization of our topic, we questioned different databases (PubMed, PsycInfo, PsycArticles, Lillocat, Web of Science, ScienceDirect) thanks to a keywords combination. In the end, 19 articles have been selected and analyzed. Our results suggest that teachers may stimulate children's digital capabilities by adapting their teaching methods, by offering specific help or by using skillfully chosen conventional materials. Activities factsheets have been developed and included into our review. Although diversified questions have been covered in this review and a rigorous methodology followed, certain biases must still be considered in order to be able to put the provided advice into perspective.

Keywords :

Systematic review, mathematical cognition, kindergarten, primary prevention, dyscalculia

Table des matières

Introduction.....	1
Contexte théorique, buts et hypothèses.....	2
1. Cognition mathématique.....	2
1.1 Fondements théoriques.....	2
1.2 Enseignement des mathématiques en maternelle.....	3
2. Trouble des apprentissages mathématiques et dyscalculie.....	3
2.1 Définition du DSM-5.....	3
2.2 Épidémiologie des TAM.....	4
2.3 Les causes du TAM / dyscalculie.....	4
2.3.1 Déficit du sens du nombre.....	4
2.3.2 Déficit des fonctions exécutives.....	5
2.3.3 Déficit de la mémoire à long terme.....	6
3. L'importance d'une intervention précoce.....	7
3.1 Les différents types de prévention.....	7
3.2 La plateforme LOLEMATH.....	7
3.3 Importance de la stimulation mathématique précoce	8
3.3.1 Les conséquences d'un manque de stimulation.....	8
3.3.2 Anxiété mathématique.....	9
3.4 État des lieux des mathématiques en France.....	9
4. But du mémoire.....	9
Méthode.....	10
1. Lignes directrices PRISMA	10
2. Bases de données interrogées et équations de mots-clés	10
3. Critères d'inclusion et d'exclusion.....	10
4. Protocole de collecte des données.....	11
Résultats.....	12
1. Sélection des articles.....	12
2. Extraction des données.....	13
2.1 Capacités cognitives générales	13
2.1.1 Les fonctions exécutives.....	13
2.1.2 La mémoire de travail.....	14
2.2 Compétences mathématiques.....	15
2.2.1 Le sens du nombre.....	15
2.2.2 La cardinalité.....	16
2.3 Aspect sensoriel et relation avec l'espace.....	18
2.3.1 Activité physique et musicale.....	18
2.3.2 Motricité fine.....	19
2.4 Ressources pédagogiques.....	20
2.4.1 Les jeux de société	20
2.4.2 Des applications ludiques comme outil d'apprentissage.....	22
2.4.3 Importance de la présence de l'enseignant.....	23
Discussion.....	24
1. Synthèse des données récoltées.....	24
2. Qualités de notre revue.....	26
3. Limites de notre revue.....	27
4. Apport pour la pratique éducative	27
Conclusion.....	28
Bibliographie.....	29

Liste des annexes.....	35
-------------------------------	-----------

Introduction

Les mathématiques sont définies, selon le Dictionnaire d'Orthophonie (Brin-Henry et al., 2011), comme « une science qui étudie, par le moyen du raisonnement déductif, les propriétés d'objets abstraits, et les relations qui s'établissent entre eux ». Il s'agit d'une discipline complexe, tenant une place conséquente dans notre quotidien : en effet, elle est nécessaire lorsque nous manipulons de l'argent et lors du repérage dans le temps, entre autres. Des difficultés en mathématiques peuvent avoir un retentissement négatif sur les individus, que ce soit dans leur vie quotidienne ou professionnelle.

C'est pourquoi il est essentiel d'intervenir précocement dans la vie des individus, afin d'éviter l'apparition de difficultés mathématiques, pouvant évoluer vers un trouble d'apprentissage mathématique (TAM). Les parents sont les premiers témoins des difficultés de leur enfant et peuvent alerter les professeurs quant à leur situation. Ces derniers viennent stimuler les compétences mathématiques durant le temps de classe, et peuvent, eux aussi, repérer des difficultés chez leurs jeunes élèves. Les enseignants sont ainsi en mesure de prévenir les parents et les orienter vers un professionnel de santé, comme un orthophoniste ou un neuropsychologue, s'ils estiment cela nécessaire.

Le présent mémoire, qui est une revue systématique de la littérature, s'inscrit ainsi dans ce contexte de santé publique. Si un mémoire sur des recommandations de stimulation à mettre en place à la maison a été présenté en 2023 (Charlemagne, 2023), aucune étude, d'après nos recherches, ne relate de recommandations, à destination des enseignants, quant au développement des compétences mathématiques en maternelle.

Les objectifs de cette revue de la littérature sont, d'abord, de présenter les actions de stimulation les plus efficaces pour le développement des compétences mathématiques chez les enfants scolarisés en maternelle. Au regard des études que nous avons sélectionnées, nous formulerons des conseils pratiques à destination des enseignants. Des activités pratiques seront proposées dans des fiches, présentes dans les annexes de notre travail.

Afin que le lecteur puisse s'appropriier les termes de la cognition mathématique présents dans les articles de la revue, nous commencerons notre travail en abordant les fondements théoriques du domaine. Nous réaliserons un état des lieux de l'enseignement en maternelle, afin de préciser les attentes de l'Éducation Nationale. Cela nous permettra, dans un second temps, d'apporter des éléments de stimulation nouveaux et compatibles avec le programme. Nous poursuivrons par la définition du TAM et la présentation de ses causes. Nous mettrons en lumière l'importance d'une prévention précoce et des conséquences liées à son absence. Ensuite, la méthodologie de la sélection des articles sera détaillée. Nous présenterons les différents résultats obtenus parmi les études choisies, résultats sur lesquels nous nous appuierons pour formuler des conseils à destination des enseignants. Enfin, nous expliquerons ce que le mémoire apporte à la littérature scientifique actuelle, tout en nuancant certains biais qui ont pu se présenter au cours de notre travail. Les éléments issus de ce mémoire seront finalement mis en ligne sur une plateforme dédiée aux troubles des apprentissages, pour permettre la diffusion de ses informations au plus grand nombre.

Contexte théorique, buts et hypothèses

1. Cognition mathématique

Dans cette partie, nous définirons d'abord la cognition mathématique, en évoquant dans un second temps ses modèles théoriques, puis nous évoquerons le programme actuel de l'enseignement mathématique en maternelle.

1.1 Fondements théoriques

Bien qu'il n'existe pas de définition précise de la cognition mathématique dans la littérature scientifique, elle peut se résumer par le fonctionnement cognitif du traitement du nombre, c'est-à-dire les connaissances numériques des êtres humains, ainsi que leur façon de penser et de traiter l'information mathématique. Il s'agit d'un processus complexe qui fait entrer de nombreuses fonctions en jeu, comme la perception, la mémoire ou la représentation mentale, et qui tient un rôle important dans notre quotidien. Les recherches en psychologie cognitive ont montré que la cognition mathématique était fortement influencée par divers facteurs, comme l'éducation, la culture ou les approches d'enseignement et d'apprentissage.

La cognition mathématique est expliquée par le modèle de référence anatomo-fonctionnel du triple code de Dehaene et Cohen (1995). Il s'agit d'un modèle mettant en lien la représentation symbolique et la quantité analogique associée, par le biais de trois codes. D'abord, il existe le code analogique, qui représente la quantité. Ensuite, le code verbal est une représentation symbolique par des nombres verbaux, oraux et écrits, comme « trois » ou /tʁwa/. Enfin, le code arabe désigne une représentation symbolique écrite des nombres, à l'aide de chiffres arabes. Ce modèle, bien qu'ancien, reste très utilisé : il permet de rendre compte du fonctionnement normal du raisonnement numérique, ainsi que des troubles éventuels. Cependant, il ne donne pas d'indications concernant les étapes dans le développement du traitement du nombre, contrairement au modèle de développement en quatre étapes de la cognition mathématique (Von Aster & Shalev, 2007).

Ce deuxième modèle permet de compléter les aspects développementaux du traitement du nombre, absents dans le modèle de Dehaene, à travers la création de quatre étapes. La première étape est caractérisée par la mise en place du système numérique approximatif (SNA), qui est un système inné utilisé pour comparer des quantités analogiques. La deuxième étape, le système verbal, s'acquiert au niveau pré-scolaire : c'est à ce moment que la chaîne numérique et les connaissances des mots-nombres se mettent en place. Ensuite, le système numérique arabe s'acquiert lors de l'entrée à l'école élémentaire : les enfants commencent à faire des calculs simples et différencient les nombres pairs et impairs. Le quatrième et dernier stade est la mise en place de la ligne numérique mentale, sur laquelle l'enfant positionne le code symbolique. Selon ce modèle, les représentations mathématiques se mettent en place avant l'école primaire et s'affinent lors des apprentissages.

La deuxième étape du modèle de Von Aster et Shalev implique l'établissement d'une chaîne numérique, qui sera utilisée dans le dénombrement. Gelman et Gallistel (1978) ont établi des principes essentiels du dénombrement pour garantir son efficacité :

- Le principe de correspondance terme à terme, où chaque unité correspond à un mot-nombre ;
- Le principe d'ordre stable, qui exige que les mots-nombres soient récités dans l'ordre de la

comptine numérique ;

- Le principe de la non-pertinence de l'ordre, qui permet de compter les unités dans n'importe quel ordre ;
- Le principe d'abstraction, qui permet le comptage de divers éléments ensemble ;
- Le principe de cardinalité, où le dernier mot-nombre prononcé indique la taille de l'ensemble.

Les concepts mentionnés, en particulier le principe de cardinalité, sont abordés dans les articles de cette revue de littérature : certains auteurs ont cherché à examiner le lien entre ces concepts et l'amélioration des compétences mathématiques.

1.2 Enseignement des mathématiques en maternelle

Le rapport de l'Éducation Nationale de la jeunesse et des sports (Dehaene et al., 2021) présente le résumé des recommandations pratiques de l'enseignement des mathématiques en maternelle. Il est expliqué qu'en maternelle, les mathématiques sont abordées à travers le jeu et la manipulation d'objets, ce qui permet d'offrir aux enfants une expérience mathématique ludique et enrichissante. Cette approche permet de susciter chez eux le plaisir de découvrir les nombres, les formes, les mesures, l'espace, et d'autres concepts mathématiques.

Pour faciliter la transition vers des concepts abstraits, il est recommandé aux enseignants de présenter les mêmes notions sous différents angles, à travers divers jeux et contextes. Les concepts plus avancés, comme les nombres supérieurs à vingt ou les fractions, peuvent déjà être introduits à l'école maternelle, puis être explorés progressivement au fil du cursus scolaire. L'introduction d'un modèle mental des nombres, tel que la ligne numérique, est un outil pertinent dans l'enseignement des mathématiques en maternelle, permettant aux enfants de se familiariser avec la structure et la représentation des nombres.

Dans le domaine des nombres, cette progression comprend plusieurs étapes, telles que l'attention portée aux nombres, la compréhension de l'égalité des ensembles, le dénombrement exact, l'apprentissage des symboles et du sens des nombres, ainsi que la capacité à comparer, ordonner, composer et décomposer les nombres.

Il est recommandé aux enseignants de procéder à des évaluations simples et régulières, afin d'adapter leurs contenus pédagogiques aux besoins spécifiques des enfants et de mesurer leur progression.

2. Trouble des apprentissages mathématiques et dyscalculie

Dans cette partie, nous évoquerons la définition du TAM et le nombre d'individus concernés, selon les différentes études disponibles sur le sujet. Ses multiples causes, qu'elles soient spécifiques ou plus générales, seront également abordées. Cela permettra au lecteur de se représenter les différents axes de travail qui pourront être envisagés dans les articles de notre revue.

2.1 Définition du DSM-5

Selon le manuel diagnostique et statistique des troubles mentaux et des troubles psychiatriques (American Psychiatric Association, 2015), le TAM, anciennement appelé dyscalculie, s'inscrit dans les troubles des apprentissages, qui s'inscrivent eux-mêmes dans les

troubles neuro-développementaux. C'est dans cette catégorie que figurent également le handicap intellectuel ou le trouble du spectre de l'autisme. Selon les critères diagnostiques du TAM, les individus concernés rencontrent des difficultés persistantes dans l'acquisition et l'utilisation des compétences mathématiques. Ces difficultés touchent divers aspects, tels que la compréhension des nombres, les calculs et le raisonnement mathématique. Leur niveau de compétence est notablement inférieur à celui attendu pour leur âge, ce qui impacte leurs performances scolaires ou leurs activités quotidiennes. Ces difficultés se manifestent généralement pendant la scolarité, bien qu'elles puissent demeurer discrètes tant que les exigences scolaires restent en deçà de leurs compétences. Enfin, ces difficultés ne peuvent être expliquées par d'autres troubles neurodéveloppementaux tels que le retard intellectuel, les troubles sensoriels ou moteurs. Le diagnostic de TAM est posé lorsque les difficultés mathématiques persistent, malgré des interventions spécifiques et ne peuvent être attribuées à d'autres conditions neurodéveloppementales.

2.2 Épidémiologie des TAM

Le TAM reste un trouble de l'apprentissage assez peu étudié et sous-diagnostiqué en France, les auteurs divergent donc sur la prévalence exacte de ce trouble : selon Moll et ses collègues (2014), le TAM toucherait entre 3% à 7% de la population. Cette prévalence diverge selon la définition exacte du TAM, les critères d'inclusion ou d'exclusion retenus, les mesures d'évaluation utilisées (Shalev et al., 2000) et les pays. En estimant la prévalence entre 3% et 7%, avec une population française de plus de 68 millions d'individus, entre deux et cinq millions de personnes seraient concernées par la dyscalculie.

