

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



# MEMOIRE

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

**Roxane CHEVALIER**

soutenu publiquement en juin 2024

**Les actions de stimulation mathématique qui sont les plus efficaces à l'école maternelle pour accéder à de meilleures compétences numériques : une revue systématique de la littérature**

MEMOIRE dirigé par

**Sandrine MEJIAS**, Maîtresse de conférences, Enseignant-chercheur, Université de Lille, Lille.

# Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier ma directrice de mémoire, Sandrine Mejias, pour son accompagnement toujours bienveillant tout au long de la réalisation de ce mémoire.

Merci également à ma lectrice, Lucie Macchi, qui m'a apporté de nombreuses idées d'amélioration.

Merci d'avance aux membres du jury pour le temps qu'ils consacreront à la lecture de ce mémoire.

Merci également à l'ensemble des maîtres de stage qui m'ont accueillie et m'ont partagé leurs connaissances, leur savoir-faire et leur expérience tout au long de mes études.

Un grand merci à Méliné Jarrin, ma collaboratrice dans la réalisation de ce mémoire, je suis très heureuse d'avoir partagé cette expérience avec toi.

Merci à mes amies lilloises : Alice, Camille, Eugénie, Julie et Méliné. Ces cinq années n'auraient pas eu la même saveur sans vous.

Je remercie également mon amie, Margaux Ancèle, qui a toujours été là pour moi.

Merci infiniment à ma famille pour son soutien constant. Merci à Alexis de m'avoir toujours encouragée et accompagnée.

Enfin, je remercie tout particulièrement ma sœur, Colombe, pour son aide si précieuse au quotidien.

## **Résumé :**

L'étude internationale sur les mathématiques et les sciences (TIMSS) de 2019 a mis en évidence une diminution du niveau des élèves français en mathématiques. Ce constat est préoccupant car cette discipline est particulièrement importante pendant le parcours scolaire et dans la vie quotidienne. Il devient impératif d'intervenir précocement auprès des enfants afin de développer leurs compétences mathématiques dès la petite enfance. C'est pourquoi notre travail s'inscrit dans une démarche de recueil des actions efficaces de stimulation mathématique à l'école maternelle pour accéder à de meilleures compétences numériques et vise à contribuer aux actions de prévention primaire en orthophonie en alimentant la plateforme informatisée LoLeMath. Pour ce faire, nous avons réalisé une revue systématique de la littérature à partir de plusieurs bases de données. 19 articles ont été sélectionnés dans la synthèse finale puis analysés. Ces travaux portaient sur différentes compétences à travailler à l'école maternelle comme les fonctions exécutives, la mémoire de travail, les compétences mathématiques, la motricité fine ou encore l'activité physique. Nous avons établi, grâce à la littérature, un état des lieux des conseils de stimulation mathématique pouvant être mis en place en école maternelle.

## **Mots-clés :**

Revue de la littérature, compétences mathématiques précoces, stimulation, enseignement, enfants d'âge préscolaire.

## **Abstract :**

The 2019 Trends in Mathematics and Science Study (TIMSS) has revealed a decline in the level of French students in mathematics. This is a cause for concern, as mathematics is a crucial subject throughout a child's education and is an integral part of daily life. It is therefore essential to intervene with young children in order to develop their mathematical skills from early childhood. That's why we have been working to compile effective mathematical stimulation actions in preschool to improve numerical skills. Our study aims to contribute to primary prevention actions in speech and language therapy by feeding the LoLeMath computerised platform. To achieve this, we carried out a systematic review of the literature using several databases. 19 articles were selected and analysed for the final synthesis. These articles covered a range of skills for children at preschool, such as executive functions, working memory, mathematical skills, fine motor skills and physical activity. Using the literature, we have created an inventory of practical mathematical stimulation tips that can be easily implemented in preschool activities.

## **Keywords :**

Literature review, early mathematical skills, stimulation, education, preschool children.

# TABLE DES MATIÈRES

<b>INTRODUCTION.....</b>	<b>1</b>
<b>CONTEXTE THEORIQUE, BUTS ET HYPOTHESES.....</b>	<b>1</b>
1. LA COGNITION MATHÉMATIQUE.....	1
1.1. Les fondements théoriques.....	2
1.2. L'enseignement des mathématiques en maternelle.....	3
2. LE TROUBLE DES APPRENTISSAGES MATHÉMATIQUES / DYSCALCULIE.....	3
2.1. L'épidémiologie du TAM / dyscalculie.....	4
2.2. Les causes du TAM / dyscalculie.....	4
2.2.1. TAM dû à un trouble de la cognition numérique.....	4
2.2.2. TAM dû à un trouble des fonctions cognitives générales.....	5
3. L'IMPORTANCE D'UNE INTERVENTION PRECOCE.....	6
3.1. La prévention primaire.....	6
3.2. La plateforme LoLeMath.....	6
3.3. La stimulation précoce des compétences mathématiques.....	7
3.3.1. Les conséquences d'un manque de stimulation.....	8
3.3.2. L'apparition d'une anxiété mathématique.....	8
3.4. La place prépondérante des mathématiques en France.....	9
4. BUT DU MEMOIRE.....	9
<b>METHODE.....</b>	<b>10</b>
1. BASE DE DONNEES ET EQUATION DE RECHERCHE.....	10
2. SELECTION DES ARTICLES.....	11
3. PROTOCOLE DE COLLECTE DES DONNEES.....	11
<b>RESULTATS.....</b>	<b>11</b>
1. SELECTION DES ARTICLES.....	11
2. EXTRACTION DES DONNEES.....	12
2.1. Compétences cognitives.....	12
2.1.1. Fonctions exécutives.....	12
2.1.2. Mémoire de travail.....	13
2.2. Compétences mathématiques.....	15
2.3. Compétences motrices.....	23
2.3.1. Motricité fine.....	23
2.3.2. Activité physique.....	25
<b>DISCUSSION.....</b>	<b>26</b>
1. SYNTHÈSE DES RESULTATS OBTENUS.....	26
2. QUALITE ET VALIDITE DES RESULTATS.....	28
3. CONTENU CREE.....	28
4. APPORT POUR LA PRATIQUE CLINIQUE.....	28
5. LIMITES DE LA REVUE.....	29
6. PISTES DE RECHERCHES.....	29
<b>BIBLIOGRAPHIE.....</b>	<b>31</b>
<b>LISTE DES ANNEXES :.....</b>	<b>38</b>
ANNEXE 1 : DIAGRAMME DE FLUX.....	38
ANNEXE 2 : TABLEAU RECAPITULATIF DES ARTICLES DE LA SYNTHÈSE.....	38
ANNEXE 3 : ACTIVITE N°1.....	38
ANNEXE 4 : ACTIVITE N°2 ET 3.....	38
ANNEXE 5 : CONSEILS A DESTINATION DES ENSEIGNANTS.....	38

# Introduction

En 2019, une étude internationale consacrée aux mathématiques et aux sciences (TIMSS) révèle que le niveau des élèves français en mathématiques est en baisse. Pourtant, les mathématiques jouent un rôle important dans la vie quotidienne, et des difficultés rencontrées dans ce domaine peuvent influencer un choix d'études et donc une future profession. Parmi les élèves confrontés à ces difficultés, certains présentent un trouble d'apprentissage en mathématiques. Il s'agit d'un trouble qui est encore peu étudié et sous-diagnostiqué en France. Pourtant, selon de nombreuses études, il toucherait près de 6,5% de la population (Gross-Tsur, 1996). Il est donc important d'intervenir auprès des enfants avant leur entrée en école élémentaire pour les aider à développer leurs premières compétences en mathématiques.

Notre travail a pour objectif de participer aux actions de prévention primaire qui font partie de la pratique orthophonique. Il permettra d'alimenter la plateforme informatisée LoLeMath. Cette dernière propose de nombreux éléments de prévention dans le domaine de la cognition mathématique à destination des parents, des professionnels de la santé, mais également des professionnels de l'éducation. Or, selon une étude de Landais (2018), plus de 25% des professeurs des écoles ont découvert l'existence du trouble d'apprentissage en mathématiques par le biais d'un orthophoniste. Cela souligne alors l'importance d'informer et d'accompagner les professeurs des écoles dans ce domaine.

C'est dans cette optique que s'inscrit notre mémoire. Nous chercherons à établir une revue de la littérature sur les actions de stimulation mathématique qui sont les plus efficaces à l'école maternelle pour accéder à de meilleures compétences numériques. Nous réaliserons alors une synthèse objective des données de la littérature disponibles sur ce sujet. Celle-ci permettra de répertorier l'ensemble des actions de stimulation qui peuvent être mises en place par les professeurs des écoles auprès des enfants de moins de six ans dans le but de limiter l'apparition de troubles d'apprentissage en mathématiques.