Le TAM peut être également associé à d'autres troubles. En effet, 40% des personnes avec un trouble de l'apprentissage en présente d'autres (Région Auvergne-Rhône-Alpes, 2017). La dyscalculie est associée, dans 26% des cas, à un Trouble Déficitaire de l'Attention avec ou sans Hyperactivité (TDA/H), ainsi qu'à une dyslexie, dans 17% des cas (Gross-Tsur et al., 1996). Selon ces derniers auteurs, le TAM semble aussi toucher autant les hommes que les femmes. Cependant, les enfants avec un niveau socio-économique faible sont davantage concernés, par rapport à des enfants issus de familles à revenu plus élevé (Jordan & Levine, 2009).

2.3 Les causes du TAM / dyscalculie

Il existe deux types de TAM : le TAM primaire et le TAM secondaire. L'appellation dépendra de la cause. En effet, le TAM primaire est dû à des déficits au niveau des composantes spécifiques des compétences numériques, tels que des troubles au niveau du sens du nombre ou de la ligne numérique mentale. Le TAM secondaire résulte, quant à lui, de déficits des facteurs cognitifs généraux, comme la mémoire, l'inhibition ou les fonctions exécutives.

2.3.1 Déficit du sens du nombre

Selon certains auteurs, une des premières étiologies du TAM est une incapacité à se représenter la quantité, même lorsqu'elle est approximative. En effet, une étude (Landerl et al., 2004) a montré que les enfants avec un TAM présentaient des déficits dans le traitement des nombres, particulièrement pour le comptage des points, la récitation de suites de nombres et

l'écriture de nombres. Ces enfants avec un TAM uniquement, obtenaient des résultats dans la norme en mémoire de travail phonologique, en accès aux informations verbales non numériques, en intelligence non verbale, en capacités linguistiques et psychomotrices. Ces résultats mettent donc en évidence que le TAM peut être représenté comme un déficit dans la représentation ou le traitement d'informations spécifiquement numériques.

D'autres indicateurs ont été étudiés pour évaluer les difficultés des individus présentant un TAM, comme l'acuité numérique par exemple. Cette dernière est une mesure de la précision des représentations numériques (Lafay, 2016), qui se développe pendant l'enfance (Halberda & Feigenson, 2008) : plus l'acuité numérique d'un individu sera efficace, plus il saura comparer deux collections numériques précisément. En effet, dans le cadre d'une étude (Halberda et al., 2008), 64 enfants âgés de 14 ans ont été examinés, dans le but d'évaluer les corrélations entre l'acuité du SNA et les résultats en mathématiques. Pour ce faire, les élèves devaient indiquer, parmi deux collections de points présentées rapidement, celle qui était la plus grande, sans avoir la possibilité de compter les points séparément. Les résultats ont montré que l'acuité du SNA était corrélée aux performances en mathématiques symboliques. Si le TAM peut avoir comme cause possible un déficit du sens du nombre, il peut aussi être expliqué par une mauvaise efficacité des fonctions cognitives générales.

2.3.2 Déficit des fonctions exécutives

Les fonctions exécutives sont un ensemble de fonctions cérébrales, qui permettent « le contrôle et la régulation de la pensée et de l'action » (Baggetta & Alexander, 2016). Elles se composent de la mémoire de travail, la flexibilité et le contrôle inhibiteur (Diamond, 2013).

Le TAM peut, d'abord, être causé par un défaut d'inhibition. Il s'agit d'une fonction cérébrale qui permet de bloquer les informations ou réponses qui ne sont pas pertinentes dans une situation donnée (Chevalier, 2010). Le contrôle inhibiteur peut être décomposé en trois étapes (Friedman & Miyake, 2004). La première étape supprime les informations, qui ne sont pas pertinentes, de la mémoire de travail. Dans un second temps, les réponses automatiques liées aux informations, venant d'être supprimées, sont également abandonnées. Enfin, le contrôle des interférences est la capacité de notre esprit à gérer les distractions, afin de rester concentré sur une tâche donnée. Une des tâches les plus utilisées pour évaluer l'inhibition est le test de Stroop : des noms de couleurs, comme le mot « bleu », écrits dans une encre de couleur différente sont présentés, et il est demandé au sujet de donner le nom de l'encre. Dans cet exemple, le mot « bleu » sera écrit en rouge, et le sujet devra donc dire « rouge » : c'est le contrôle inhibiteur, s'il est efficace, qui permettra d'éviter une lecture automatisée du mot « bleu ».

Les auteurs d'une étude récente (Chao et al., 2022) ont cherché à comprendre le rôle du contrôle inhibiteur chez les enfants présentant un TAM, par rapport aux participants qui n'en présentent pas. Ils ont utilisé une méthode de potentiels cérébraux, en enregistrant l'activité cérébrale des participants via des électrodes. Cette expérience a montré que le temps de réaction était significativement plus long chez les enfants ayant un TAM, plutôt que ceux qui n'en avaient pas. Selon les auteurs, ces résultats suggèrent que les enfants atteints de TAM présentent des déficits d'inhibition. Ils modèrent cependant leurs propos, en évoquant que d'autres études antérieures ont mené à des conclusions plus nuancées. Dans leur étude datant de 2007, Censabella et Noël ont cherché, elles aussi, à décrire les capacités d'inhibition sur un échantillon d'enfants ayant un TAM. Pour ce faire, des tests des compétences mathématiques, de l'intelligence et des compétences en lecture ont été administrés aux enfants, afin de pouvoir sélectionner des enfants

avec TAM et d'autres n'en présentant pas. Elles ont ensuite testé le contrôle inhibiteur des enfants en utilisant le test de Stroop, entre autres. Les résultats de cette étude ne montrent aucune différence significative de la capacité d'inhibition entre le groupe avec et sans TAM.

Une des autres causes possibles de l'apparition de difficultés persistantes en mathématique est un déficit de la flexibilité mentale. Elle consiste à adapter son comportement, en réponse à des changements dans l'environnement (Armbruster et al., 2012). Elle permet à une personne de passer efficacement d'une tâche à une autre. Une tâche qui permet d'évaluer la flexibilité mentale est le Trail Making Test (TMT) : cet exercice consiste à relier un chiffre à une lettre de manière répétée par ordre croissant et alphabétique (1 à A puis 2 à B...). Le lien entre la réadaptation du comportement et les compétences mathématiques a fait l'objet de plusieurs études. Parmi elles, deux études (Szucs et al., 2013 ; McDonald & Berg, 2018 ; citées par Agostini et al., 2022) ont constaté que les enfants présentant un TAM échouaient davantage lors d'un test de Trail Making Test, par rapport au groupe contrôle. Cependant, les résultats d'une autre étude (Kuhn & al., 2016, citée par Agostini et al., 2022) n'ont montré aucune différence significative entre les performances des enfants avec un TAM et sans TAM en matière de flexibilité cognitive. Ici encore, les études ne s'accordent pas entre elles.

Un déficit de la mémoire de travail peut, enfin, être une cause de l'apparition d'un TAM secondaire. Elle désigne un système permettant d'assurer une « double fonction de traitement et de stockage temporaire de l'information » (Ehrlich & Delafoy, 1990). Nous l'utilisons lors de nombreuses activités de la vie quotidienne, par exemple lors de la lecture, pour retenir un début de phrase et le comprendre, mais également lors de la réalisation d'opérations mathématiques. La mémoire de travail peut être utilisée lors de réalisation de calculs mentaux donnés à l'oral, où l'enfant doit retenir les informations afin de faire l'opération pour donner la réponse exacte. La mémoire de travail est elle-même sous-tendue par la mémoire à court terme, l'inhibition et l'attention (Barrouillet & Camos, 2007). Ainsi, des difficultés en mémoire de travail pourront donner lieu à des troubles des apprentissages. En effet, plusieurs auteurs décrivent qu'un enfant avec une mémoire de travail faible serait moins attentif, évaluerait moins bien son travail et aurait davantage de difficultés à trouver des solutions à des problèmes (Charest-Girard & Parent, 2018). Le TAM est donc concerné : les enfants avec une faible mémoire de travail peuvent avoir des difficultés en calcul mental, ainsi qu'en la réalisation de problème donné à l'oral.

2.3.3 Déficit de la mémoire à long terme

Le TAM secondaire pourrait avoir pour origine un déficit de la mémoire à long terme. Elle permet un stockage des informations sur le long terme et est composée de la mémoire épisodique, où sont stockés les souvenirs, et de la mémoire sémantique, qui représente plutôt la culture générale de l'individu. La mémoire à long terme procède en trois temps : un temps d'encodage de l'information, qui est ensuite stockée, pour pouvoir être finalement récupérée (Markowski, 2005). Selon Noël et Van der Linden (2016), la mémoire à long terme serait également composée d'une mémoire explicite et d'une mémoire implicite, où les informations se stockent sans que nous n'en ayons conscience. La mémoire à long terme est largement sollicitée dans la plupart des opérations mathématiques. Les faits arithmétiques désignent « l'association entre la représentation des calculs et de leur solution » (Noël et al., 2013). Ils font partie d'un réseau cérébral dense, où les éléments sont interconnectés. Ainsi, lorsque le calcul « 6×8 » nous est présenté, nous activons simultanément la bonne réponse, 48, mais également d'autres réponses associées ayant des traits

communs, comme 14 (le résultat de $6 + 8$) ou 40 (le résultat de 5×8). Si un individu présente des difficultés concernant la mémoire à long terme, il lui sera donc difficile d'accéder directement à ces faits arithmétiques : il devra donc calculer de nouveau 6×8 sans accéder à ces faits arithmétiques, ce qui pourrait donner lieu à des erreurs de calcul (Geary, 2005 ; citée dans Noël et al., 2013).

3. L'importance d'une intervention précoce

Dans cette partie, nous définirons d'abord les différents types de prévention et la plateforme LOLEMATH, afin de mettre en lumière le contexte dans lequel notre revue s'inscrit. Nous évoquerons plus tard l'importance d'intervenir au plus tôt dans la vie des individus, et notamment des individus à risque, afin de ne pas voir leurs difficultés s'ancrer dans le temps, qui pourront avoir un retentissement sur leur vie personnelle et professionnelle.

3.1 Les différents types de prévention

L'Organisation Mondiale de la Santé (OMS, citée par Flajolet, 2018) définit la prévention comme suit : « [la prévention désigne] l'ensemble des mesures visant à éviter ou réduire le nombre et la gravité des maladies, des accidents et des handicaps ». Trois types de prévention sont distingués. D'abord, la prévention primaire est définie comme « l'ensemble des actes visant à diminuer l'incidence d'une maladie dans une population et à réduire les risques d'apparition ». La prévention secondaire cherche, quant à elle, à « diminuer la prévalence d'une maladie dans une population et recouvrer les actions en tout début d'apparition, visant à faire disparaître les facteurs de risques ». Enfin, la prévention tertiaire a pour objectif de « diminuer la prévalence des incapacités chroniques ou récidives dans une population et de réduire les complications, invalidités ou rechutes consécutives à la maladie ». Dans le cadre de l'orthophonie, la prévention primaire consiste à dispenser des conseils aux parents, les informer des signes d'alerte qu'ils pourront eux-mêmes observer chez leur enfant. Les orthophonistes dispensent également des formations auprès de professionnels de la petite enfance (www.fno.fr). Au vu de ces définitions, cette revue de la littérature s'inscrit dans les objectifs de la prévention primaire dans la mesure où nos conseils, à destination des enseignants de maternelle, peuvent être appliqués en amont du diagnostic de TAM.

3.2 La plateforme LOLEMATH

LOLEMATH est une plateforme disponible sur Internet. Il s'agit d'un projet qui a été imaginé en 2019 par Mejias et Ravez, enseignantes en orthophonie à l'Université de Lille. Ses objectifs sont multiples : d'abord, elle vise à développer des tests de dépistage concernant le langage oral et écrit, ainsi que la cognition mathématique. Ils seront mis à la disposition des professionnels de santé, ainsi que des enseignants. Ensuite, une rubrique spécifique dans laquelle s'inscrira ce travail, proposera des conseils de stimulation pour les parents, les professionnels de santé ainsi que les enseignants. Enfin, un autre objectif de la plateforme est de présenter certains indices pouvant indiquer des troubles d'apprentissage, afin que l'entourage de l'enfant puisse être informé et envisager une consultation avec un professionnel de santé si nécessaire.

3.3 Importance de la stimulation mathématique précoce

Tous les individus ne partent pas avec les mêmes chances de réussite dans le domaine mathématique, et plus globalement scolaire. En effet, des écarts de performance existent selon le niveau socio-culturel de chaque individu (Jordan, 2010) : une étude a montré que les étudiants faisant partie de classes sociales modestes pouvaient présenter davantage de difficultés en mathématiques (Lubienski, 2000). De plus, les enfants issus de milieux défavorisés ont 1,5 fois plus de chance de présenter un trouble de l'apprentissage (Dunifon, et al., 2001). Ils sont également beaucoup plus lents que leurs pairs à revenu moyen (Jordan et al., 2006).

Ces différences de performances s'expliquent, d'abord, par le fait que les parents des enfants issus de milieux défavorisés se remémorent plus fréquemment des vécus négatifs concernant leur propre scolarité et peuvent transmettre leur malaise (Poncelet et al., 2014). De plus, selon les mêmes auteurs, les parents issus de ces milieux sont parfois en difficulté pour aider leur enfant dans leur cursus scolaire, en particulier s'ils ont quitté le milieu scolaire précocement.

Il semble ainsi très pertinent, en tant qu'enseignant, d'intervenir précocement dans la vie de l'enfant, afin de l'aider à développer ses compétences mathématiques, pour réduire le risque de difficultés liées à son milieu social.

3.3.1 Les conséquences d'un manque de stimulation

Le manque de stimulation mathématique précoce chez les populations à risque pourra avoir des répercussions dans la vie de l'enfant. Sa scolarité pourra donc être touchée. Les habiletés numériques sont sollicitées dans les cours de mathématiques mais également dans d'autres cours de sciences, comme la physique par exemple. Un élève ayant déjà des difficultés en mathématiques sera également moins performant dans plusieurs matières scientifiques, l'empêchant d'acquérir des connaissances dans ces dernières (Lemire, 2005). À terme, un individu présentant un TAM ou des difficultés en mathématiques n'ayant pas fait l'objet d'un diagnostic, sera impacté dans ses choix professionnels, car il sera plus tenté d'éviter au maximum les mathématiques. Cependant, une personne avec une dyscalculie peut aussi réussir à développer certaines capacités de compensation de ses difficultés. Elles sont souvent efficaces dans un premier temps, permettent de diminuer l'impact des troubles, mais deviennent trop laborieuses à partir du moment où, comme dans la définition du DSM-5, les demandes deviennent supérieures aux capacités. Ainsi, l'étudiant se retrouve dans une impasse (Lemire, 2005).

Les difficultés en mathématiques dépassent fréquemment les limites du cadre scolaire, ayant ainsi un impact négatif sur les activités de la vie quotidienne. Un individu peut avoir des difficultés lors de la réalisation de ses courses ou d'une recette de cuisine par exemple, ou lorsqu'il doit préparer son emploi du temps. Il se sent ainsi moins autonome, ce qui impactera sa confiance en lui. Effectivement, les mathématiques ont tendance à susciter chez les étudiants de l'anxiété ainsi qu'un manque de confiance (Blouin, 1985). Cette confiance en eux amoindrie donne lieu à un véritable cercle vicieux. En effet, les étudiants, anxieux à l'idée de devoir réaliser des tâches mathématiques, tentent au maximum de les éviter, ce qui réduit considérablement leurs chances de progresser. Ils se sentiront ainsi inefficaces, refusant donc de faire des mathématiques, et ainsi de suite. Cet effet est appelé « effet Matthieu » (Stanovich, 1986). Ce phénomène s'observait initialement chez les lecteurs : un enfant avec des difficultés en lecture aura tendance à moins lire, ce qui creusera les écarts de performance déjà présents avec ses pairs.

3.3.2 Anxiété mathématique

L'anxiété mathématique désigne l'apparition de réactions émotionnelles négatives envers les mathématiques, comme de la peur ou une appréhension (Hanin et al., 2022). Ainsi, ce stress, qui peut se manifester par des réactions d'évitement, entraîne des compétences plus faibles en mathématiques (Beilock & Willingham, 2014). En effet, le sujet doit réussir à gérer ses émotions, ce qui devient trop coûteux cognitivement pour pouvoir réaliser la tâche. La connaissance de ce phénomène s'avère primordiale, afin de ne pas imputer des difficultés en mathématiques aux capacités réelles de l'individu (Mille, 2020).

L'anxiété mathématique semble fortement liée aux souvenirs d'apprentissage des mathématiques. Ainsi, une mauvaise expérience avec un professeur n'expliquant que peu les erreurs ou se montrant assez humiliant lorsque les étudiants ne parviennent pas à réaliser les exercices, entraînera plus probablement de l'anxiété chez ces derniers (Ashcraft, 2002). Enfin, ce trouble peut s'avérer être un obstacle à la prise en soin orthophonique, si cette dernière est nécessaire.

3.4 État des lieux des mathématiques en France

Une note d'information de l'Éducation Nationale, en 2020, alerte sur les résultats en mathématiques des élèves en France, et particulièrement sur la dégradation de la confiance en soi et de la motivation. En effet, près de la moitié des collégiens français estiment ne pas être confiants en leurs capacités. Les causes probables sont un temps d'instruction en mathématiques plus faible que nos voisins européens, un moindre recours à des enseignements particuliers et un temps plus court accordé aux devoirs de mathématiques.

Les métiers liés aux mathématiques représentent 13% des emplois salariés en France en 2019 : il s'agit principalement des services informatiques ou des métiers de la production et distribution d'électricité et de gaz. L'Agence pour les Mathématiques en Interaction avec l'Entreprise et la Société déclare, en 2022 : « Sans formation ni recherche mathématique en France, ce sont donc l'équivalent de 3,3 millions d'emplois qui ne seraient pas pourvus », ainsi que 18% du PIB national qui serait également impacté. Un bon investissement des mathématiques demeure donc important dans la vie personnelle et professionnelle des individus.

4. But du mémoire

Les objectifs de cette revue de la littérature sont de présenter des actions de stimulation efficaces pour développer les compétences mathématiques chez les enfants ayant entre trois et six ans. Grâce aux résultats des études que nous avons sélectionnées, nous formulerons des recommandations pratiques à destination des enseignants. Notre revue systématique de la littérature aura pour objectif de répondre à la question de prévention suivante : quelles sont les actions de stimulation mathématiques scolaires les plus efficaces chez les enfants de moins de six ans pour accéder à de meilleures compétences numériques ?

Méthode

1. Lignes directrices PRISMA

Afin de mener à bien notre travail de recherche, nous utiliserons, avec Roxane Chevalier, un document traduisant en français les lignes directrices PRISMA (Gedda, 2017). Il s'agit d'une trame permettant de mettre en lumière les différentes parties et informations nécessaires à la rédaction d'une bonne revue systématique de la littérature.

2. Bases de données interrogées et équations de mots-clés

Afin d'obtenir un nombre d'informations suffisant pour répondre à notre question, nous avons interrogé des bases de données scientifiques, telles que Lillocat, PubMed, PsycArticles, PsycInfo, ScienceDirect et Web of Science. Chaque moteur de recherche possédant son fonctionnement propre, l'équation de recherche a parfois dû être modifiée ou raccourcie. Le tableau (Tableau 1) présente les différentes équations de recherche utilisées selon les bases de données.

Base de données	Équation de recherche
Lillocat	Titre contient (preschool OR kindergarten OR teachers OR nursery school) AND (mathematic OR mathematics) AND (stimulation OR development OR capacities OR skills OR recommendation) Date de publication : 2013-2023 Type de documents : Articles Filtres : Langue (Anglais et Français) et Sujet (Mathematics Education)
PsycArticles	Tout le texte contient (preschool OR kindergarten OR teachers OR nursery school) AND (mathematics OR mathematic) AND (stimulation OR development OR capacities OR skills OR advice OR recommendation) Date de publication : 2013-2023 Groupe d'âge : Preschool Age (2-5 years)
PsycInfo	(preschool OR kindergarten OR teachers OR nursery school) AND (mathematics OR mathematic) AND (stimulation OR development OR capacities OR skills OR advice OR recommendation)
PubMed	(preschool OR kindergarten OR teachers OR nursery school) AND (mathematics OR mathematic) AND (stimulation OR development OR capacities OR skills OR advice OR recommendation) Filters applied : English or French + randomized controlled trial + 10 years (2013-2023) + preschool child : 2-5 years
Science Direct	(preschool OR kindergarten) AND mathematic AND (development OR capacities OR skills OR recommendation) Date : 2013-2023 Articles : review articles
Web of Science	(preschool OR kindergarten OR teachers OR nursery school) AND (mathematics OR mathematic) AND (stimulation OR development OR capacities OR skills OR advice OR recommendation) English or French + review article + 2013-2023

Tableau 1 : équation de recherche selon les bases de données utilisées

3. Critères d'inclusion et d'exclusion

L'établissement de critères d'inclusion et d'exclusion précis permet la sélection d'articles pertinents pour notre travail. En effet, la récence des études permet d'obtenir des données actualisées par rapport à l'évolution de l'enseignement en maternelle. Quant aux langues sélectionnées, elles éviteront une mauvaise compréhension des articles qui pourrait fausser nos conclusions.

Au vu de la quantité importante d'articles enregistrés avec les critères d'années initiaux (année de publication comprise entre 2013 et 2023), comparativement à la taille de notre mémoire, nous avons finalement choisi de réduire l'étendue des dates de publication des articles aux cinq

dernières années (de 2018 à 2023). Les critères d'exclusion des articles, quant à eux, sont restés inchangés.

Les critères d'inclusion initiaux des articles ont été les suivants :

- Sujet : études portant sur la prévention des TAM à destination des enseignants ;
- Date : études ayant été publiées entre 2013 et 2023 ;
- Langues : anglais, français ;
- Population : enfants d'âge préscolaire (entre trois et six ans).

Les critères d'inclusion finaux des articles ont été les suivants :

- Sujet : études portant sur la prévention des TAM à destination des enseignants ;
- Date : études ayant été publiées entre 2018 et 2023 ;
- Langues : anglais, français ;
- Population : enfants d'âge préscolaire (entre trois et six ans).

Les critères d'exclusion des articles ont été les suivants :

- Sujet : études portant sur un autre domaine que la cognition mathématique (langage oral, langage écrit) ;
- Population : études portant sur des enfants présentant des troubles associés (prématurité, syndrome d'alcoolisation foetale, syndrome de Down...).

4. Protocole de collecte des données

Un tableau récapitulatif des études sélectionnées dans notre étude présente les caractéristiques de chaque expérience, comme son nombre de participants, sa méthode, son type de groupe contrôle, ainsi que les principales conclusions. Il se situe en annexe 2.

Résultats

1. Sélection des articles

Pour présenter notre protocole de recherche de manière claire, nous avons réalisé un diagramme de flux (Figure 1) récapitulant les différentes étapes de notre travail. Notre recherche initiale a identifié 2132 articles à partir de diverses bases de données. Après avoir supprimé 153 doublons, nous avons examiné les titres de 1979 articles. Parmi eux, 1351 ont été exclus après lecture des titres. Nous avons ensuite trié les 628 articles restants selon leurs résumés, ce qui nous a permis d'obtenir 126 articles répondant à nos critères d'inclusion initiaux. Compte tenu de leur nombre élevé, nous avons ajouté un critère supplémentaire, réduisant ainsi la sélection à 53 articles. Après une lecture complète, nous avons finalement retenu dix-neuf articles pour notre analyse.

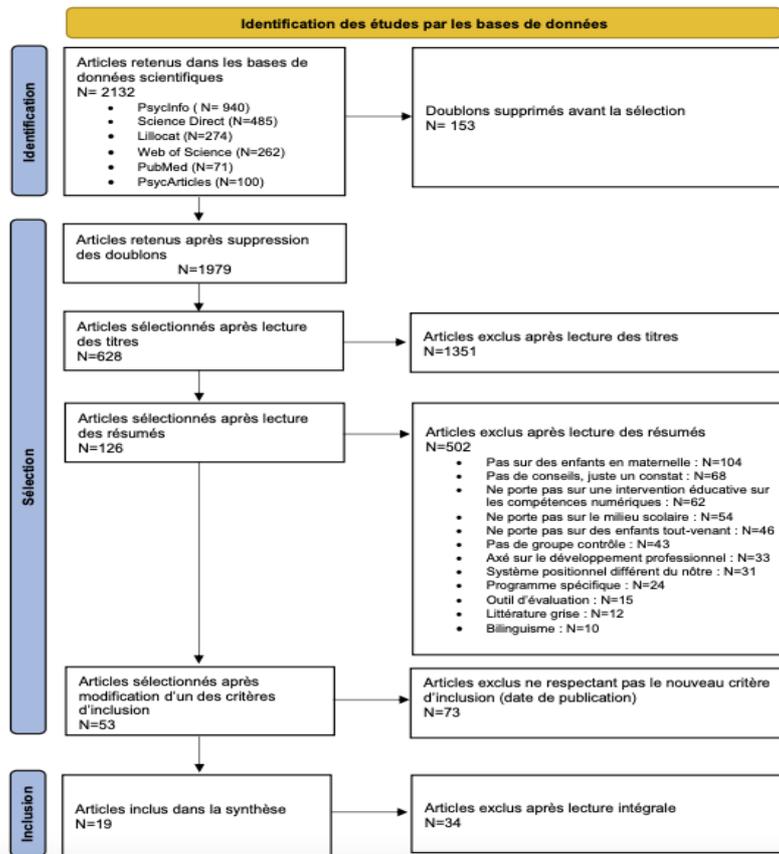


Figure 1 : Diagramme de flux de la sélection des articles pour la revue de la littérature.

De : Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D et al. (2021). The PRISMA 2020 statement : An updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, n71.

2. Extraction des données

2.1 Capacités cognitives générales

2.1.1 Les fonctions exécutives

Nous avons évoqué plus haut l'importance des fonctions exécutives dans le fonctionnement quotidien en général, et leurs rôles dans les compétences numériques en particulier. Bien qu'il n'existe pas de consensus entre les différentes études, nous nous sommes penchées sur une d'entre elles. En effet, une expérience (Prager et al, 2023) a été réalisée dans le but d'examiner si une intervention portant sur les fonctions exécutives, ou sur les chiffres, aurait des effets sur les fonctions exécutives et les compétences numériques des enfants en maternelle. Ainsi, 107 enfants de 3 à 4 ans au développement typique ont été sélectionnés. Leurs fonctions exécutives ont été testées, à travers une tâche de tri de cartes selon un critère précis (MEFS, Minnesota Executive Function Scale) et une épreuve d'inhibition (épreuve « Head-Toes-Knees-Shoulders »), où les enfants devaient réaliser des actions opposées à la consigne que les chercheurs leur énonçaient. En plus de ces mesures, les compétences numériques et mathématiques plus générales des enfants ont été évaluées, respectivement via les tests « Number Knowledge Test » et « Test of Early Mathematics Ability, Third Edition » (TEMA-3).