Tout d'abord, nous évoquerons la cognition mathématique et les grands modèles théoriques qui permettent de l'expliquer. Nous nous attarderons sur l'enseignement des mathématiques en maternelle pour comprendre comment les compétences numériques sont abordées avant l'entrée à l'école élémentaire. Puis, nous définirons les troubles des apprentissages mathématiques, et nous en détaillerons les causes. Enfin, nous soulignerons l'importance de la mise en place d'une intervention précoce pour participer à la prévention primaire des troubles d'apprentissage en mathématiques. Pour cela, nous présenterons la plateforme LoLeMath, puis nous insisterons sur les conséquences d'un manque de stimulation des compétences numériques, et enfin nous discuterons de la place des mathématiques en France.

Puis, dans la partie méthodologie, nous indiquerons comment nous réaliserons cette revue systématique de la littérature. Nous préciserons alors quelle méthode sera utilisée et comment nous sélectionnerons les articles.

## Contexte théorique, buts et hypothèses

### 1. La cognition mathématique

La cognition mathématique, inscrite en 2018 dans la nomenclature générale des actes professionnels des orthophonistes, correspond au fonctionnement cognitif du traitement du nombre.

Cette notion regroupe donc les connaissances numériques des êtres humains mais aussi leur façon de penser et de traiter l'information mathématique. Différents processus mentaux complexes entrent en jeu, tels que la perception, la mémoire, l'attention, la résolution de problèmes, ou encore la représentation mentale.

De nombreuses recherches en psychologie cognitive ont témoigné du fait que la cognition mathématique est influencée par différents facteurs comme l'éducation, l'expérience, la culture, les capacités cognitives individuelles, et les approches d'enseignement et d'apprentissage des mathématiques. Les apports des travaux issus de la neuropsychologie, notamment le modèle du fonctionnement normal adulte, mais aussi de l'imagerie cérébrale et de la psychologie expérimentale ont permis la réalisation de modèles qui expliquent le fonctionnement cognitif du traitement du nombre.

## **1. 1. Les fondements théoriques**

Parmi les modèles nous éclairant sur le traitement du nombre, le modèle anatomo-fonctionnel du Triple Code de Dehaene permet de relier la représentation symbolique et la quantité analogique associée par le biais de trois codes (Dehaene, 1992). Le code analogique correspond à la représentation des quantités, présente même chez les bébés dès six mois (Xu & Spelke, 2000). Elle est activée au sein du cortex pariétal dans le sillon intrapariétal (Dehaene et al., 2003). Ce sens du nombre, qui s'affine au cours du développement des enfants, est symbolisé par une ligne numérique mentale qui présente horizontalement les quantités : des petits nombres à gauche aux plus grands nombres à droite (Dehaene, 1996). Puis, le code verbal correspond à la représentation symbolique par des nombres verbaux oraux et écrits. Enfin, le code arabe est associé à la représentation symbolique écrite des nombres à l'aide des dix chiffres arabes (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 et 9). Ce modèle du Triple Code est un modèle de référence pour rendre compte du fonctionnement normal du raisonnement numérique, mais aussi des troubles chez les personnes présentant une acalculie et des déficits des enfants et adultes dyscalculiques. Cependant, il n'informe pas sur les aspects développementaux, or ces différentes représentations ne sont pas acquises simultanément.

Ainsi, il est intéressant d'aborder également le modèle développemental de la cognition numérique de von Aster et Shalev (2007) qui décrit quatre étapes importantes dans le développement du traitement du nombre. La première est celle du système numérique approximatif. Il s'agit d'un système inné permettant de comparer les quantités analogiques. La deuxième étape correspond au système verbal, elle est associée au niveau préscolaire et comprend la chaîne numérique et la connaissance des mots de nombres. Puis, la troisième étape, celle du système numérique arabe, correspond au niveau scolaire. Il s'agit des calculs simples et de la connaissance des nombres pairs et impairs. Enfin, lors de la dernière étape, l'enfant construit sa ligne numérique mentale sur laquelle positionner le code symbolique. Elle est impliquée lors des tâches d'approximation avec les nombres arabes et lors de la pensée arithmétique. Selon ce modèle, le développement de ces représentations se met en place avant l'école primaire et s'affine lors des apprentissages. Le modèle de calcul de Kaufmann et al. (2011), intitulé « modèle de calcul développemental », souligne alors le rôle des facteurs généraux dans le développement de bonnes compétences mathématiques. En effet, certaines capacités ne sont pas directement liées aux mathématiques mais s'avèrent nécessaires aux acquisitions numériques, c'est le cas de l'attention visuo-spatiale, du langage, de la mémoire de travail, du raisonnement, et des facteurs socio-émotionnels. Les aptitudes numériques dépendent donc à la fois de capacités générales et d'un apprentissage préscolaire et scolaire. De ce fait, il est important de s'intéresser à l'enseignement des premières compétences mathématiques.

## **1. 2. L'enseignement des mathématiques en maternelle**

Dès l'école maternelle, les enfants réalisent leurs premiers apprentissages mathématiques. Ils développent des capacités de raisonnement, découvrent les quantités et les nombres qu'ils manipulent en comptant, dénombrant, comparant, et classant. En 2021, le ministère de l'Éducation nationale de la Jeunesse et des Sports a émis des recommandations pour l'enseignement des mathématiques en maternelle. Toutes les mathématiques peuvent être abordées par le jeu et la manipulation d'objets. Introduire les enfants au plaisir des mathématiques signifie les faire jouer avec les nombres, les constructions, les formes, les mesures, l'espace, les cartes, les puzzles, la logique et les ensembles. Pour faciliter la transition vers l'abstraction, il est utile de revenir régulièrement sur le même concept mathématique en le présentant sous différents angles, en variant les jeux et les contextes. Même des concepts avancés, tels que les nombres au-delà de vingt ou les fractions, peuvent être introduits tôt et approfondis progressivement chaque année. La pensée mathématique repose sur un vocabulaire spécifique que l'enseignant doit utiliser fréquemment et de manière explicite, en explicitant sa pensée à haute voix. Des évaluations régulières, même très simples, permettent d'adapter au mieux les contenus aux besoins des enfants. La progression pédagogique doit suivre la trajectoire cognitive des enfants, en les aidant à reconnaître et isoler les nombres, comprendre l'égalité des ensembles et leurs transformations, dénombrer avec précision, maîtriser les symboles des nombres et leur signification, comparer et ordonner les nombres, composer et décomposer les nombres, et développer un modèle mental des nombres, comme la ligne numérique (Dehaene et al., 2021).

Dès le suivi de ces enseignements, certains enfants rencontrent des difficultés durables en mathématiques qui impactent le développement de leurs aptitudes numériques. Il apparaît donc nécessaire d'aborder les troubles d'apprentissage en mathématiques.

## **2. Le trouble des apprentissages mathématiques / dyscalculie**

Il n'existe pas à ce jour de définition consensuelle concernant le trouble des apprentissages mathématiques (TAM), anciennement appelé dyscalculie (Lewis & Fisher, 2016). Les personnes dyscalculiques rencontrent notamment des difficultés pour évaluer de petites quantités, dénombrer, lire des nombres, écrire des chiffres, effectuer des opérations arithmétiques, comprendre et manipuler les termes mathématiques, etc. Ces difficultés apparaissent tôt dans le cursus scolaire de l'enfant et résistent aux interventions mises en place pour y remédier. Selon le DSM-5, les critères des troubles spécifiques des apprentissages dans lesquels s'inscrit le TAM décrivent des difficultés persistantes dans l'apprentissage et l'utilisation des compétences scolaires ou universitaires. Ces difficultés sont identifiées par la présence d'au moins un des symptômes suivants pendant une période minimale de six mois, malgré la mise en place de mesures spécifiques pour y remédier : difficultés à maîtriser le sens des nombres, à manipuler des données chiffrées ou à effectuer des calculs, ainsi que des difficultés dans le raisonnement mathématique. Ces difficultés entraînent des performances nettement inférieures à celles attendues pour l'âge du sujet, avec une perturbation quantifiable des résultats scolaires, universitaires, professionnels ou des activités quotidiennes. Les problèmes d'apprentissage commencent généralement pendant la scolarité, mais peuvent ne pas se manifester entièrement tant que les exigences liées à ces compétences mathématiques altérées ne dépassent pas les capacités limitées du sujet. Ces difficultés ne peuvent être attribuées à un handicap intellectuel, à des problèmes non corrigés de vision ou d'ouïe, à d'autres troubles neurologiques ou mentaux, à des facteurs psychosociaux, à une maîtrise insuffisante de la langue d'enseignement ou à une pédagogie inadaptée.

## **2. 1. L'épidémiologie du TAM / dyscalculie**

La dyscalculie est un trouble de l'apprentissage encore peu étudié et sous-diagnostiqué en France, il est donc compliqué de donner un taux de prévalence précis et fiable. Selon de nombreuses études issues de divers pays, elle toucherait entre 3 et 7% de la population : 3 à 7% en Allemagne d'après Haberstroh (2019), 3,6 à 7,7% en France d'après l'Inserm (Barrouillet et al., 2007), 3 à 6% d'après l'association québécoise des orthophonistes et audiologistes, 4% selon le rapport de la région Auvergne-Rhône-Alpes en 2017, et enfin 6,5% d'après Gross-Tsur (1996). La prévalence observée peut notamment varier selon les critères d'inclusion ou d'exclusion (par exemple le QI), les diverses définitions de la dyscalculie et les mesures d'évaluation utilisées (Shalev 2000, Peeters 2018).