Après ces premiers tests, les enfants étaient répartis selon quatre conditions distinctes. Le premier groupe bénéficiait de séances d'entraînement de quinze minutes des fonctions exécutives, pendant lesquelles il devait répondre à des questions selon une consigne précise. Des images d'objets de différentes couleurs étaient présentées : par exemple, un camion bleu. Ensuite, les enfants ont reçu une instruction spécifique : ils devaient soit se concentrer uniquement sur la couleur de l'objet, soit sur sa forme. Ainsi, si un enfant voyait un camion bleu et devait se concentrer sur la couleur, il sélectionnait la voiture bleue. S'il fallait qu'il se concentre sur la forme, il devait sélectionner le camion rouge. Le niveau suivant pouvait être proposé dès lors que 80% de réussite était atteint. Le deuxième groupe suivait la condition « entraînement du nombre uniquement » : ici, l'intervention se concentrait sur la connaissance du nombre et le comptage. Les exercices proposés pouvaient prendre la forme de tâches de comptage de points ou de comparaison de magnitudes, où l'enfant devait montrer la carte contenant le plus de points. Les additions (+1) et soustractions (-1) étaient ensuite intégrées à l'entraînement. Le troisième groupe bénéficiait d'une formation combinée : les enfants devaient toujours compter des éléments, qui eux-mêmes étaient issus de l'intervention « fonctions exécutives uniquement ». Ainsi, au lieu de compter des points, les enfants devaient par exemple compter des voitures rouges et des bateaux bleus. Selon la consigne, ils devaient séparer les caractéristiques : l'expérimentateur pouvait demander « Combien il y a de bleus ? », puis « Combien il y a de voitures ? ». Des additions et soustractions étaient également présentées. Le dernier groupe était le groupe témoin : une histoire n'introduisant pas de contenu numérique ni de fonctions exécutives était lue aux enfants. Les fonctions exécutives, les compétences mathématiques et verbales ont été testées de nouveau après la fin des différentes interventions, en utilisant les mêmes tests qu'avant la phase expérimentale, afin d'évaluer l'évolution de chacun des groupes.

Les résultats de cette expérience ont montré que la formation combinée « nombres et fonctions exécutives » s'était avérée efficace pour améliorer les compétences numériques et

mathématiques générales des enfants. Cependant, les auteurs ont observé que les fonctions exécutives s'étaient améliorées de façon non significative. De plus, la formation nombres uniquement n'a pas abouti à une amélioration significative dans les compétences numériques et mathématiques : les auteurs évoquent un éventuel problème de l'intervention, qui n'aurait pas été assez stimulante pour les enfants. La formation « fonctions exécutives uniquement » a permis une amélioration sur une des mesures des fonctions exécutives et mathématiques. Les fonctions exécutives des enfants dans cette condition ont été améliorées, par rapport aux trois autres groupes. De plus, les résultats au Number Knowledge Test de ce même groupe ont été meilleurs qu'au TEMA-3 : l'entraînement s'est transféré aux compétences numériques mais pas aux compétences mathématiques, qui sont plus globales. En parallèle du renforcement des fonctions exécutives, d'autres auteurs se sont intéressés au développement de la mémoire de travail. Comme évoqué plus haut, elle joue un rôle important dans l'amélioration des compétences mathématiques. En intégrant des approches pour renforcer cette capacité cognitive, les enseignants peuvent offrir un soutien pour la stimulation des compétences mathématiques de leurs élèves.

2.1.2 La mémoire de travail

La mémoire de travail et son association avec les compétences numériques a également fait l'objet de plusieurs études. Parmi elles, les auteurs d'une étude interventionnelle (Praet & Desoete, 2019), portant sur 162 enfants, ont examiné les effets de la stimulation de la mémoire de travail, via des jeux informatiques, sur l'amélioration du calcul. Des tests, avant la répartition des groupes, ont été administrés aux participants, afin d'évaluer leurs compétences en mathématiques. Des épreuves du TEDI-MATH ont été utilisées : les enfants devaient compter jusqu'à un certain nombre, à partir d'un nombre particulier ou d'une borne à une autre. Les chercheurs ont souhaité évaluer les connaissances des principes du dénombrement des enfants. Des épreuves de calculs en images étaient aussi proposées. Les compétences verbales et non-verbales des enfants ont été mesurées, grâce à l'utilisation du test WIPPSI-NL.

Après ces évaluations, les enfants étaient répartis dans cinq conditions de formations différentes. Dans la première condition « comptage uniquement », les participants réalisaient des activités où ils devaient compter des animaux. Dans le groupe « comparaison uniquement », les enfants devaient indiquer, entre deux collections, laquelle était la plus importante. Dans la troisième formation « mémoire de travail, comptage et comparaison », les enfants devaient mémoriser et comparer ou compter des animaux. En parallèle, ils devaient mémoriser l'emplacement et la couleur de carrés apparaissant à l'écran. Un exemple est donné par les auteurs : « Lorsqu'un carré devenait blanc, l'enfant devait résoudre un problème de mots. Il devait répondre par oui ou par non. C'est alors seulement qu'il désigna la couleur et l'endroit qu'il avait vu. ». La quatrième condition possible était une condition combinée de comptage et de comparaison, mentionnées plus haut. Enfin, le groupe contrôle n'a pas reçu de formation : les activités habituelles étaient proposées en classe, et les enfants pouvaient jouer à des jeux non mathématiques sur l'ordinateur s'ils le souhaitaient. Les tests après les différentes interventions portaient sur les tâches de calcul en images, toujours issues du TEDI-MATH. Le KRT-R (Kortrijke Rekentest Revision) a été proposé en test de suivi différé et final : le calcul mental et la connaissance des nombres des enfants, peu importe le groupe, ont été évalués.

Les résultats de cette récente expérience ont montré que l'intervention combinée « comptage et comparaison » a abouti à de meilleurs résultats en mathématiques pour les enfants de ce groupe,

en comparaison aux enfants du groupe de la mémoire de travail. Les deux groupes ont cependant été meilleurs que le groupe « comptage uniquement » ou « comparaison uniquement », ainsi que le groupe témoin. Les enfants dont les compétences mathématiques étaient travaillées isolément ont tout de même obtenu de meilleurs résultats en calcul par rapport au groupe contrôle. Les enfants du groupe mémoire de travail et formation combinée avaient une meilleure connaissance des nombres et de meilleurs scores en calcul mental que les enfants du groupe témoin. Malgré ces différences dans les résultats, les compétences arithmétiques précoces de tous les enfants se sont améliorées avec le temps, mais l'amélioration a été plus nette pour le groupe qui jouait à des jeux combinés de comptage et de comparaison. Les enfants avec un trouble d'apprentissage qui avaient joué à un jeu de mémoire de travail ou à un jeu combiné de comptage et comparaison ont obtenu de meilleurs résultats que les enfants qui avaient de bons résultats au pré-test dans le groupe témoin en maternelle, même sept mois après la formation. Les auteurs de cet article concluent donc que la formation combinée et les jeux de mémoire de travail à la maternelle ont le potentiel d'améliorer les compétences arithmétiques précoces des jeunes enfants : en effet, ces interventions ont donné lieu aux scores de gain les plus élevés au post-test de la maternelle et au test de suivi de la première année, équivalent du cours préparatoire (CP) en France, au mois de janvier. Les auteurs des articles cités dans cette partie ont cherché à questionner l'impact de l'entraînement de la mémoire de travail sur les compétences mathématiques. Si les enseignants peuvent proposer d'entraîner cette capacité cérébrale, ils peuvent également aider leurs jeunes élèves à développer leur sens du nombre.

2.2 Compétences mathématiques

2.2.1 Le sens du nombre

Une étude datant de 2018 (Friso-van den Bos et al., 2018) a cherché à déterminer si le sens du nombre et l'arithmétique pouvaient être améliorés via une formation au comptage ou à la ligne numérique. Pour ce faire, 90 enfants de cinq ans ont été répartis dans trois groupes distincts : un groupe dans lequel l'intervention était ciblée sur le comptage, un deuxième groupe avec des enfants qui ont reçu un entraînement sur la droite numérique, ainsi qu'une condition contrôle, où les participants bénéficiaient des enseignements éducatifs habituels. Les interventions réalisées dans l'étude prenaient la forme de douze sessions d'environ vingt minutes, réparties sur six semaines. Dans le groupe comptage, les enfants étaient amenés à dénombrer des objets, compter à partir d'un nombre donné, ou réaliser des additions en s'appuyant sur leurs connaissances du comptage. Des jeux de société non-linéaires étaient également proposés, afin de ne pas faciliter l'acuité de la ligne numérique : les jeux de société linéaires ont été proposés pour le groupe « entraînement de la ligne numérique ». Dans cette deuxième condition, les enfants devaient s'entraîner à différentes tâches. Par exemple, une des activités proposées était un jeu de nombre-position : les enfants devaient positionner un nombre sur une ligne numérique vide. Le second jeu consistait au travail inverse : on montrait un emplacement sur la ligne, dont les bornes étaient indiquées, et l'enfant devait indiquer le nombre correspondant. La quatrième activité proposée était un jeu de société, dans lequel les enfants pouvaient se déplacer d'un certain nombre de cases, vers la droite ou vers la gauche, et devaient rejoindre la case d'un autre enfant. Il était explicitement demandé aux enfants d'indiquer quelles cases avaient été traversées. Les résultats de cette étude montrent que les enfants issus du groupe « comptage » ont surpassé les compétences mathématiques, en comparaison au groupe témoin. Le comptage semble permettre un vrai progrès des compétences en arithmétique. Des petits

gains, non significatifs, sont observés, également dans ce domaine, avec la formation sur les droites numériques. Cependant, les compétences analogiques n'ont pas du tout été améliorées, par aucune des deux formations.

L'intérêt des aides symboliques, comme la présence d'un boulier ou de mots-nombres entendus, a aussi fait l'objet de recherches scientifiques. Effectivement, une étude expérimentale (Hyde & al., 2021) avait pour objectif d'examiner le rôle des symboles dans le développement de la numératie chez les enfants en maternelle. Pour ce faire, les enfants participant à l'étude étaient répartis en cinq groupes : les différents groupes réalisaient la même tâche mais bénéficiaient d'aides différentes pour pouvoir les réussir. La consigne était toujours la même : les enfants devaient sélectionner le panier contenant le plus de tortues. Dans le groupe « énumération séquentielle non-symbolique » et « énumération non-symbolique basée sur un ensemble », les enfants regardaient une animation dans laquelle une tortue était mise dans un panier, d'autres tortues étaient ajoutées et l'enfant pouvait ensuite découvrir le nombre de tortues contenues dans l'autre panier. Dans ces deux conditions, l'enfant ne reçoit pas d'aide symbolique verbale. La condition C propose des aides symboliques visuelles grâce à la présence d'un boulier. Les deux dernières conditions étaient « comptage verbal séquentiel » et « comptage verbal basé sur un ensemble ». Dans la quatrième condition, les enfants entendent également une voix qui compte les tortues ajoutées dans le panier dont le contenu total est caché : la voix compte « une, deux, trois ». Dans la condition « comptage verbal basé sur un ensemble », la voix indique « un plus deux égal trois ». Un schéma précis des différentes conditions est présent à la fin de la revue (Annexe 1). Les résultats de cette expérience ont montré que les aides symboliques, lors d'une tâche de comparaison numérique, peuvent conduire à des améliorations dans la maîtrise du dénombrement, la correspondance terme à terme et le calcul exact. Cependant, aucune différence d'efficacité entre les aides symboliques verbales (par exemple : entendre « trois ») et non-verbales (par exemple : la correspondance entre l'action et le boulier) n'a été trouvée. Ces conclusions soulignent l'importance de comprendre les mécanismes sous-jacents à l'utilisation des aides symboliques dans l'apprentissage mathématique. En poursuivant cette exploration, une étude menée en 2018 a examiné diverses approches d'enseignement de la cardinalité pour déterminer leur efficacité relative.

2.2.2 La cardinalité

Une étude (Paliwal & Baroody, 2018) avait pour objectif de tester différents enseignements de la cardinalité, afin de déceler lequel serait le plus efficace. Pour ce faire, 49 enfants ont participé à cette expérience. Les séances d'intervention duraient environ 30 minutes, deux fois par semaine, pendant cinq semaines consécutives. Après quatre sessions préliminaires communes à chaque groupe, pendant lesquelles les enfants devaient percevoir la quantité d'une collection sans passer par le comptage, les participants ont été répartis en trois groupes distincts.

Le premier groupe (« étiqueter d'abord ») devait d'abord donner le nombre total d'une collection, puis dénombrer chacun de ses éléments : selon l'exemple donné par les auteurs, devant une collection de trois éléphants, l'expérimentateur disait « Regarde, il y a trois éléphants. On va les compter », puis comptait chaque éléphant. Dans le deuxième groupe « compter d'abord », ici, l'examineur compte en premier : « un, deux, t-r-o-i-s », en mettant l'accent sur le dernier nombre. Il précise « il y a trois éléphants ». Enfin, dans la troisième condition, l'examineur ne fait que compter les animaux d'une collection, sans préciser son nombre total : il passe directement à un

autre exemple. Ce dernier groupe est le groupe contrôle. Dans tous les groupes, les collections pouvaient prendre la forme d'images d'animaux, d'objets concrets, ou de points à compter.

Les résultats de cette étude ont montré que le premier groupe (étiqueter puis compter) et le deuxième groupe (compter puis étiqueter) ont respectivement peu et beaucoup progressé dans la compréhension de la cardinalité, par rapport au groupe « compter seulement ». Effectivement, on observe que les enfants de ces deux premiers groupes ont de meilleures compétences en post-test, sur les mesures directes et indirectes de la compréhension de la cardinalité. Le groupe témoin, en revanche, n'a pas amélioré ses compétences et, de ce fait, transféré ses connaissances vers le comptage cardinal. Enfin, les résultats de cette étude nous apprennent également que la subitisation jusque trois objets peut être essentielle pour accéder à une meilleure compréhension de la cardinalité, tandis que la subitisation jusque quatre peut sous-tendre l'acquisition des connaissances générales de la cardinalité. En effet, la subitisation permet d'accéder directement à la cardinalité : en évitant le passage par le comptage, il est possible d'obtenir plus rapidement le total de la collection.