A la rentrée 2022-2023, 6 422 791 enfants âgés entre 2 et 11 ans sont scolarisés dans le premier degré. En s'appuyant sur les données issues des études citées précédemment, la prévalence de la dyscalculie serait comprise entre 3 et 7%. Ainsi, ils seraient entre 192 683 et 449 595 à être concernés par ce trouble (Croguennec, 2022). De même, en janvier 2023, la population française était de 68 042 591 habitants, ainsi entre 2 041 278 et 4 762 981 présenteraient une dyscalculie (Insee, 2023).

Certains troubles peuvent être associés à la dyscalculie. De manière générale, 40% des personnes avec un trouble de l'apprentissage présentent plusieurs troubles (Région Auvergne-Rhône-Alpes, 2017). Selon Gross-Tsur (1996), la dyscalculie est associée à la dyslexie dans 17% des cas, elle est associée à un trouble déficit de l'attention avec ou sans hyperactivité (TDAH) dans 26% des cas. Des chiffres plus récents rapportés par Hussain (2022) précisent que 17 à 70% des enfants dyscalculiques présenteraient également une dyslexie.

Concernant le ratio entre les garçons et les filles, aucune différence entre les sexes n'est relevée dans la prévalence de la dyscalculie (Gross-Tsur et al., 1996). En revanche, le niveau socio-économique s'avère plus faible chez les enfants dyscalculiques (Gross-Tsur et al., 1996). Il serait alors intéressant de se préoccuper des différentes causes possibles de la dyscalculie.

## **2. 2. Les causes du TAM / dyscalculie**

Il existe une distinction entre une dyscalculie dite primaire et une dyscalculie dite secondaire. Selon les terminologies actuelles, il est recommandé de s'intéresser davantage à la ou les fonctions cognitives altérées en lien avec le trouble. Ainsi, il est pertinent de privilégier les termes de TAM lié à un trouble de la cognition numérique plutôt que de dyscalculie primaire, et de TAM lié à un trouble des fonctions cognitives générales, telles que la mémoire, l'inhibition, ou encore la planification, plutôt que de dyscalculie secondaire (Samier et Jacques, 2021).

### **2. 2. 1. TAM dû à un trouble de la cognition numérique**

Dès l'âge de 9 mois, un enfant est capable de distinguer des collections qui entretiennent un rapport de 1/2 (Xu & Ariaga, 2007). Ce niveau de représentation numérique, nommée l'acuité numérique, se développe tout au long de l'enfance (Halberda & Feigenson, 2008). Ainsi, si un enfant ne possède pas une acuité numérique efficace, il ne parviendra pas à comparer deux collections précisément (Lafay, 2016). Le TAM lié à un trouble de la cognition numérique implique donc des difficultés de représentation de la quantité, même approximative (Noël, 2013). En effet, un tel déficit du sens du nombre fragilise les capacités de comparaison et d'estimation des quantités.

Pourtant, les résultats des études divergent, Noël souligne qu'« aucune corrélation significative n'a pu être mise en évidence entre l'acuité numérique mesurée dans une tâche de comparaison de deux collections et la performance dans un test de mathématiques » (Noël, 2013, p.25). Néanmoins,



de nombreuses études s'accordent sur le fait que l'acuité numérique est moins élevée chez les personnes présentant une dyscalculie développementale. Une étude de Mussolin et al. (2010) révèle notamment qu'au cours d'une tâche de comparaison de petites numérosités proches, les enfants présentant une dyscalculie développementale sont moins rapides et moins précis que les enfants contrôles.

Si le TAM n'est pas dû à un trouble de la cognition numérique, il peut être corrélé à des facteurs cognitifs généraux, tels que la mémoire à long terme, la mémoire de travail ou l'inhibition.

## **2. 2. 2. TAM dû à un trouble des fonctions cognitives générales**

Tout d'abord, le TAM peut être dû à des difficultés au niveau de la mémoire à long terme. Cette dernière permet de stocker des informations à long terme. Composée de la mémoire épisodique et de la mémoire sémantique, elle procède en trois temps : en premier lieu l'encodage de l'information, puis son stockage, et enfin la récupération des informations qui ont été encodées et stockées. La mémoire à long terme est particulièrement sollicitée lors des tâches d'opérations mathématiques puisqu'elles impliquent de manipuler correctement les faits arithmétiques. Or, ces derniers correspondent au fait d'associer un calcul et sa réponse en mémoire à long terme (Noël, 2013). Ils s'inscrivent dans un réseau cérébral dense où les éléments sont connectés entre eux, par exemple l'opération  $8 \times 9$  active à la fois la réponse exacte, mais également les résultats d'opérations possédant des traits communs tels que  $8 + 9$  ou encore  $8 \times 8$ .

Un trouble de la mémoire à long terme peut affecter une ou plusieurs des trois étapes : des difficultés d'encodage des faits arithmétiques, et/ou une non-efficacité de leur stockage, et/ou des anomalies constatées lors de leur restitution. De ce fait, lorsqu'une personne est confrontée à de telles défaillances mnésiques, elle se voit dans l'obligation de procéder à un calcul pour traiter les opérations, même les plus simples. Cela fragilise alors considérablement la rapidité d'exécution et l'obtention de réponses stables.

De plus, un TAM peut être lié à des difficultés au niveau de la mémoire de travail. Ehrlich et Delafoy (1990) lui attribuent « une double fonction de traitement et de stockage temporaire de l'information ». Elle est composée d'un système de boucle phonologique pour retenir et manipuler les informations et d'un système de calepin visuo-spatial pour les stocker, mais aussi d'un administrateur central qui contrôle et coordonne ces deux systèmes (Baddeley, 1974). La mémoire de travail intervient lors de la mémorisation à long terme des faits arithmétiques. En effet, elle permet le maintien de l'association des opérands et du résultat, étape nécessaire à l'encodage des faits arithmétiques. C'est notamment le cas lors d'une tâche de calcul mental à l'oral, la mobilisation de la mémoire de travail permet à la fois le maintien à court terme des éléments de l'opération, mais aussi la manipulation de ces informations pour répondre correctement.

Par conséquent, une atteinte d'un ou plusieurs des systèmes de la mémoire de travail fragilise les capacités numériques. Par exemple, un déficit de l'administrateur central engendre des difficultés de calcul mental du fait de son rôle capital dans cette tâche (Lemaire, Abdi et Fayol, 1996). Les enfants présentant des difficultés en mémoire de travail auraient du mal à s'évaluer, seraient moins attentifs, auraient davantage de difficultés à résoudre des problèmes (Charest-Girard & Parent, 2018).

Enfin, un déficit au niveau de la capacité d'inhibition peut également être mis en cause dans le cas d'un TAM. L'inhibition est une fonction cérébrale qui permet de bloquer les informations non pertinentes pour permettre le recours à des stratégies plus adaptées (Chevalier, 2010). Cette notion renvoie donc à l'ensemble des processus mobilisés pour supprimer et contrôler des informations inappropriées dans le but d'atteindre un objectif (Simpson & Riggs, 2007). Friedman et Miyake (2004) distinguent trois modalités d'inhibition : résister à l'interférence d'une information non pertinente

pour la tâche en cours, supprimer les informations qui ont perdu leur pertinence au fil de la tâche, et bloquer la réponse prédominante automatique. Pour évaluer ces capacités d'inhibition, il est pertinent de recourir au test de Stroop qui contient une liste de noms de couleurs dont l'encre diffère de la couleur qu'ils mentionnent. Le but est de nommer la couleur de l'encre en inhibant la réponse automatique que constitue la lecture du mot écrit. La capacité d'inhibition permet d'adapter son comportement à une situation donnée. Elle s'avère donc très utile en contexte scolaire pour permettre aux enfants de réaliser une tâche en résistant aux diverses tentations et distractions (Houdé, 2016).

De ce fait, les enfants présentant des difficultés d'inhibition tombent plus facilement dans le piège des heuristiques, méthode de calcul apportant une solution rapide mais pas nécessairement exacte. Ils rencontreraient alors plus de difficultés à inhiber des pensées telles que « plus la ligne de points est longue, plus il y a de points » sans tenir compte de l'espacement entre ces points. Pourtant, une étude de Censabella et Noël (2007) n'a pas rapporté d'altération de la fonction d'inhibition chez les enfants qui présentaient des difficultés en mathématiques et en récupération des faits arithmétiques. Cela semble écarter l'hypothèse selon laquelle l'inhibition serait un facteur causal des difficultés en mathématiques (Censabella & Noël, 2007). Néanmoins, l'étude de Diamond et al. (2007) confirme que l'entraînement de l'inhibition peut améliorer les compétences nécessaires aux apprentissages fondamentaux, tels que la lecture et les mathématiques, notamment chez les enfants issus de milieux défavorisés.