Les auteurs d'une autre étude (O'Rear & McNeil, 2019) ont mené une expérience durant six semaines, au cours desquelles ils ont cherché à examiner l'impact de la subitisation sur la compréhension du principe de cardinalité. Ainsi, les auteurs ont d'abord évalué les compétences des enfants : leurs capacités de comptage, leur compréhension de la cardinalité, ainsi que leur subitizing. Les 106 enfants d'âge préscolaire, retenus à la suite des premiers tests, ont été séparés en trois groupes. Pendant les trois premières semaines de l'expérience, le premier groupe « étiquette en premier » a utilisé des cartes pour étiqueter des tailles d'un à six éléments. Les enfants devaient dire, par exemple, combien il y avait de poissons sur une carte, sans pouvoir les compter. Pendant les trois semaines suivantes, les enfants de ce groupe ont reçu un enseignement de comptage et d'étiquetage. Le deuxième groupe, « compter puis étiqueter », a reçu, lors des trois premières semaines de l'expérience, une formation consacrée à deux livres, qui contenaient les mêmes images que celles des cartes de la première condition. Pour les trois semaines restantes, les enfants devaient répéter l'étiquette cardinale de la collection : par exemple, l'expérimentateur montrait l'image en disant « Regarde ! Il y a trois poissons ! Pouvez-vous dire ça avec moi ? Trois poissons ! ». Les enfants devaient ensuite compter le nombre d'animaux avec l'examineur. Ils recevaient des corrections selon si le comptage ou l'étiquette cardinale étaient incorrects. Les enfants du dernier groupe lisaient simplement un livre avec l'examineur : il s'agissait de la condition contrôle.

Les résultats de cette étude soutiennent l'idée d'un raisonnement analogique tel que décrit par Mix et al. (2012, cité par O'Rear & McNeil, 2019), qui suggère qu'une meilleure capacité de subitisation peut favoriser le développement de la compréhension de la cardinalité. Les participants qui ont suivi la méthode « étiquetage d'abord » réussissaient davantage à attribuer des étiquettes cardinales à des ensembles, sans avoir besoin de compter. Cependant, le groupe qui a combiné le comptage puis l'étiquetage a également montré une amélioration dans cette capacité par rapport au groupe témoin. Cette amélioration de l'attribution d'étiquettes aux ensembles semble accélérer le développement de la compréhension de la cardinalité. Ces découvertes mettent en lumière l'importance des méthodes d'enseignement dans le développement des compétences numériques des jeunes enfants. Dans le prolongement de cette réflexion, d'autres études visaient à évaluer l'efficacité de deux approches d'enseignement distinctes pour renforcer les compétences numériques chez les enfants en maternelle.

2.3 Aspect sensoriel et relation avec l'espace

2.3.1 Activité physique et musicale

Une étude expérimentale contrôlée et randomisée (Elofsson et al., 2018) a été menée dans le but d'évaluer l'efficacité de deux méthodes d'enseignement pour améliorer les compétences numériques des enfants en maternelle. La première méthode, « Maths en Action » (condition MIA), est caractérisée par la proposition d'activités physiques et musicales. La deuxième méthode propose des activités numériques ordinaires (condition CNA). L'expérience avait également pour but d'évaluer le lien entre arithmétique et compétences motrices. Pour réaliser cette expérience, 53 enfants d'âge préscolaire ont été inclus dans l'étude. Les expérimentateurs ont d'abord évalué leurs connaissances des nombres, en demandant aux participants de compter jusqu'au nombre le plus haut possible, entre deux bornes, ou de nommer des nombres arabes. Les enfants devaient aussi placer des nombres sur une ligne numérique, ou réaliser des additions et soustractions. Les compétences motrices, telles que l'équilibre et la coordination œil-main, ont également été mesurées.

Après ces tests, les enfants étaient assignés à une des deux conditions, MIA ou CNA, pendant trois semaines, à raison de deux fois par semaine pendant trente minutes. Dans le groupe MIA, les enfants réalisaient des activités mathématiques qui impliquaient des chansons et du rythme. Par exemple, les enfants pouvaient être invités à chanter des chansons sur le comptage ascendant ou à rebours, ou sur les opérations mathématiques. Les compétences motrices étaient également travaillées pendant 10 minutes, à chaque session d'entraînement. En ce qui concerne la condition CNA, les enfants pouvaient pratiquer des activités ordinaires de comptage ascendant ou à rebours, ou nommer les chiffres arabes entre un et dix. Ils jouaient également, dans ce groupe, à des jeux tels que le memory, orienté sur les additions et soustractions, le bingo ou à des jeux de cartes. Les résultats de cette expérience montrent que les compétences des enfants dans la condition MIA pour le comptage ascendant et descendant et la dénomination des chiffres ont été améliorées significativement, par rapport au groupe CNA. Concernant la ligne numérique, le groupe MIA a également obtenu de meilleures performances que le groupe CNA. Les auteurs indiquent également que, selon leurs analyses, les compétences sensori-motrices sont corrélées à toutes les compétences mathématiques, excepté la soustraction. Les enfants avec des difficultés motrices bénéficiaient moins des effets du groupe MIA que leurs pairs qui n'avaient pas de difficultés.

Les auteurs d'une autre étude (Gable et al., 2020) ont mené un essai expérimental sur un enseignement des nombres, à partir de l'activité physique. Dans un premier temps, les compétences mathématiques des 51 enfants participant à l'expérience étaient testées. Parmi elles, le comptage à voix haute, la compréhension de la cardinalité et la comparaison de magnitude ont été mesurés. Ensuite, les enfants étaient répartis dans deux groupes expérimentaux. Dans la première condition, ils jouaient à une adaptation physique du jeu « The Great Race », qui a été créé auparavant par d'autres auteurs (Ramani & Siegler, 2008, cité par Gable et al., 2020), où l'enfant doit tourner une roulette pour savoir de combien de cases avancer sur un plateau, numéroté de un à dix. Dans ce groupe « activité physique » de l'étude de Gable et ses collègues, l'objectif du jeu était le même, à la seule exception que les enfants ne devaient pas déplacer leur pion, mais sauter de case en case, tout en comptant à partir de leur propre case. Par exemple, si un enfant était sur la case 2 et devait avancer de trois cases, il devait compter « trois, quatre, cinq », tout en sautant sur chaque case. Dans le deuxième groupe expérimental, les enfants jouaient au jeu traditionnel. Les enfants des deux groupes jouaient trois fois au même jeu à chaque séance, pendant quinze à vingt minutes, sur une

période de trois semaines. Le troisième groupe était un groupe témoin : il ne recevait aucune intervention. Les résultats de cette étude ne sont malheureusement pas concluants : les auteurs observent un effet de temps pour toutes les compétences mathématiques, indépendamment du groupe assigné aux enfants. Ils ne peuvent donc pas conclure, à travers ces constats, que l'intervention physique chez les enfants soit un moyen efficace de développer les compétences mathématiques. Cependant, la question demeure complexe quant à l'impact de l'intervention physique sur le développement des compétences mathématiques chez les enfants. En lien avec cette problématique, une étude interventionnelle menée en 2020 a cherché à éclaircir le lien potentiel entre la connaissance des doigts et les capacités arithmétiques.

2.3.2 Motricité fine

Une étude interventionnelle (Schild et al., 2020) a sélectionné 102 enfants afin de participer à une expérience, visant à déterminer l'existence d'un lien causal entre la connaissance des doigts et les capacités arithmétiques. Les compétences mathématiques et sensori-motrices des enfants, comme la latéralité et la connaissance de leurs doigts, ont d'abord été mesurées. Les enfants du groupe expérimental recevaient une intervention, qui comprenait la réalisation de dix-huit jeux. Ces activités prenaient la forme de jeux courts, portant sur la gnosie digitale (c'est-à-dire la connaissance de ses doigts) et sur les capacités mathématiques. Ainsi, les enfants pouvaient jouer à des jeux associant les doigts et les nombres, comme par exemple des jeux de domino avec d'un côté, la représentation digitale du chiffre trois, et de l'autre, le chiffre « 3 », présenté en nombre arabe, à associer aux autres cartes. Le groupe contrôle jouait à des jeux phonologiques. Les deux interventions étaient quotidiennes et duraient dix minutes, pendant dix semaines. Contrairement aux hypothèses des auteurs, les enfants des conditions expérimentale et contrôle ont vu leurs résultats en gnosie digitale et compétences mathématiques augmenter, sans que leur groupe d'intervention n'ait eu d'importance. Les auteurs mettent en avant, pour justifier ces résultats, une possible inefficacité de l'entraînement numérique, ou un transfert potentiel de l'entraînement phonologique sur les capacités mathématiques.

D'autres auteurs d'une étude (Ollivier et al., 2020) ont évalué l'impact d'un apprentissage explicite combinant la motricité fine des doigts et leur utilisation, pour composer et décomposer des nombres. L'intervention a duré dix semaines. Les trente-six enfants âgés de cinq ans en moyenne, étaient d'abord testés sur leurs compétences de résolutions de problèmes issus du TEDI-MATH, qui pouvaient être arithmétiques ou verbaux. L'examineur devait observer si les enfants utilisaient spontanément leurs doigts lors de la réalisation des problèmes. Dans le groupe « utilisation des doigts », les enfants étaient amenés à différencier leurs doigts, en réalisant des figures digitales tous les jours. La composition et décomposition des nombres se faisaient par un jeu de pari, dans le groupe expérimental, où les enfants devaient annoncer leurs paris en montrant sur leurs doigts un nombre, puis deux dés étaient lancés : le participant qui avait trouvé le nombre indiqué sur le dé obtenait un point. Ce jeu durait quinze minutes et était réalisé quotidiennement. Enfin, toujours dans ce groupe d'utilisation de doigts, une activité permettant le développement de la sensibilité et la décomposition des nombres était proposée. Pendant des sessions de quinze minutes, les enfants devaient utiliser leurs doigts pour toucher à l'aveugle des pastilles et restituer la quantité totale. Selon l'exemple cité par les auteurs, si les enfants touchaient trois et cinq pastilles, ils devaient dire « huit ». Le groupe contrôle a poursuivi les apprentissages comme habituellement enseignés. Les

résultats de cette expérience ont montré que les enfants qui utilisaient spontanément leurs doigts pendant la résolution de problème étaient ceux qui avaient les meilleures performances dans cette tâche. L'apprentissage du mouvement et les instructions explicites sur la manipulation des doigts ont conduit à une amélioration des compétences mathématiques et à une meilleure utilisation des doigts lors du test final par rapport au groupe témoin. La conclusion de l'étude évoque que l'utilisation des doigts peut aider à construire les représentations numériques, qui pourra ensuite se traduire par une amélioration dans la capacité de résolution de problèmes chez les enfants.

Plus précisément, une étude menée en 2022 (Orrantia & Munez, 2022) cherchait, ici, à savoir si les modèles de doigts influençaient ou non la compréhension de la cardinalité. Les enfants devaient soit compter un ensemble de jetons et étiqueter la taille d'ensemble sans utilisation des doigts (condition 1), soit avec enrichissement digital (condition 2), ce qui permettait une association entre mots-nombres, modèles de doigts et quantités. Les résultats ont mis en évidence que les enfants en condition 2 ont surpassé les résultats de l'autre condition. En effet, les conditions du groupe 2 permettaient un renforcement de la connaissance de la cardinalité mathématique. Ces résultats soulignent l'importance des approches pédagogiques innovantes dans le développement des compétences mathématiques chez les enfants, ce qui rejoint l'objectif de l'étude menée par Cohrssen et Nicklas (2019).

2.4 Ressources pédagogiques

2.4.1 Les jeux de société

Une étude de Cohrssen et Nicklas (2019), avait pour objectif de tester une approche North Territory (NT), qui est une approche australienne basée sur le jeu. Nous avons analysé cette étude afin de pouvoir en tirer des enseignements à mettre en place en France, si cette approche semblait efficace. Soixante-dix-sept enfants d'environ quatre ans ont participé à cette étude. Elle se déroulait de février 2017, lorsque les enfants étaient évalués pour la première fois, à juin 2017, où les compétences mathématiques post-intervention des participants ont été mesurées. Les premiers tests portaient sur le comptage, l'identification de nombres et la résolution de problèmes mathématiques. Les enfants ont été ensuite séparés en deux groupes : le premier groupe réalisait des activités du programme NT, tandis que le deuxième groupe continuait de suivre les enseignements habituels.

Les jeux mathématiques préscolaires du programme NT ont été développés par l'université de Melbourne, dans le but d'être facilement réalisables par les enseignants, tout en restant agréables pour les enfants. Les jeux mathématiques peuvent porter sur les formes et le raisonnement spatial, les nombres et le comptage, la collection de données, les mesures ou les algorithmes, c'est-à-dire des suites logiques suivant un modèle. Pour chaque jeu, le matériel nécessaire, les objectifs, les termes mathématiques à utiliser, ainsi que les instructions, sont décrits. Un petit encadré explique l'importance de l'activité. Les résultats ont montré que les enfants du groupe d'intervention avaient, de façon générale, des compétences mathématiques plus basses que l'autre groupe lors du pré-test. Cependant, leurs performances se sont grandement améliorées, ce qui montre qu'ils ont acquis davantage de compétences mathématiques que le groupe sans intervention. De plus, selon les auteurs, conseiller aux enseignants du préscolaire de mettre en place des jeux d'apprentissage, en décrivant les objectifs de façon explicite, pourrait avoir une influence positive sur le développement des capacités mathématique de leurs jeunes élèves.

Les jeux ont l'avantage d'attirer la curiosité des enfants. Ainsi, de nombreuses études ont cherché à établir l'intérêt d'une activité ludique pour encourager l'apprentissage des mathématiques. Ainsi, une étude (Vlassis et al., 2023) s'est fondée sur un jeu de cartes qui visait à travailler la composition (par exemple, savoir reconnaître que 3 et 5 donnent 8) et la décomposition (par exemple, savoir dire que 8 c'est 3 et 5, ou 4 et 4 etc.) des nombres. La décomposition des nombres était particulièrement difficile pour les jeunes enfants. Le groupe qui a bénéficié d'une intervention ludique a obtenu des résultats significativement meilleurs que le groupe contrôle ayant reçu une instruction traditionnelle. Ces différences d'évolution concernent toutes les catégories de compétences arithmétiques, surtout pour les nombres inférieurs à sept, ainsi que dans la compréhension de la partie au tout. Une autre expérience (Ramani & Daubert, 2020) a sollicité 148 enfants de maternelle, afin d'évaluer l'impact du jeu sur les compétences mathématiques. Les participants étaient répartis en trois groupes : un groupe a bénéficié d'un jeu sur tablette nommé « The Great Race », dont le but du jeu est d'avancer son pion du nombre de cases demandées jusqu'à atteindre la ligne d'arrivée. Le deuxième groupe jouait au jeu « Recall Them All », visant à travailler leur mémoire de travail, tandis que le troisième groupe (groupe contrôle) a joué à Rainbow Race. Les résultats ont montré que les deux jeux ont été efficaces pour améliorer la mémoire de travail des deux premiers groupes. De plus, les effets ont duré au moins un mois. Une autre expérience (Lange et al., 2021) s'est inspirée du jeu « The Great Race », en ajoutant une composante de soutien parental dans l'étude. Les résultats ont confirmé que l'intervention ludique a permis d'améliorer les tâches d'identification numérique, c'est-à-dire la capacité de lire les nombres (l'enfant voit 4, il dit /katʁ/). Cependant, il n'y a eu aucun effet du traitement sur les distinctions de grandeurs numériques, comptage ou estimation de droite numérique.

Une étude menée en 2021 en Allemagne (Gasteiger & Moeller, 2021) avait pour but d'établir l'intérêt des jeux du commerce dans la stimulation des capacités numériques précoces, en particulier en ce qui concerne les jeux avec des codes analogiques (comme les points sur un dé) plutôt que des codes symboliques. Les jeux utilisant un dé traditionnel devraient améliorer le comptage des enfants et la cardinalité, principe qu'ils utilisent lorsqu'ils se déplacent (les enfants obtiennent 4 sur le dé, ils avancent en comptant, leur dernier nombre énoncé sera le nombre de cases totales qu'ils ont dépassées). Les compétences numériques précoces ont été mesurées en pré-test et en post-test. À cet âge-là, les enfants n'avaient pas reçu d'entraînement numérique. Ainsi, l'étude a montré qu'il existe des différences significatives entre les deux groupes pour chaque tâche (comptage, dénombrement de collection, reconnaissance des nombres arabes, reconnaissance des mots-nombres, calcul basé sur des objets). Jouer à des jeux de société conventionnels permet effectivement un bon développement des compétences mathématiques précoces. L'utilisation du dé à points permet le comptage et la subitisation conceptuelle, qui sont associés aux compétences mathématiques. Les bénéfices de l'intervention semblaient toujours présents, même un an après la fin de l'intervention. De plus, la subitisation conceptuelle semble être sensible à l'entraînement et posséder des effets durables dans le temps. Le comptage précoce, quant à lui, est un prédicteur pertinent des compétences futures en mathématiques.

La présentation des jeux de société peut avoir une incidence sur leur efficacité d'utilisation dans les apprentissages. En effet, une étude expérimentale (Schiffman & Laski, 2018), menée sur trois semaines, a cherché à étudier l'hypothèse selon laquelle un matériel aligné, c'est-à-dire avec des nombres présentés de la même façon que la ligne numérique mentale, favoriserait un meilleur apprentissage que ceux sans alignement. En effet, elle activerait, selon l'approche de l'alignement cognitif, la ligne numérique mentale des enfants. Pour ce faire, les auteurs ont d'abord analysé les

performances des enfants en addition, et particulièrement l'utilisation de stratégies mathématiques. Trois stratégies étaient qualifiées d'avancées : le comptage « à partir de », la décomposition, ou la récupération. Le comptage « à partir de » consistait à partir d'un des nombres, par exemple deux, et d'additionner le deuxième, par exemple deux, en comptant « trois, quatre, cinq ». La décomposition était notée comme utilisée quand l'enfant décomposait le problème original en plusieurs autres plus simples. Enfin, la récupération impliquait de récupérer la réponse directement en mémoire (par exemple, récupérer $2+3=5$ en mémoire) : il fallait alors que l'enfant réussisse à répondre en moins de trois secondes, pour que la stratégie soit cotée avancée.

Pendant les quatre sessions d'enseignement, les enfants jouaient au jeu « Building Tens », où ils devaient compléter une carte, sur laquelle figurait un nombre arabe, donnée par l'expérimentateur, afin que la somme des deux cartes soit égale à dix. Dans le groupe « irrégulier », les nombres étaient écrits en nombres arabes et représentés de manière irrégulière : par exemple, la quantité sept était représentée par le chiffre sept, accompagnés de sept étoiles réparties aléatoirement sur la carte. Dans le groupe « linéaire », la grandeur numérique de chaque carte était représentée sous forme d'unités organisées de façon linéaire. Les deux groupes recevaient ensuite la même intervention : après cet exercice de complétion de dix, des plateaux de jeu étaient présentés aux enfants. Ils étaient uniformes dans les deux conditions, et d'une disposition visuelle de dix unités représentées soit par les étoiles aléatoires, soit par les carrés linéaires. En dessous de ces représentations, une zone délimitée était prévue pour placer les additions des neuf problèmes pratiqués. Les joueurs disposaient d'un ensemble de pièces, chacune représentant les valeurs numériques de un à neuf, sans symboles. Pendant le jeu, l'expérimentateur sélectionnait une valeur numérique et demandait à l'enfant de trouver l'addition qui, combinée à celle-ci, équivalait à dix. Les séances étaient progressivement plus exigeantes.

Les résultats de cette étude confirment l'hypothèse initiale des auteurs : la représentation des quantités de manière linéaire permettrait de soutenir la comparaison des grandeurs et les compétences en addition. Ils observent également davantage d'utilisation de stratégies avancées que les enfants ayant un matériel irrégulier, qui ne présentent pas d'amélioration dans l'élaboration de stratégies. Ces conclusions mettent en évidence l'importance de supports pédagogiques adaptés, pour soutenir le développement des compétences mathématiques chez les enfants. En accord avec cette perspective, une étude contrôlée et randomisée a été conduite par Outhwaite et Faulder (2019), afin d'explorer les bénéfices des outils technologiques.

2.4.2 Des applications ludiques comme outil d'apprentissage

Investir des outils très présents dans la vie des enfants peut être une bonne idée pour stimuler leurs compétences académiques en général, et mathématiques en particulier. Une étude contrôlée et randomisée a été menée par Outhwaite et Faulder, en 2019. Les auteurs ont cherché à étudier les progrès des enfants utilisant une application d'apprentissage mathématique. Pour ce faire, 389 enfants, âgés d'environ quatre ans, ont été répartis dans trois groupes. Le premier groupe bénéficiait d'une application mathématique et d'heures d'enseignement traditionnel en classe ; le deuxième groupe avait accès à une application mathématique sans enseignement traditionnel, tandis que le troisième groupe avait un enseignement standard, sans accès à l'outil technologique. Avant l'assignation à un groupe, les compétences mathématiques des participants ont été évaluées, en utilisant le PTM5. Ce protocole a pour objectif d'évaluer quatre composantes des mathématiques : la maîtrise des faits et des procédures, la compréhension conceptuelle (l'identification des concepts

« plus » et « moins », ainsi que la reconnaissance des nombres) ; le raisonnement mathématique et la résolution de problème. Il a été administré aux enfants une semaine avant le début de l'intervention, puis une semaine également après la période de douze semaines d'intervention.

Les deux applications mathématiques « Maths 3-5 » et « Maths 4-6 » ont été développées par *onebillion*, une organisation d'éducation non-lucrative. « Maths 3-5 » proposait des jeux afin de développer les connaissances factuelles des participants, telles que le comptage jusqu'à trois, la complétion d'algorithmes ou l'appariement de deux objets identiques. Cette application, destinée aux plus jeunes, mettait également à disposition des activités de comparaison pour travailler la compréhension de concepts mathématiques, mais également la résolution de problèmes. « Maths 4-6 », quant à elle, proposait un niveau supérieur : les enfants pouvaient jouer à des jeux nécessitant de compter jusqu'à vingt ou cent, et le concept de mesures était ajouté. Le raisonnement mathématique était également abordé.

Les conclusions de cette étude indiquent que l'utilisation conjointe d'applications centrées sur l'enfant, conformes au programme scolaire et exploitant la technologie des tablettes tactiles interactives, s'avère être une méthode efficace pour offrir un enseignement de qualité favorisant le développement précoce des compétences mathématiques chez les enfants âgés de quatre à cinq ans en première année d'école. En effet, les résultats ont montré que le premier groupe avait plusieurs mois d'avance sur le deuxième groupe, qui avait lui-même plusieurs mois d'avance en compétences mathématiques par rapport au groupe témoin. De plus, les auteurs évoquent que l'utilisation des applications, bien qu'elles proposent du contenu mathématique de haute qualité et des objectifs d'apprentissage précis, doit effectivement être proposée, en complément d'un enseignement standard et ne remplace pas la présence d'un enseignant en classe.

2.4.3 Importance de la présence de l'enseignant

Les enseignants jouent un rôle important dans l'éducation des enfants : ils sont les premiers interlocuteurs à pouvoir venir en aide à l'élève en cas de besoin, mais ils peuvent aussi varier leurs méthodes d'apprentissage en fonction des aptitudes de l'enfant. Une étude (Hamamouche & Chernyak, 2020) s'est tournée vers l'impact de la contextualisation de la division. Pour cette expérience, 113 enfants étaient séparés en deux groupes : l'un pour qui la division était contextualisée sous forme de partages entre deux animaux, et l'autre pour qui elle était présentée sous forme de partage entre deux formes géométriques. Pour les deux conditions, les enfants devaient opter pour une réponse verbale (dire combien ils doivent donner à l'autre animal ou forme pour égaliser les collections) puis une réponse comportementale (donner à l'autre animal ou forme pour égaliser les collections). Les observations ont montré que le contexte prédisait la performance de la division, contrairement à l'addition ou la soustraction, et permettait une meilleure compréhension des fractions ensuite. Cependant, l'étude ne montre pas si cette compréhension est transférable à une tâche plus scolaire sous forme de papier-crayon. Présenter la division comme un partage entre deux entités permet de donner plus de contexte aux mathématiques, et donc de les faire passer de l'abstrait au concret. L'interaction physique avec l'objet représentant l'unité facilite la performance des enfants.

Discussion

1. Synthèse des données récoltées

L'objectif de notre revue est de donner des conseils, à destination des enseignants, afin de stimuler les compétences mathématiques précoces chez les enfants en maternelle, âgés entre trois et six ans. Les données extraites de nos articles ont permis de collecter des informations fiables et récentes sur le développement des enfants en mathématiques. Grâce à nos recherches, nous avons pu analyser dix-neuf articles issus de plusieurs bases de données scientifiques. La lecture des titres s'est réalisée en double aveugle avec Roxane Chevalier, puis nous avons lu les résumés avant de procéder à l'étude intégrale des articles. Afin de proposer un support clair et pratique pour les enseignants, nous avons élaboré des fiches de présentation d'activités et de conseils, qui sont disponibles en annexe.

Une étude (Praet & Desoete, 2019) a mis en évidence que les enfants qui comptaient et comparaient des collections obtenaient de meilleures capacités que les participants des autres groupes. Les enseignants peuvent ainsi proposer une activité, où les enfants pourront choisir un livre en plaçant une bille dans un contenant et sélectionner celui qui est le plus populaire. La description précise de cette activité de choix de livres est proposée en annexe.

De façon plus générale, les professeurs peuvent travailler les compétences numériques précoces des enfants, tout en stimulant les fonctions exécutives. L'étude portant sur l'entraînement des fonctions exécutives (Prager et al., 2023) a en effet conclu que les formations proposant du comptage et le travail des fonctions exécutives s'avéraient efficaces pour développer les compétences mathématiques des enfants en maternelle. En se fondant sur l'exemple de ces mêmes auteurs, on peut par exemple imaginer des exercices combinant des tris de cartes selon un critère : le jeu de société « Set : la preuve par trois » (Falco, 2001) peut être utilisé par les professeurs. Il s'agit d'un jeu de tri de cartes selon quatre caractéristiques : la couleur, la forme, le nombre ou le motif des différents symboles. Cela permet de travailler la capacité inhibitrice des enfants, et leur flexibilité, si la consigne varie régulièrement. Les enseignants peuvent alors demander « Combien sont bleus ? Combien sont rayés ? », par exemple. La subitisation des enfants peut également être travaillée grâce à ce matériel : le nombre de symboles sur chaque carte est compris entre un et quatre. Les études suivantes indiquent également que la capacité de subitisation des enfants peut améliorer leur compréhension de la cardinalité.