Tous ces éléments soulignent alors l'importance d'intervenir auprès des enfants dès leur plus jeune âge pour participer à la prévention primaire des troubles d'apprentissage en mathématiques.

### **3. L'importance d'une intervention précoce**

#### **3. 1. La prévention primaire**

L'Organisation Mondiale de la Santé définit la prévention comme « l'ensemble des mesures visant à éviter ou réduire le nombre et la gravité des maladies, des accidents et des handicaps » (OMS, 1948). Il y a trois niveaux de prévention. Tout d'abord, en amont des troubles, la prévention primaire a pour but de limiter l'apparition de nouveaux cas. Puis, la prévention secondaire a pour objectif de limiter l'évolution des troubles après leur apparition. Enfin, lorsque la pathologie est installée, la prévention tertiaire est employée pour réduire les conséquences des troubles.

Dans le cadre de ce mémoire, les actions de stimulation permettant d'accéder à de meilleures compétences numériques s'inscrivent dans la prévention primaire. Selon la première annexe du rapport Flajolet « La prévention : définitions et comparaisons », l'Organisation Mondiale de la Santé définit la prévention primaire comme « l'ensemble des actes visant à diminuer l'incidence d'une maladie dans une population ». L'incidence désigne le nombre de nouveaux cas d'une pathologie durant une période donnée (Insee, 2016).

La pratique orthophonique participe à la prévention primaire, en effet les thérapeutes dispensent des conseils à la famille des patients, informent des signes d'alerte, et peuvent donner des formations auprès de professionnels de la petite enfance (Fédération Nationale des Orthophonistes). Or, étant les professionnels référents de la cognition mathématique, il paraît intéressant qu'ils contribuent à des actions de prévention dans ce domaine, notamment grâce à la plateforme LoLeMath.

#### **3. 2. La plateforme LoLeMath**

Dans le cadre d'un mémoire de fin d'études en orthophonie, au Département d'Orthophonie de Lille, la plateforme informatisée LoLeMath a été élaborée sous la direction de Lucie Macchi, maîtresse de conférences et orthophoniste, Sandrine Mejias, maîtresse de conférences, et Sophie Ravez, orthophoniste. Elles sont toutes les trois enseignantes au Département d'Orthophonie de Lille.

Ce projet s'inscrit dans la prévention orthophonique à la fois pour ses objectifs de repérage et de dépistage des troubles des apprentissages, mais également pour sa volonté d'informer et de mettre à disposition des conseils pour améliorer les parcours de soin. Ainsi, la plateforme propose de nombreux éléments de prévention en orthophonie appartenant au domaine des mathématiques pour comprendre et utiliser les nombres, du langage oral pour parler et comprendre, et du langage écrit pour lire et écrire. Les informations sont organisées au sein de trois rubriques selon le public auquel elles s'adressent : parents, professeurs des écoles, et professionnels de santé. Tous trouveront des repères développementaux et des signes d'appel. Les parents pourront également compter sur des conseils pour les aider à accompagner leur enfant dans son développement. Les enseignants et les professionnels de santé auront, quant à eux, la possibilité de se procurer sur le site des tests de repérage qu'ils pourront administrer aux enfants pour lesquels ils suspectent un trouble. Cette plateforme LoLeMath permet donc d'apporter un grand nombre d'informations, de matériels et de conseils pour participer à la prévention primaire des troubles des apprentissages. Il est notamment important de stimuler les enfants pour limiter les conséquences d'un manque de stimulation des compétences mathématiques.

### **3. 3. La stimulation précoce des compétences mathématiques**

La stimulation précoce correspond à l'ensemble des interventions réalisées dans les premières années de vie des enfants. L'objectif est de développer au maximum leur potentiel en intervenant directement auprès d'eux le plus tôt possible. Elle intervient dans toutes les sphères de leur développement. Dans le domaine des compétences numériques, elle permet d'intervenir auprès des populations à risque de présenter des troubles d'apprentissage en mathématiques. En effet, des différences de performance existent selon le milieu socio-professionnel des individus (Jordan, 2010). Les élèves issus des quartiers défavorisés sont plus à risque de rencontrer des difficultés d'apprentissage en mathématiques. C'est notamment le cas parce qu'ils souffrent déjà d'un retard par rapport aux enfants provenant de milieux plus aisés au moment de leur entrée en maternelle (Jordan, 2010). C'est pourquoi, intervenir précocement en stimulant leurs compétences numériques peut les aider à construire les bases nécessaires à leurs apprentissages mathématiques.

De plus, les étudiants qui appartiennent à la classe ouvrière ou classe inférieure présentent davantage de difficultés en mathématiques (Lubienski, 2000). Cela peut notamment s'expliquer par la relation entretenue par les parents avec les mathématiques. En effet, s'ils gardent des souvenirs négatifs de leur propre scolarité, cela peut influencer l'opinion de leurs enfants au sujet de l'école, et plus particulièrement des mathématiques. Ainsi, il est important de rapprocher au maximum l'école des parents (Poncelet et al., 2014). De plus, les parents qui ont quitté tôt l'école et/ou n'ont pas réalisé d'études supérieures, peuvent se sentir moins légitimes et moins compétents pour aider leur enfant à comprendre les leçons de mathématiques ou faire les devoirs à la maison.

Lorsqu'un enfant n'est pas suffisamment stimulé, cela peut avoir des conséquences sur ses apprentissages mathématiques. En effet, un manque de stimulation peut nuire au développement des aptitudes numériques. Or ces dernières jouent un rôle important dans la scolarité, dans la vie professionnelle mais également dans la vie quotidienne des individus.

### **3. 3. 1. Les conséquences d'un manque de stimulation**

Tout d'abord, lorsqu'un enfant est exposé à un manque de stimulation de ses compétences numériques, des difficultés en mathématiques peuvent apparaître. L'acquisition des habiletés numériques est hiérarchisée, les processus les plus complexes se construisent à partir des premiers apprentissages mathématiques. De ce fait, si les bases de l'arithmétique ne sont pas maîtrisées, cela freine l'accès aux enseignements plus complexes (Lemire, 2005). De plus, ces difficultés sont susceptibles de s'étendre aux matières connexes puisque les habiletés numériques sont également mobilisées dans d'autres enseignements, tels que la biologie ou la physique-chimie. Ainsi, si un enfant rencontre des difficultés dans ses acquisitions mathématiques, cela risque de se répercuter sur sa scolarité de manière générale (Lemire, 2005). Alors, il prend du retard dans ses acquisitions scolaires et cela impacte son choix d'études, donc sa future profession. En effet, les élèves qui sont confrontés à des difficultés mathématiques renoncent davantage à la réalisation d'études scientifiques et réduisent ainsi leurs chances d'accéder aux métiers scientifiques, aux métiers du soin, et aux métiers commerciaux. Néanmoins, certaines personnes dyscalculiques parviennent à user de stratégies de compensation durant leur parcours scolaire. Cela ne suffit toutefois pas lorsque les enseignements gagnent en complexité au collège. Ces conséquences dans les cadres scolaire et professionnel s'accompagnent également de difficultés au quotidien.

En effet, de nombreuses activités quotidiennes impliquent une bonne maîtrise des habiletés numériques. C'est notamment le cas lorsqu'il faut payer, gérer un budget, faire ses courses, organiser son emploi du temps, estimer une distance, ou encore manipuler des quantités lors de la réalisation d'une recette de cuisine. Par conséquent, l'ensemble de ces situations de la vie quotidienne peuvent poser problème aux personnes dyscalculiques et cela engendre une perte de leur autonomie (Lemire, 2005). Cependant, une étude de Fisher et Charron (2009) ne permet pas d'affirmer que les personnes dyscalculiques rencontrent significativement plus de difficultés au quotidien que les personnes non dyscalculiques. Les auteurs émettent alors l'hypothèse selon laquelle la nécessité de réaliser des calculs ou des raisonnements arithmétiques dans la vie de tous les jours serait moins actuelle (Fisher & Charron, 2009). En effet, l'apparition notamment des ordinateurs, des applications « calculatrice » sur les téléphones portables, ou encore du paiement sans contact des cartes bancaires permet de soulager en partie les difficultés du quotidien.

Pourtant, souvent perçus à tort comme moins intelligents que leurs pairs, les individus rencontrant des difficultés dans leurs apprentissages mathématiques subissent une forte baisse de leur estime personnelle. Cela suscite souvent chez les étudiants de l'anxiété, ainsi qu'un manque de confiance en eux (Blouin, 1985). Ils ne se sentent pas suffisamment compétents pour réussir en mathématiques et cela peut créer un cercle vicieux. En effet, un enfant qui rencontre des difficultés en mathématiques a tendance à éviter la matière et donc à moins exercer ses compétences numériques. Cela a pour conséquence de creuser encore davantage l'écart avec ses pairs puisqu'il s'entraîne moins et se familiarise moins aux notions mathématiques (Ashcraft, 2002). Cette relation compliquée avec les nombres peut alors engendrer une anxiété mathématique.

### **3. 3. 2. L'apparition d'une anxiété mathématique**

L'anxiété mathématique fait référence à l'apparition de réactions émotionnelles négatives envers les mathématiques, elle peut notamment se manifester par des stratégies d'évitement (Turner et al., 2002). Cette anxiété peut nuire à la concentration en classe. En effet, un élève anxieux n'a pas l'esprit libéré lorsqu'il réalise une tâche en mathématiques. Il doit à la fois résoudre le problème qui

lui est demandé, tout en gérant sa peur concernant la matière (Ashcraft, 2007). Les causes de cette anxiété sont peu précises. Néanmoins, elle peut être marquée par des souvenirs négatifs liés aux apprentissages mathématiques. Si un professeur a manqué de patience ou n'est pas parvenu à expliquer correctement les notions et les erreurs, alors l'apparition d'une anxiété mathématique est plus probable chez les élèves (Ashcraft, 2002). Cette anxiété peut également constituer un obstacle dans une potentielle prise en soin orthophonique. La stimulation précoce revêt alors toute son importance pour donner confiance à l'enfant et limiter l'apparition d'une anxiété mathématique. C'est d'autant plus le cas en France où les mathématiques constituent une discipline essentielle dans le monde du travail.

### **3. 4. La place prépondérante des mathématiques en France**

En France, les métiers liés aux mathématiques représentent 13% des emplois salariés. Il s'agit principalement des services informatiques, de la recherche et du développement scientifique, de la production et distribution d'électricité et de gaz, ou encore des télécommunications. L'Agence pour les mathématiques en interaction avec l'entreprise et la société a rendu un rapport en 2022 qui révèle que 3,3 millions d'emplois ne sont pas pourvus si le candidat au poste n'a pas fait de formation ni de recherche mathématique en France.

Pourtant, l'Education Nationale (2020) rapporte des résultats en baisse en mathématiques chez les élèves en France, ces scores sont associés à une perte de motivation et de confiance en soi. En effet, près de la moitié des élèves (45%) doutent de leurs compétences en mathématiques. En 2019, lors d'une étude internationale consacrée aux mathématiques et aux sciences (TIMSS), les élèves français obtiennent des résultats inférieurs à ceux des autres pays de l'Union Européenne. Cela peut notamment s'expliquer par un temps d'enseignement dédié aux mathématiques qui est moins important qu'ailleurs en Europe. De plus, les élèves français ont moins recours aux cours particuliers et consacrent moins de temps à leurs devoirs que les élèves européens (Salles et Le Cam, DEPP, 2019). Ainsi, un bon investissement des mathématiques dans l'enseignement s'avère important pour la croissance du pays, mais également pour favoriser un bon développement des compétences numériques des élèves et ainsi limiter l'apparition de difficultés et leurs conséquences.

## **4. But du mémoire**

Ce mémoire a pour but de réaliser une revue systématique de la littérature afin d'obtenir les données les plus pertinentes et probantes sur la stimulation des compétences numériques à l'école maternelle. Le choix de ce type de revue se justifie par le niveau de preuve qu'elle permet d'atteindre. Sa méthodologie, très rigoureuse et reproductible, permet de réduire les biais possibles. Une revue systématique s'appuie sur une recherche exhaustive et une sélection objective des données pertinentes, le lecteur peut alors accéder facilement et rapidement à un corpus de recherche à jour sur une question donnée (Nambiema et al., 2021).

L'objectif de cette étude est de participer aux actions de prévention primaire qui font partie de la pratique orthophonique. Elle sera disponible sur la plateforme informatisée LoLeMath qui propose de nombreux éléments de prévention dans le domaine de la cognition mathématique à destination des parents, des professionnels de la santé, mais également des professionnels de l'éducation. Notre mémoire s'inscrit dans une volonté de limiter l'apparition de retards d'acquisition des mathématiques et de compenser les difficultés liées aux troubles d'apprentissage en mathématique en répertoriant l'ensemble des actions de stimulation qui peuvent être mises en place par les professeurs des écoles auprès des enfants de moins de six ans.

Nous nous sommes appuyées sur la méthode PICO (Population-cible, Intervention, Comparaison, Outcome) pour formuler clairement la problématique de notre étude. Ainsi, nous nous demandons : quelles sont les actions de stimulation mathématique les plus efficaces à l'école maternelle pour accéder à de meilleures compétences numériques ? Nous mènerons donc une revue systématique de la littérature en réalisant une synthèse objective des données de la littérature disponibles sur ce sujet. Avant de commencer cette revue, nous avons consulté un certain nombre de bases de données pour vérifier qu'aucune revue systématique n'avait déjà été réalisée sur ce sujet.

## Méthode

Pour mener à bien notre revue systématique, nous utilisons la grille PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses). Cet outil permet de renforcer la fiabilité et les qualités méthodologiques d'une revue de la littérature. Les étapes nécessaires à sa réalisation, recensées dans une liste contrôle, nous permet de traiter l'ensemble des données de notre revue systématique en respectant une méthodologie rigoureuse (Prisma 2020 checklist, Page et al.).

### 1. Base de données et équation de recherche

Notre travail sera constitué d'articles scientifiques issus de six bases de données informatisées pour s'assurer du bien-fondé des études. Pour obtenir le plus grand nombre possible de résultats, nous avons décidé de définir les mots-clés en anglais. Afin d'affiner la recherche des articles, les connecteurs « and » et « or » ont été utilisés. Le tableau ci-dessous présente l'ensemble des bases de données retenues et les équations de recherche associées.

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 Groupes 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 : bases de données informatisées et équations de recherche associées

## 2. Sélection des articles

L'ensemble des articles obtenus grâce aux équations de recherche ont été ajoutés à une bibliothèque en ligne (logiciel Zotero) afin de simplifier l'étape de suppression des doublons, ainsi les références sont toutes présentes en un seul exemplaire. La sélection des études à inclure dans la revue a ensuite été réalisée en double aveugle et de manière systématique. Pour cela, des critères d'inclusion et d'exclusion ont été définis afin d'affiner la sélection des articles de notre étude et ainsi obtenir un corpus pertinent répondant précisément à la problématique.

Les critères d'inclusion de notre revue sont les suivants :

- Sujet : études portant sur la prévention des TAM à destination des enseignants.
- Date : études publiées entre 2013 et 2023.
- Langue : anglais, français.
- Population : enfants d'âge préscolaire (entre 3 et 6 ans) tout-venant.

Les critères d'exclusion de notre revue sont les suivants :

- Sujet : études portant sur un autre domaine que la cognition mathématique (ex. langage oral).
- Population : enfants présentant des troubles associés (ex. déficience intellectuelle).

Nous avons commencé par examiner les articles après lecture de leur titre et de leur résumé, puis une nouvelle sélection a été réalisée par la lecture des textes en intégralité. Un diagramme de flux de la sélection des articles construit sur le site de PRISMA présentera les différentes étapes de cette sélection et le nombre d'articles correspondant.

## 3. Protocole de collecte des données

Les données pertinentes issues des différents articles que nous examinerons ont été extraites dans un tableau qui présente clairement les informations principales de chaque étude : type d'étude, objectif(s), participants (âge et nombre).

# Résultats

## 1. Sélection des articles

La procédure de recherche est exposée dans un diagramme de flux (Annexe 1). Il présente l'étape d'obtention des articles issus des six bases de données grâce aux équations de recherche. La formule de recherche a initialement permis de récolter 2132 études. L'étape de suppression des doublons sur la bibliothèque en ligne (logiciel Zotero) nous a permis d'obtenir un total de 1979 articles. Ces derniers ont été évalués en double aveugle avec Méliné J. par la lecture de leur titre avec application des critères d'inclusion et d'exclusion. Suite à cette étape, le nombre d'études sélectionnées était de 628. Puis, l'étape de sélection des articles selon les résumés nous a permis d'obtenir 126 études jugées pertinentes pour notre revue. Ce nombre étant trop conséquent pour l'étape de lecture intégrale des articles, nous avons décidé de modifier un des critères d'inclusion et de ne retenir que les articles publiés entre 2018 et 2023 pour affiner la sélection. Ainsi, une nouvelle étape d'éligibilité des articles selon leur résumé nous a permis d'obtenir 53 articles. Ces derniers ont ensuite été lus intégralement, 19 études ont alors été sélectionnées pour être analysées dans notre revue de la littérature. Comme le montrent les données du tableau recensant l'ensemble des informations concernant les articles retenus dans notre revue (Annexe 2), 50% de ces articles ont impliqué plus de 100 enfants dans leur analyse. Il est établi que la fiabilité d'une étude tend à s'améliorer avec l'augmentation du nombre de

participants. De plus, la majorité des articles examinés dans cette revue sont des essais contrôlés randomisés, ce qui renforce la robustesse des conclusions tirées de ces recherches.