Nous avons abordé l'enseignement de la cardinalité grâce aux études de Paliwal et Barrody (2018) et de O'Rear et McNeil (2019) : ces études ne s'accordent pas totalement sur le moment le plus pertinent pour énoncer la valeur finale d'une collection. Dans les deux études, l'étiquette cardinale semble cependant importante : selon les chercheurs des différentes études, compter sans étiqueter la collection aboutit à de moindres améliorations des compétences mathématiques chez les enfants en maternelle. Ainsi, on peut imaginer une lecture d'histoires avec les jeunes élèves, où il faudrait dire le nombre d'animaux présents sur les pages, tout en concluant par l'étiquette cardinale. Comme les deux études ne s'accordent pas sur le moment (avant ou après le comptage) où la cardinalité doit être évoquée pour améliorer sa compréhension chez les enfants, l'enseignant peut varier l'apprentissage. Par exemple, il peut d'abord énoncer le nombre d'animaux : « Oh ! Il y a quatre animaux, pouvez-vous les compter ? », mais également proposer : « On compte les animaux : un, deux, trois, quatre ! Alors, combien y-a-t'il d'animaux ? ».

Les aides symboliques peuvent être utilisées comme appui dans les résolutions de problèmes. Elles pourraient améliorer le dénombrement, la correspondance terme à terme, et le calcul exact, ce qui aidera les enfants à résoudre le problème proposé. En effet, faire du lien entre les différents

codes, comme le suggère le modèle du triple code de Dehaene, permet d'accéder à un sens du nombre solide. On pourrait imaginer une activité où les enseignants proposent un problème au groupe classe, tout en utilisant un boulier pour représenter l'ajout ou la suppression d'éléments dans l'énoncé. En reprenant l'exemple de l'étude de Hyde et ses collègues (2021), l'enseignant pourrait représenter un pot dans lequel il y aurait un bonbon et l'autre pot dans lequel il montrerait qu'il y a deux bonbons. En ajoutant deux bonbons dans le premier récipient, il pourrait entrer dans le boulier « trois », en déplaçant trois boules sur la gauche, ce qui permettrait de faciliter la représentation mentale de la situation actuelle aux enfants. Dans le cas où l'utilisation du boulier ne serait pas possible ou inutile pour l'objectif travaillé, les aides peuvent être également verbales en étant tout à fait efficaces : l'enseignant pourrait donc proposer « Je mets un bonbon, deux bonbons, trois bonbons, et dans l'autre pot j'ai deux bonbons, montrez-moi où il y a le plus de bonbons ! ».

Les auteurs de l'étude comparant les formations « comptage » et « ligne numérique » (Friso-van den Bos et al., 2018) ont conclu que le comptage permettait une amélioration des compétences arithmétiques. Ainsi, les enseignants en maternelle peuvent inviter les enfants à compter, dans la vie de tous les jours, de plusieurs façons différentes, à partir d'un nombre ou d'une borne à une autre, par exemple. Nous pouvons aussi imaginer que le professeur désignerait chaque jour un « compteur d'élèves » différent, qui devrait compter le nombre d'enfants présents dans la classe. Cette activité pourrait évoluer au fur et à mesure du temps et gagner en difficulté, pour qu'elle reste stimulante et motivante pour les enfants.

Les enseignants peuvent aussi encourager les enfants à se mouvoir dans l'espace et à s'intéresser aux jeux de rythme (Elofsson et al., 2018), afin d'améliorer leurs compétences pour la ligne numérique mentale et dans le traitement des magnitudes numériques. Des chansons sur la chaîne numérique verbale ou sur les doubles, par exemple, pourront être créées et chantées avec les enfants. Certaines sont également disponibles en ligne.

Concernant les jeux de société traditionnels, les enseignants peuvent les utiliser sans restriction, tout en étant vigilants à la présentation du jeu en question. Le matériel doit être présenté linéairement (Schiffman & Laski, 2018), afin d'accroître leurs performances dans la ligne numérique mentale. De plus, un dé traditionnel présentant des structures de points canoniques permettra d'améliorer les compétences de comptage des enfants et leur cardinalité (Gasteiger & Moeller, 2021). Il permet également d'améliorer la subitisation, qui améliore elle aussi la cardinalité (Paliwal & Baroody, 2018). De plus, l'utilisation de jeux de plateaux, où il faut déplacer son pion d'un nombre de cases indiquées par le dé, permet de se familiariser avec les mots-nombres. Le calcul peut être également entraîné, en faisant le lien entre le numéro de la case où le pion se trouve et son déplacement vers une case plus lointaine. Les enseignants peuvent utiliser ces jeux, en étant présents auprès des enfants pour étayer le jeu avec des incitations. Par exemple, ils pourront dire « Oui tu as raison, tu étais à la quatrième case, tu as fait trois, tu es donc arrivé à la septième case, quatre et trois font sept ! ».

Les jeux mathématiques sur tablette peuvent faire partie des outils innovants et motivants pour l'enseignement des mathématiques : en effet, les résultats de l'étude d'Outhwaite et Folder menée en 2019 montrent que les applications spécifiquement mathématiques couplées à un enseignement traditionnel, permettent une amélioration des compétences mathématiques.

Les données de cette revue systématique encouragent également les enseignants à poser des questions ouvertes aux enfants. Effectivement, proposer aux enfants de verbaliser leur réflexion leur permet de faire des hypothèses et d'accéder à une meilleure compréhension de ce qu'ils connaissent ou ne connaissent pas. Les inciter à proposer une réponse verbale puis comportementale peut

également être bénéfique. Par exemple, si un enfant répond à une question concernant un problème mathématique, le professeur peut répondre « Oui, comment as-tu fait pour trouver la réponse ? ». L'enfant tentera donc d'expliquer son raisonnement, que le professeur pourra reformuler afin de clarifier la pensée de l'enfant.

Donner du contexte aux situations d'apprentissage des enfants permet d'en améliorer leur compréhension (Hamamouche & Chernyak, 2020).

2. Qualités de notre revue

La revue systématique de la littérature réalisée sur les conseils destinés aux enseignants pour stimuler les compétences mathématiques en maternelle se distingue par certaines qualités. Tout d'abord, la méthodologie rigoureuse adoptée permet de maximiser la fiabilité et la validité des résultats obtenus. En respectant les étapes de la revue systématique, notamment la définition de critères d'inclusion et d'exclusion, la recherche exhaustive de sources pertinentes et l'analyse méthodique des données, cette étude permet de minimiser le risque des différents biais, bien qu'ils puissent toujours exister.

De plus, la revue est présentée comme quelque chose de pratique : des conseils sont dispensés de façon concrète, afin que les enseignants puissent les appliquer le plus facilement possible, selon leurs moyens et besoins pédagogiques. Les conseils issus de cette revue sont en effet formulés dans le but d'être facilement compréhensibles et intégrables dans le quotidien des enseignants en maternelle, ce qui permet d'en faire un outil pertinent pour améliorer la qualité de l'enseignement des mathématiques, dès les premières années de scolarité.

En outre, notre revue aborde une large gamme de termes et de concepts pertinents, offrant ainsi une vision exhaustive et nuancée des différentes dimensions de la stimulation des compétences mathématiques chez les jeunes enfants. La recherche de données probantes pouvant être chronophage et fastidieuse pour les professionnels, notre travail permet de fournir une synthèse et peut être une base pour des recherches complémentaires.

Enfin, la revue se distingue par son caractère intéressant et pertinent. En mettant en lumière des recommandations pratiques et fondées sur des preuves scientifiques présentes dans la littérature, elle contribue de manière significative à l'enrichissement des pratiques pédagogiques en matière d'enseignement des mathématiques en maternelle. En fournissant aux enseignants des outils et des orientations pour optimiser leur enseignement, cette revue joue un rôle essentiel dans la promotion de la réussite éducative des jeunes enfants.

3. Limites de notre revue

Dans l'analyse de notre revue, il est essentiel de reconnaître certaines limites. D'abord, la longueur de cette revue étant réglementée, cela a conduit à la possibilité d'omettre des articles pertinents qui auraient pu enrichir davantage le corpus examiné. En effet, la sélection des articles a pu négliger certaines contributions dans le domaine étudié. Des critères ont dû être choisis, afin de pouvoir fournir une analyse satisfaisante des articles finalement sélectionnés. Malgré des efforts rigoureux pour garantir une représentation équilibrée et complète, cette lacune demeure une réalité

inévitables dans tout processus de recherche. Ainsi, il est impératif de reconnaître ces limites comme un élément intrinsèque de l'étude et de les considérer dans l'interprétation des conclusions tirées.

Ensuite, il est crucial de reconnaître la présence potentielle d'un biais de publication. Il désigne le phénomène selon lequel les études obtenant des résultats négatifs ou non-significatifs ont moins de probabilité d'être publiées (Song et al., 2010, cité par Dwan et al., 2013). Nous sommes tout de même parvenues à obtenir des articles qui ne s'accordaient pas toujours entre eux (comme par exemple, l'étude de Paliwal & Baroody, 2018, et l'étude de O'Rear & McNeil, 2019), afin de pouvoir nuancer l'efficacité de certaines formations proposées dans les articles. Cependant, des perspectives alternatives ou des résultats divergents issus de sources moins connues ont pu être sous-représentés ou négligés. Il est donc primordial d'être conscient de ce biais potentiel et de le prendre en compte lors de l'interprétation des résultats et des conclusions présentés dans le mémoire.

Il est important de préciser que les enseignants peuvent rencontrer des difficultés à appliquer tous les conseils proposés ci-dessus, en raison des contraintes imposées par l'exécution d'un programme éducatif. Les enseignants sont souvent soumis à des programmes officiels qui déterminent le contenu, la méthodologie et les objectifs pédagogiques de leur enseignement. Ils sont également souvent limités par les moyens qui sont alloués. Par conséquent, même s'ils reconnaissent la valeur des suggestions présentées plus haut, ils peuvent être limités dans leur capacité à les mettre en œuvre de manière complète ou immédiate, en raison des exigences institutionnelles auxquelles ils doivent se conformer. Il est donc essentiel d'en tenir compte dans la formulation des recommandations et d'adopter une approche flexible qui permette aux enseignants d'adapter les recommandations à leur contexte spécifique tout en tenant compte des exigences du programme éducatif.

4. Apport pour la pratique éducative

La présente revue offre des contributions significatives à la pratique éducative en fournissant des conseils de stimulation précieux aux enseignants de maternelle. En identifiant et en détaillant des stratégies spécifiques de stimulation, il offre aux enseignants des outils concrets pour enrichir l'environnement d'apprentissage des jeunes enfants. Ces conseils peuvent aider les enseignants à concevoir des activités et des interactions qui favorisent le développement cognitif, social, émotionnel et moteur des enfants en bas âge. En mettant en lumière l'importance de la stimulation précoce et en fournissant des recommandations pratiques basées sur des recherches actuelles, mon mémoire offre une ressource précieuse aux enseignants pour améliorer leur pratique quotidienne. Ces conseils peuvent non seulement enrichir l'expérience éducative des enfants en maternelle, mais aussi contribuer à leur préparation pour les étapes ultérieures de leur parcours éducatif. En résumé, notre revue systématique de la littérature vise à renforcer l'efficacité des pratiques éducatives en maternelle en fournissant des conseils pratiques et fondés sur des preuves pour stimuler le développement global des enfants à un stade crucial de leur vie.

Conclusion

La présente revue a poursuivi l'objectif de synthétiser les données probantes disponibles dans la littérature scientifique concernant les interventions visant à stimuler les compétences numériques précoces chez les enfants en maternelle. À travers l'analyse de dix-neuf articles abordant une variété de thématiques, nous avons pu extraire des recommandations précieuses applicables par les enseignants dans le contexte scolaire. Nos conclusions soulignent l'importance de cibler le développement des fonctions exécutives et de la mémoire, de mettre en place des supports symboliques et d'intégrer le langage spatial dans les activités pédagogiques. De plus, nous avons identifié le potentiel des activités motrices et sensorielles, telles que se déplacer dans l'espace ou utiliser les doigts de manière appropriée, pour renforcer les compétences mathématiques des enfants. La sélection minutieuse de jeux de société et de matériel de manipulation revêt également une importance capitale, guidée par les enseignements de la littérature scientifique.

Ces recommandations ont le potentiel de générer un impact significatif à long terme sur le développement des compétences numériques des enfants en bas âge. En effet, en intégrant ces pratiques dans leur enseignement quotidien, les enseignants peuvent contribuer à façonner un environnement éducatif plus enrichissant et propice à l'épanouissement cognitif des jeunes apprenants.

Cependant, il convient de reconnaître que cette revue comporte certaines limitations. Bien que nous ayons mis en œuvre une méthodologie rigoureuse, nous sommes conscients des biais inhérents à notre sélection d'articles, notamment le biais de publication. De plus, nos choix ont nécessité une certaine subjectivité dans la sélection des articles les plus pertinents et des recommandations les plus exploitables.

Pour de futures recherches, il serait judicieux d'approfondir l'exploration des interventions spécifiques visant à renforcer les compétences numériques précoces, en particulier en examinant les effets à long terme de ces interventions sur le parcours académique et professionnel des enfants. De plus, une exploration plus poussée des interactions entre les différents domaines du développement cognitif des enfants et l'impact des interventions sur ces interactions pourrait enrichir notre compréhension des mécanismes sous-jacents. Enfin, une attention particulière devrait être accordée à la mise en œuvre et à l'adaptation des recommandations dans des contextes éducatifs variés, afin de garantir leur applicabilité et leur efficacité dans divers environnements scolaires.