## **2. Extraction des données**

Le tableau qui a servi à l'extraction des données (Annexe 2) propose une synthétisation des résultats obtenus lors de l'analyse des articles sélectionnés. Chaque étude retenue porte sur une ou plusieurs compétences à travailler à l'école maternelle pour renforcer les compétences numériques des enfants. L'analyse de l'ensemble de ces articles nous a permis de déterminer quels domaines étaient importants et quelles tâches associées pouvaient être proposées.

### **2.1. Compétences cognitives**

#### **2.1.1. Fonctions exécutives**

Trois des études sélectionnées se sont intéressées à la stimulation précoce des compétences cognitives générales. L'étude expérimentale de Prager et al. (2023) avait pour objectif principal de déterminer comment les compétences en fonctions exécutives chez les enfants d'âge préscolaire peuvent être liées à leurs compétences numériques. Les 104 participants américains, âgés de 48,25 mois en moyenne, ont été assignés aléatoirement au sein de quatre groupes différents. Le premier groupe, composé de 25 enfants, a été entraîné aux fonctions exécutives. Le second groupe, constitué de 27 enfants, s'est vu proposer une formation aux nombres. Les 27 enfants du troisième groupe ont été entraînés à la fois aux fonctions exécutives et aux nombres. Enfin, le dernier groupe, composé de 25 enfants, est un groupe témoin actif. La condition de contrôle consistait en une activité de lecture d'une durée de quinze minutes lors des trois séances. Les livres ont été examinés pour s'assurer que les histoires ne proposaient pas un contenu axé sur la numération ou sur les fonctions exécutives. Lors des pré et post-tests, les enfants ont été évalués sur leurs compétences mathématiques, leurs fonctions exécutives et leurs compétences verbales. Les trois premiers groupes ont participé à trois séances d'entraînement de quinze minutes. Les enfants appartenant au groupe d'entraînement aux fonctions exécutives (FE) devaient trier des cartes ou des objets selon une dimension particulière comme la couleur ou la forme. Cette dimension changeait subitement lors du tri. En cas d'erreur, les professeurs ont encouragé les enfants à avoir une réflexion supplémentaire pour trouver la bonne dimension de tri. Le groupe entraîné aux nombres (Nombres) devait identifier des arrangements de points en groupes allant de 1 à 20. Les niveaux étaient de difficulté croissante. Des activités d'addition et de soustraction ont ensuite été proposées. Les enfants recevaient des retours sur leurs réponses et étaient encouragés à compter les points si besoin. Les participants exposés à une formation combinant les fonctions exécutives et les nombres (FE + Nombres) ont progressé à travers différents niveaux, comptant d'abord les images, puis les classant par couleur et forme. Des effets significatifs ont pu être relevés, les enfants du groupe « FE » ont montré des scores post-test en compétences numériques significativement plus élevés que ceux du groupe contrôle et du groupe « Nombres ». De plus, le groupe « FE + Nombres » a présenté des scores en compétences numériques supérieurs à ceux du groupe contrôle. L'étude a examiné les effets de l'entraînement sur les mathématiques (TEMA-3 et NKT) et sur les fonctions exécutives (MEFS et HTKS). Les enfants ayant été entraînés aux fonctions exécutives ont obtenu des scores post-test significativement plus élevés au MEFS par rapport aux trois autres groupes. Le groupe « FE + Nombres » a obtenu de meilleurs scores post-test au TEMA-3 par rapport à la condition témoin. De plus, des effets significatifs ont été observés dans les scores



NKT, les enfants appartenant aux groupes « FE » et « FE + Nombres » ont surpassé ceux de la condition témoin. L'entraînement « Nombres » n'a pas produit d'effets significatifs sur les mesures de connaissances mathématiques et de fonctions exécutives. Ces résultats ont permis d'établir la pertinence du développement des compétences de réflexion et de régulation des fonctions exécutives des enfants en maternelle pour améliorer leurs compétences numériques. Les enseignants peuvent notamment leur proposer des activités qui entraînent à la fois les compétences numériques et les fonctions exécutives.

### **2.1.2. Mémoire de travail**

Une autre compétence cognitive a fait l'objet d'une analyse au sein de deux articles sélectionnés dans notre revue, il s'agit de la mémoire de travail. L'étude randomisée contrôlée de Praet et Desoete (2019) a cherché à déterminer les effets d'un entraînement de la mémoire de travail sur les compétences numériques d'une population d'enfants d'âge préscolaire. Les 162 participants belges étaient âgés de 5 ans en moyenne. Ils ont été répartis au sein de 5 groupes différents : un groupe de « comptage seulement » (jouant à des jeux de comptage sérieux ;  $N = 43$ ), un groupe de « comparaison seulement » (jouant à des jeux sérieux de comparaison de nombres ;  $N = 38$ ), un groupe de « mémoire de travail et jeux de comptage et comparaison » ( $N = 19$ ), un groupe de « comptage et comparaison » ( $N = 15$ ), et enfin un groupe témoin actif ( $N=47$ ). Avant l'intervention, un pré-test a été réalisé, puis, un post-test a eu lieu après l'intervention, et enfin un test de suivi a été proposé en fin de maternelle pour examiner les effets à long terme. Différentes compétences mathématiques ont ainsi été évaluées, notamment par le biais du TEst Diagnostique des compétences de base en mathématiques (TEDI-MATH). Les participants du groupe contrôle ont suivi un temps d'instruction similaire à celui des enfants des groupes d'intervention, il s'agissait de neuf séances d'activités habituelles en maternelle avec la possibilité de jouer à des jeux non mathématiques sur l'ordinateur. Les groupes expérimentaux ont bénéficié d'une intervention de 5 semaines proposant neuf sessions individuelles de jeu d'une durée de 25 minutes. Le but est de résoudre des problèmes selon les instructions du jeu. Ce dernier revêt une fonction dynamique et adaptative puisqu'il tient compte du niveau de compétence des enfants pour ajuster le niveau des exercices et ainsi les faire progresser plus efficacement. Dans le groupe de « comptage seulement », les enfants ont participé à un jeu entraînant leurs connaissances procédurales et conceptuelles du comptage. Des objets, plantes ou des animaux étaient présentés sur l'écran, des questions à haute voix étaient alors posées telles que « Combien d'animaux y a-t-il ? », les enfants répondaient en cliquant sur le nombre d'étoiles correspondant. Le groupe de « comparaison seulement » a pris part à un jeu non intensif mais individualisé sur la comparaison de nombres. Les enfants ont appris à se concentrer sur le nombre et non sur la taille en sélectionnant le groupe qui contenait le plus d'animaux quelle que soit leur taille. Au sein du groupe de « comptage et comparaison », les enfants ont suivi un mélange des deux interventions précédentes. Les enfants assignés au dernier groupe « jeu de mémoire de travail » ont bénéficié d'une stimulation de la mémoire de travail (d'une durée de dix à quinze minutes) couplée à un entraînement des compétences de comptage et de comparaison. Ils recevaient une double tâche : ils devaient à la fois se souvenir de l'emplacement et de la couleur d'un carré présenté à l'écran, tout en comparant ou comptant des animaux. Par exemple, lorsque le carré devenait blanc, les enfants devaient répondre par oui ou non à une question du type « le neuf est-il une couleur ? ». Ce n'est qu'ensuite qu'il leur est demandé d'indiquer la couleur et l'emplacement du carré. Un feedback était donné par un son selon leur réponse. Cette expérimentation a permis de souligner que les compétences numériques des enfants qui ont été exposés à des jeux

combinés de comptage, de comparaison et de mémoire de travail se sont significativement améliorées par rapport au groupe contrôle. Le test de suivi réalisé l'année suivante, en janvier, montre que les effets de la formation ont duré dans le temps. Les enseignants peuvent donc proposer aux enfants des jeux associant des activités de comptage et de comparaison tout en s'appuyant sur des jeux renforçant les compétences en mémoire de travail.