Bibliographie

Les références précédées d'un astérisque () désignent les articles analysés pour notre revue systématique de la littérature.*

Agostini, F., Zoccolotti, P., & Casagrande, M. (2022). Domain-General Cognitive Skills in Children with Mathematical Difficulties and Dyscalculia : A Systematic Review of the Literature. *Brain Sciences*, 12(2), 239.

American Psychiatric Association. (2015). *Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders : DSM-5* (fifth Edition). American Psychiatric Publishing.

Armbruster, D. J. N., Ueltzhöffer, K., Basten, U., & Fiebach, C. J. (2012). Prefrontal Cortical Mechanisms Underlying Individual Differences in Cognitive Flexibility and Stability. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 24(12), 2385-2399.

Ashcraft, M. H. (2002). Math Anxiety : Personal, Educational, and Cognitive Consequences. *Current Directions in Psychological Science*, 11(5), 181-185.

Baggetta, P., & Alexander, P. A. (2016). Conceptualization and Operationalization of Executive Function. *Mind, Brain, and Education*, 10(1), 10-33.

Barrouillet, P., & Camos, V. (2007). Le développement de la mémoire de travail. *Psychologie du développement et de l'éducation*, 51-86.

Beilock, S. L., & Willingham, D. T. (2014). Math anxiety: Can teachers help students reduce it ? Ask the cognitive scientist. *American educator*, 38(2), 28-32.

Blouin, Y. (1985). *La réussite en mathématiques au collégial : le talent n'explique pas tout*. Cégep Garneau.

Brin-Henry, F., Courrier, C., Lederlé, E., & Masy, V. (2011). Mathématiques. Dans *Dictionnaire d'Orthophonie*. Isbergues, France : Ortho Édition.

Censabella, S., & Noël, M.-P. (2007). The Inhibition Capacities of Children with Mathematical Disabilities. *Child Neuropsychology*, 14(1), 1-20.

Chao, W., Wang, E., Yuan, T., He, Q., Zhang, E., & Zhao, J. (2022). Characteristics inhibition defects of children with developmental dyscalculia : Evidence from the ERP. *Frontiers in Psychiatry*, 13, 877651.

Charest-Girard, C., & Parent, V. (2018). Entraînement de la mémoire de travail : Effets sur la performance en mathématiques. *Canadian Journal of Experimental Psychology / Revue canadienne de psychologie expérimentale*, 72(2), 127-139.

Charlemagne, F. (2023). *Conseils et activités de stimulation en mathématiques à destination des parents d'enfant d'âge préscolaire : contribution à l'élaboration de la plateforme de prévention « LOLEMATH »*. [Mémoire non publié]

Chevalier, N. (2010). Les fonctions exécutives chez l'enfant : Concepts et développement. *Canadian Psychology / Psychologie canadienne*, 51(3), 149-163.

- Chevillard, Q., Helloin, M.-C., & Lafay, A. (2022). Validation d'épreuves de dénombrement et de calcul contenues dans la batterie de tests Examath 5-8. *Glossa*, 134, 55-77.
- CNRS (2022). Étude de l'impact économique des Mathématiques en France. *Les assises des mathématiques*.
- * Cohrssen, C., & Niklas, F. (2019). Using mathematics games in preschool settings to support the development of children's numeracy skills. *International Journal of Early Years Education*, 27(3), 322-339.
- Dehaene, S. & Cohen, L. (1995). Towards an anatomical and functional model of number processing. *Mathematical cognition*, 1, 83-120.
- Diamond, A. (2013). Executive functions. *Annual Review of Psychology*, 64(1), 135–168.
- Dunifon, R., Duncan, G. J., & Brooks-Gunn, J. (2001). As ye sweep, so shall ye reap. *American Economic Review*, 91(2), 150-154.
- Dwan, K., Gamble, C., Williamson, P. R., Kirkham, J. J., & Reporting Bias Group. (2013). Systematic review of the empirical evidence of study publication bias and outcome reporting bias—an updated review. *PloS one*, 8(7), e66844.
- Ehrlich, M. F., & Delafoy, M. (1990). La mémoire de travail: structure, fonctionnement, capacité. *L'année Psychologique*, 90(3), 403-427.
- * Elofsson, J., Englund Bohm, A., Jeppsson, C., & Samuelsson, J. (2018). Physical activity and music to support pre-school children's mathematics learning. *Education 3-13*, 46(5), 483-493.
- Friedman, N. P., & Miyake, A. (2004). The Relations Among Inhibition and Interference Control Functions : A Latent-Variable Analysis. *Journal of Experimental Psychology: General*, 133(1), 101-135.
- * Friso-van Den Bos, I., Kroesbergen, E. H., & Van Luit, J. E. H. (2018). Counting and Number Line Trainings in Kindergarten : Effects on Arithmetic Performance and Number Sense. *Frontiers in Psychology*, 9, 975.
- Gable, S., Fozi, A. M., & Moore, A. M. (2021). A Physically-Active Approach to Early Number Learning. *Early Childhood Education Journal*, 49(3), 515-526.
- * Gasteiger, H., & Moeller, K. (2021). Fostering early numerical competencies by playing conventional board games. *Journal of Experimental Child Psychology*, 204, 105060.
- Gedda, M. (2017). Traduction française des lignes directrices PRISMA pour l'écriture et la lecture des revues systématiques et des méta-analyses. *Revue Francophone Internationale de Recherche Infirmière*, 3(1), 19-24.
- Gross-Tsur, V., Manor, O., & Shalev, R. S. (1996). Developmental dyscalculia: Prevalence and demographic features. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 38(1), 25-33
- * Hamamouche, K., Chernyak, N., & Cordes, S. (2020). Sharing scenarios facilitate division performance in preschoolers. *Cognitive Development*, 56, 100954.

- Halberda, J., & Feigenson, L. (2008). Developmental change in the acuity of the « number sense » : The approximate number system in 3-, 4-, 5-, and 6-year-olds and adults. *Developmental Psychology*, 44(5), 1457-1465.
- Halberda, J., Mazocco, M. M. M., & Feigenson, L. (2008). Individual differences in non-verbal number acuity correlate with maths achievement. *Nature*, 455(7213), 665-668.
- Hanin, V., Lepareur, C., Hascoët, M., Pouille, J., & Gay, P. (2022). Quelle remédiation à l'anxiété de performance en mathématiques ? Une étude comparant trois conditions d'évaluation en vue de minimiser l'anxiété mathématique. *La Revue LEE*, 5.
- * Hyde, D. C., Mou, Y., Berteletti, I., Spelke, E. S., Dehaene, S., & Piazza, M. (2021). Testing the role of symbols in preschool numeracy : An experimental computer-based intervention study. *PLOS ONE*, 16(11), e0259775.
- Jordan, N. C., Devlin, B. L. (2023). Prédicteurs de réussite et de difficultés d'apprentissage en mathématiques chez le jeune enfant. Dans l'Encyclopédie sur le développement des jeunes enfants.
- Jordan, N. C., & Levine, S. C. (2009). Socioeconomic variation, number competence, and mathematics learning difficulties in young children. *Developmental disabilities research reviews*, 15(1), 60-68.
- Jordan, N. C., Kaplan, D., Nabors Oláh, L., & Locuniak, M. N. (2006). Number sense growth in kindergarten: A longitudinal investigation of children at risk for mathematics difficulties. *Child development*, 77(1), 153-175.
- Lafay, A. (2016). *Déficits cognitifs numériques impliqués dans la dyscalculie développementale* [Thèse de doctorat non publiée].
- Landerl, K., Bevan, A., & Butterworth, B. (2004). Developmental dyscalculia and basic numerical capacities : A study of 8–9-year-old students. *Cognition*, 93(2), 99-125.
- * Lange, A. A., Brenneman, K., & Sareh, N. (2021). Using number games to support mathematical learning in preschool and home environments. *Early Education and Development*, 32(3), 459-479.
- Lemire Auclair, E. (2005). Dyscalculie : quand les nombres se confondent. *Pédagogie collégiale*.
- Lubienski, S. T. (2000). A clash of social class cultures? Students' experiences in a discussion-intensive seventh-grade mathematics classroom. *The Elementary School Journal*, 100(4), 377-403.
- Markowski, G. (2005). Types et rôle de la mémoire humaine. *Synergies Pologne*, (1), 100-105.
- Mille, R. (2020). L'anxiété mathématique : de quoi s'agit-il et comment agir pour la diminuer chez nos élèves ? *Éducation*.
- Ministère de l'Éducation Nationale, de la Jeunesse et des Sports (2021). L'ouverture aux mathématiques à l'école maternelle et au CP.

- Ministère de l'Éducation Nationale, de la Jeunesse et des Sports (2020). TIMSS 2019 Mathématiques au niveau de la classe de quatrième : Des résultats inquiétants en France. Note d'information de la direction de l'évaluation, de la prospective et de la performance DEPP n°20.47.
- Moll, K., Kunze, S., Neuhoff, N., Bruder, J., & Schulte-Körne, G. (2014). Specific Learning Disorder : Prevalence and gender differences. *PLOS ONE*, 9(7).
- Noël, E., & Van Der Linden, P. (2016). Le réveil peropératoire en anesthésie pédiatrique: revue de la littérature. *Rev Med Brux*, 37(6), 476-482.
- Noël, M., Rousselle, L. & De Visscher, A. (2013). La dyscalculie développementale : à la croisée de facteurs numériques spécifiques et de facteurs cognitifs généraux. *Développements*, n°15, 24-31.
- * Ollivier, F., Noël, Y., Legrand, A., & Bonneton-Botté, N. (2020). A teacher-implemented intervention program to promote finger use in numerical tasks. *European Journal of Psychology of Education*, 35(3), 589-606.
- * O'Rear, C. D., & McNeil, N. M. (2019). Improved set-size labeling mediates the effect of a counting intervention on children's understanding of cardinality. *Developmental Science*, 22(6).
- * Orrantia, J., Muñoz, D., Sanchez, R., & Matilla, L. (2022). Supporting the understanding of cardinal number knowledge in preschoolers : Evidence from instructional practices based on finger patterns. *Early Childhood Research Quarterly*, 61, 81-89.
- * Outhwaite, L. A., Faulder, M., Gulliford, A., & Pitchford, N. J. (2019). Raising early achievement in math with interactive apps : A randomized control trial. *Journal of Educational Psychology*, 111(2), 284-298.
- * Paliwal, V., & Baroody, A. J. (2018). How best to teach the cardinality principle? *Early Childhood Research Quarterly*, 44, 152-160.
- Poncelet, D., Mancuso, G., Dierendonck, C., Kerger, S., Pelt, V. (2014). Le vécu scolaire des parents: fardeau ou cadeau ? Étude de l'influence du vécu scolaire parental sur le sentiment d'auto-efficacité des parents ainsi que sur le vécu scolaire et les performances scolaires des enfants. *Actes du 2ème colloque international du LASALE sur le décrochage scolaire* (p. 103).
- * Praet, M., & Desoete, A. (2019). A pilot study about the effect and sustainability of early interventions for children with early mathematical difficulties in kindergarten. *Learning Disabilities: A Contemporary Journal*, 17(1), 29-40.
- * Prager, E. O., Ernst, J. R., Mazzocco, M. M. M., & Carlson, S. M. (2023). Executive function and mathematics in preschool children : Training and transfer effects. *Journal of Experimental Child Psychology*, 232, 105663.
- * Ramani, G. B., Daubert, E. N., Lin, G. C., Kamarsu, S., Wodzinski, A., & Jaeggi, S. M. (2020). Racing dragons and remembering aliens : Benefits of playing number and working memory games on kindergartners' numerical knowledge. *Developmental Science*, 23(4), e12908.
- Région Auvergne-Rhône-Alpes (2017). *Les troubles DYS, Grande cause régionale 2017, Le livre blanc*. Repéré sur <https://www.calameo.com/read/000119781e0377da9fa70>

* Schiffman, J., & Laski, E. V. (2018). Materials count : Linear-spatial materials improve young children's addition strategies and accuracy, irregular arrays don't. *PloS One*, 13(12), e0208832.

* Schild, U., Bauch, A., & Nuerk, H.-C. (2020). A finger-based numerical training failed to improve arithmetic skills in kindergarten children beyond effects of an active non-numerical control training. *Frontiers in Psychology*, 11.

Stanovich, K. E. (1986). Matthew effects in reading: Some consequences of individual differences in the acquisition of literacy. *Reading Research Quarterly*, 21, 360-406.

Shalev, R. S., Auerbach, J., Manor, O., & Gross-Tsur, V. (2000). Developmental dyscalculia : prevalence and prognosis. *European child & adolescent psychiatry*, 9(S2), S58-S64.

* Vlassis, J., Baye, A., Auqui re, A., de Chambrier, A.-F., Dierendonck, C., Giauque, N., Kerger, S., Luxembourger, C., Poncelet, D., Tinnes-Vigne, M., Tazouti, Y., & Fagnant, A. (2023). Developing arithmetic skills in kindergarten through a game-based approach : A major issue for learners and a challenge for teachers. *International Journal of Early Years Education*, 31(2), 419-434.

Von Aster, M. G., & Shalev, R. S. (2007). Number development and developmental dyscalculia. *Developmental medicine & child neurology*, 49(11), 868-873.

Sitographie :

Les missions de l'orthophoniste. Fédération Nationale des Orthophonistes. Consulté le 5 mai 2023,   l'adresse <https://www.fno.fr/ressources-diverses/les-missions-de-lorthophoniste-2/>

Liste des annexes

Annexe n°1 : Représentation schématique des cinq conditions de jeu, issue de l'étude de Hyde et al., 2021

Annexe n°2 : Tableau récapitulatif des études sélectionnées

Annexe n°3 : Première activité proposée aux enseignants

Annexe n°4 : Deuxième et troisième activités proposées aux enseignants

Annexe n°5 : Conseils à destination des enseignants