L'étude randomisée contrôlée de Ramani et al. (2019) a souhaité évaluer les effets à long terme de jeux d'entraînement sur tablette sur les compétences numériques d'enfants d'âge préscolaire. Ces jeux ciblent soit directement des compétences numériques spécifiques, soit des compétences cognitives plus générales de mémoire de travail chez les enfants d'âge préscolaire. 148 enfants américains, âgés en moyenne de 5;11 ans, ont participé aux 16 séances de cette étude. Ils ont été assignés aléatoirement à trois groupes différents : un groupe « spécifique au domaine » proposant un entraînement des connaissances numériques, un groupe « général au domaine » entraînant à la mémoire de travail, et enfin un groupe « contrôle actif ». Les participants ont été évalués sur leurs compétences mathématiques (principes de comptage, identification des chiffres, estimation de la ligne numérique, comparaison de l'ampleur, addition), leur mémoire travail (comptage de la portée, suivi des instructions, portée spatiale), leur vitesse de traitement et leurs fonctions exécutives. L'ensemble des enfants ont été ainsi testés lors des séances 1-2, 13-14 et 15-16. Les sessions quinze et seize ont eu lieu quatre à six semaines après la session quatorze pour examiner les effets de l'intervention à long terme. Les séances trois à douze duraient environ dix à quinze minutes, les enfants ont joué à des jeux sur tablette avec un thème différent imposé lors des huit premières séances. Puis, au cours des deux dernières sessions de formation, le thème a pu être choisi par les enfants. Le premier groupe d'intervention intitulé « groupe domaine spécifique » ciblait l'entraînement des connaissances numériques avec le matériel « La Grande course ». Le second groupe d'intervention intitulé « groupe domaine général » ciblait l'entraînement de la mémoire de travail à partir du matériel « Rappelle les tous ». Une série de personnages (par exemple, des extraterrestres) de couleur variable ont été présentés aux enfants à l'endroit ou à l'envers. Pour chaque personnage, les enfants devaient appuyer sur un bouton en bas de l'écran pour indiquer l'orientation du personnage. Puis, le personnage a été présenté dans les quatre couleurs possibles. Les enfants devaient se rappeler l'ordre dans lequel les caractères étaient présentés en tapant sur les caractères colorés respectifs. La progression des enfants dans le jeu était adaptative : plus les enfants étaient précis dans les essais d'orientation et de rappel, plus la séquence dont ils devaient se souvenir était longue. Le groupe contrôle actif a participé à un programme sur tablette nommé "Course arc-en-ciel" et composé de dix sessions. Les enfants ont reçu une grille de dix cases sur dix, similaire à celle proposée dans « la Grande Course » mais les espaces chiffrés ont été remplacés par des espaces colorés (rouge, orange, jaune, vert, bleu, violet). Chacun des thèmes du jeu présentait une séquence de couleurs différente. Les enfants appuyaient sur une toupie colorée pour déplacer leur personnage sur le plateau. Les règles du jeu sont assez proches de celle de « La Grande Course ». Les résultats de cette étude concernant la sollicitation de la mémoire de travail montrent que les enfants ayant joué au jeu numérique ciblant la mémoire de travail ont montré une amélioration significative de leurs compétences mnésiques et numériques par rapport au groupe témoin. Cette amélioration dure dans le temps puisqu'elle s'est vérifiée lors du post-test puis s'est poursuivie lors de la visite de suivi. Ainsi, les jeux sur tablette peuvent être des outils efficaces pour améliorer les compétences numériques des enfants d'âge préscolaire. Les enseignants peuvent donc intégrer des temps de jeu sur tablette pour entraîner les capacités numériques et de mémoire de travail des enfants comme activités complémentaires ou de renforcement pendant les périodes d'apprentissage classique.

## 2.2. Compétences mathématiques

Un grand nombre d'études sélectionnées s'est intéressé aux différentes interventions possibles dans le domaine des mathématiques pour améliorer les compétences numériques des enfants d'âge préscolaire. L'étude randomisée contrôlée de Praet et Desoete (2019), a cherché à déterminer les effets d'une exposition à des jeux informatiques sur les compétences numériques d'une population de 162 enfants belges âgés de 5;6 ans en moyenne. L'ensemble des modalités de l'étude sont décrites au-dessus dans la sous-partie « mémoire de travail ». Les résultats de cette étude permettent de souligner une plus grande amélioration des compétences arithmétiques du groupe pour lequel les enfants ont suivi une intervention combinant le comptage et la comparaison. En outre, le test de suivi, réalisé une année après l'intervention, permet de montrer que les effets s'inscrivent dans le temps. Les enseignants peuvent donc proposer aux enfants des jeux associant des activités de comptage et de comparaison pour les faire progresser plus rapidement en arithmétique et ce de manière durable.

De nombreuses études ont tenté de démontrer l'utilité de s'appuyer sur les jeux pour améliorer les compétences mathématiques des enfants d'âge préscolaire. Parmi elles, l'étude de Vlassis et al. (2023) a cherché à évaluer les bienfaits d'une approche basée sur les jeux en utilisant des jeux de cartes et de plateau conçus pour développer les compétences arithmétiques des enfants en maternelle. Les 194 participants, âgés de 5;6 ans en moyenne, étaient originaires de quatre pays différents : Belgique, France, Luxembourg et Suisse. 104 d'entre eux ont été inclus dans le groupe expérimental (GbG), les 90 autres dans un groupe témoin (CG). Tous les enfants ont été testés individuellement avant et après l'intervention. Leurs compétences numériques ont été évaluées à l'aide d'un test largement inspiré du TEDI-MATH et des ensembles de tests TEMA-3. La version finale de l'outil utilisée dans cette étude comprenait 34 items dont dix items évaluant spécifiquement les compétences en arithmétique : opérations arithmétiques (trois items), résolution de problèmes (trois items) et décomposition additive (quatre items). Le groupe témoin a suivi un programme quotidien habituel en classe, tandis que le groupe expérimental a participé à quatre jeux conçus par l'équipe de recherche (Annexe 4). Chaque jeu a été proposé pendant une semaine au cours de quatre parties distinctes d'une durée de vingt minutes. La composition et la décomposition de nombres (jusqu'à six maximum) ont été entraînées grâce à trois jeux différents. Tout d'abord, « La Prison du dragon » est un jeu coopératif dont le but est d'enfermer le dragon dans une prison avec des briques. Il est conçu pour rendre stratégiquement utile la décomposition du nombre de chaque lancer de dé. De plus, « Les Lapins et carottes » est un jeu de société linéaire dans lequel chaque joueur dispose de deux pièces, lance un dé et peut décomposer le nombre obtenu pour déplacer ses deux pièces séparément. Le gagnant est le premier joueur à mettre les deux pièces sur la dernière case. Enfin, « la Carte extra » est un jeu fondé sur les règles du « Black Jack », les enfants doivent former des paires de cartes qui correspondent à un nombre donné (Annexe 4). Le gagnant est le premier joueur à se débarrasser de ses cartes, tandis que le joueur qui termine avec la « carte supplémentaire » perd. En outre, les additions de nombres (jusqu'à 6 maximum) ont été travaillées avec un jeu « La Bataille d'addition » qui ressemble au jeu de cartes traditionnel « bataille », mais au lieu de jouer une carte à la fois, chaque joueur retourne deux cartes et les additionne (Annexe 4). Le joueur qui obtient le total le plus élevé peut prendre toutes les autres cartes, le gagnant est celui qui remporte l'ensemble des cartes. Après avoir été initiés aux règles des différents jeux, les enfants ont joué en petits groupes, et après chaque jeu, de brèves discussions ont eu lieu entre l'enseignant et ses élèves. Les résultats montrent que les deux groupes progressent entre le pré- et le post-test. Cependant, les scores obtenus en mathématique sont significativement plus élevés chez les enfants appartenant au groupe exposé aux jeux que chez ceux issus

du groupe témoin, notamment dans le domaine de la décomposition additive. Ainsi, l'intervention s'est avérée efficace, avec une taille d'effet de 0,40 qui est conséquente par rapport à d'autres études impliquant des caractéristiques similaires. De ce fait, les enseignants peuvent s'appuyer sur des jeux adaptés aux objectifs arithmétiques scolaires, avec des cartes conventionnelles et des jeux de société, pour faire progresser les enfants de maternelle en mathématique.

L'étude de Cohrssen et Niklas (2019) a également cherché à évaluer l'impact des jeux de mathématiques sur les compétences numériques des enfants en maternelle. Les 60 enfants australiens qui ont participé à cette étude quasi-expérimentale étaient âgés de 4;2 ans en moyenne. Ils ont été répartis au sein de deux groupes, le premier bénéficiant de l'intervention comprenait 22 enfants, et le second en tant que groupe contrôle incluait 38 enfants. Les épreuves proposées en pré-test (T1) et en post-test (T2) permettaient d'évaluer différentes compétences mathématiques comme le comptage, la dénomination des nombres, ou encore la résolution de problèmes. Le groupe contrôle a suivi un apprentissage habituel. Le groupe d'intervention a été, quant à lui, régulièrement exposé à des jeux mathématiques issus des « Northern Territory Preschool Maths Games » (NT) développés par le premier auteur pour aider les enseignants à proposer des activités mathématiques basées sur le jeu. Les jeux traitent des nombres et du comptage, des formes et de la pensée spatiale, des modèles et de la structure, des mesures et de la collecte, de la représentation et de l'analyse des données. Chaque jeu comprend des idées d'activités d'approfondissement et d'accompagnement pour aider les enseignants à planifier un enseignement différencié. Une courte section intitulée "Pourquoi c'est important" établit la contribution du jeu à l'apprentissage de l'enfant. Sur la même page, trois autres rubriques sont consacrées aux éléments suivants : Vous aurez besoin (suivi d'une liste du matériel facilement disponible dans les établissements préscolaires), Objectifs d'apprentissage et Mots importants à utiliser. Les jeux sont conçus, dans l'ensemble, pour être utilisés en petits groupes. Des photographies illustrent chaque activité. Les parties étaient réalisées en petits groupes. Au cours des sessions de jeux, les enseignants ont posé des questions ouvertes pour inciter les enfants à formuler des hypothèses. Parmi les jeux proposés, l'activité « mon Livre préféré » (Annexe 3) permet notamment de travailler les compétences de collecte, de représentation et d'analyse de données de manière ludique et interactive. En classe de maternelle, le fait de collecter des données permet d'obtenir des réponses à des questions simples comme lorsqu'il s'agit de choisir un livre lors d'une séance de lecture. La participation des enfants permet de renforcer le développement de leurs compétences. Dans ce jeu, ils votent pour le livre qu'ils souhaitent lire dans le but de déterminer quel livre est le plus sollicité. Le matériel est assez simple, il suffit d'utiliser deux livres, deux récipients, et des petits objets type cailloux/perles. Plusieurs objectifs d'apprentissage peuvent être relevés, les enfants doivent trouver la réponse à une question simple en collectant des données, utiliser des objets comme symboles pour représenter l'information, s'appuyer sur des mots numériques pour compter ces objets (un, deux, trois, etc.), et enfin employer des termes adéquats pour comparer les quantités (plus, moins, le plus, le moins). Les résultats de cette étude révèlent des scores plus élevés pour le groupe contrôle en T1, mais pas de manière significative par rapport au groupe d'intervention. Puis, en T2, les enfants bénéficiant de l'intervention présentent une amélioration significativement plus importante de leurs compétences mathématiques que les enfants issus du groupe contrôle. Ces deux études soulignent donc l'intérêt pour les enseignants d'utiliser des jeux mathématiques pour développer les compétences numériques des enfants. Ils peuvent travailler des concepts mathématiques en les présentant au cours des jeux de cartes et de plateau, et ainsi les expliciter par le biais de brèves discussions. En mettant l'accent sur la clarté des objectifs d'apprentissage et sur le soutien de l'acquisition des concepts et du langage mathématique

associé, les jeux peuvent avoir une influence positive sur la trajectoire d'apprentissage mathématique des enfants.

L'étude de Lange et al. (2021) permet de corroborer ces conclusions. L'étude a eu lieu aux Etats-Unis auprès de 256 enfants, âgés de 54 mois en moyenne, dans le but de déterminer dans quelle mesure les jeux mathématiques étaient efficaces dans l'apprentissage des mathématiques. Cet essai randomisé en grappes contient des pré-tests, une intervention de neuf semaines puis des post-tests. Des enseignantes de centres Head Start, programme préscolaire américain, ont été recrutées pour participer à ce projet. Leur classe a été assignée aléatoirement soit au groupe de traitement proposant des jeux mathématiques, soit au groupe témoin associé à des jeux d'appariement. Il a été demandé aux 23 enseignantes des classes du groupe d'intervention et aux 22 enseignantes du groupe contrôle de participer à des jeux avec les enfants, de garder une trace des parties jouées et de faciliter le jeu à la maison. Les tests proposés avant et après l'intervention ont permis d'évaluer les compétences mathématiques des enfants, notamment par le biais du Quick Numeracy Assesment (QNA) qui teste le comptage verbal, l'estimation de la ligne numérique, la compréhension de la magnitude et la reconnaissance des chiffres. En outre, les écoles ont partagé les résultats de deux autres tests auxquels les enfants ont préalablement participé, il s'agit du Peabody Picture Vocabulary Test – Third Edition (PPVT – III) et du Woodcock-Johnson Psycho-Educational Battery-Third Edition (WJ-III). Les enseignants devaient proposer au moins trois jeux par semaine. Quatre jeux d'appariement, type Memory, ont été proposés au groupe contrôle, ils comprenaient chacun 48 cartes et l'objectif était de trouver des paires de cartes identiques en retournant deux cartes à la fois. Les enseignants avaient comme seule consigne de proposer une aide verbale aux enfants lors des parties de cartes. Les enseignants du groupe d'intervention ont, quant à eux, fait participer leurs élèves à une réplique du jeu mathématique "The Great Race" tiré des travaux des chercheurs Ramani et al. (2012). Les échiquiers du jeu s'étendent de 1, à gauche, à 10, à droite. À chaque tour, l'enfant tourne le disque indiquant un 1 ou un 2 et avance son pion, il doit indiquer les chiffres inscrits sur les cases. Ainsi, s'il obtient un 2 et que son pion se situe dans l'espace/case numérique 1, il doit compter à haute voix : « deux, trois » et mettre sa pièce sur l'espace/case 3. Le premier joueur qui atteint dix remporte la partie. Il existe également une autre version du jeu allant de 1 à 30 pour les enfants capables de jouer plus longtemps avec des nombres plus élevés. Un manuel a été fourni aux enseignants avec notamment les objectifs de l'étude, des instructions pour le jeu, des formulaires de suivi, et des conseils. Les enfants qui ont joué aux jeux mathématiques se sont significativement améliorés dans l'identification des chiffres que les enfants témoins (+20%). Parmi les enfants du groupe de jeux mathématiques, ceux qui ont participé à la plus grande variété de jeux se sont davantage améliorés en comptage verbal, comparativement aux enfants du groupe contrôle. L'inclusion de jeux de société mathématiques simples dans la classe préscolaire permet d'aider les jeunes enfants à développer des compétences mathématiques de base plus solides qui sont essentielles à l'apprentissage des concepts plus complexes des mathématiques. Les enseignants peuvent donc proposer des jeux variés pour que les enfants ne perdent pas l'intérêt aux jeux, et mettre en lien les jeux avec le programme scolaire en utilisant des jeux qui couvrent une large gamme de compétences mathématiques. Il apparaît également important d'utiliser des jeux simples et de communiquer avec les familles afin de leur donner des ressources pour appliquer ses conseils à la maison.

L'étude contrôlée randomisée de Gasteiger et Moeller (2021) a, quant à elle, tenté d'évaluer si le fait de jouer à des jeux de société conventionnels avec des dés traditionnels à points numérotés de un à six pouvait favoriser les compétences numériques précoces des enfants. Les 95 participants étaient des enfants allemands, âgés de 4;11 ans en moyenne, 48 d'entre eux ont été assignés au groupe

d'intervention, les 47 autres au groupe contrôle. Leurs compétences numériques ont été évaluées 30 minutes avant l'intervention lors d'un pré-test, puis juste après l'intervention lors d'un post-test, et enfin un an après l'intervention lors d'un test de suivi. Cinq subtests de TEDI-MATH (Kaufmann et al., 2009) ont été utilisés lors de ces évaluations : principes de comptage, comptage d'objets, reconnaissance de chiffres arabes, reconnaissance de mots chiffres, et calcul à partir d'objets. Les deux groupes ont suivi un programme de quatre semaines de jeux de plateau conventionnels comprenant sept sessions de 30 minutes. Lors des parties, des groupes de deux ou trois enfants étaient formés. Le groupe contrôle a participé à des jeux dont les dés ne sont pas numériques mais avec des symboles ou des couleurs. Le groupe d'intervention, quant à lui, n'a joué qu'à des jeux proposant des dés traditionnels, avec des faces de 1 à 6, tels que les « petits chevaux ». Les résultats obtenus montrent une amélioration des compétences numériques des deux groupes, mais cette amélioration est significativement plus importante pour les enfants ayant joué avec des dés numériques. L'utilisation de dés traditionnels à points numérotés de un à six a été associée à des gains d'entraînement significativement plus importants pour le comptage et la contextualisation des structures par rapport à l'utilisation de dés avec des symboles ou des couleurs du groupe témoin. Ces bénéfices ont été vérifiés lors du test de suivi, un an après l'intervention. Le fait d'intégrer des jeux de société conventionnels avec des dés traditionnels numérotés de 1 à 6 dans les activités de classe peut être une intervention efficace et facile à mettre en œuvre pour soutenir le développement numérique précoce des enfants. Les enseignants peuvent notamment s'appuyer sur la modélisation en nommant les nombres sur les dés, en comptant à voix haute lors du déplacement des pions et en encourageant les enfants à s'entraider.

L'étude quasi-expérimentale de Friso-Van Den Bos et al. (2018) a cherché à déterminer si le développement des compétences arithmétiques est plus efficace dans le cadre d'un programme de formation au comptage ou de formation à l'utilisation de la ligne numérique. L'intervention a eu lieu auprès de 89 enfants néerlandais, âgés de 5;8 ans en moyenne. Ils ont été répartis au sein de trois groupes différents : un groupe d'entraînement au comptage, un groupe d'entraînement à la ligne numérique, et un groupe témoin qui a reçu une éducation mathématique habituelle et n'a participé à aucune activité liée à l'étude. Les tâches de prétest et de post-test ont été divisées en deux sessions, qui ont lieu sur deux jours à pas plus d'une semaine d'intervalle. Après chaque session, les enfants ont été récompensés par un autocollant coloré. Pendant la première séance, les enfants ont effectué des tâches de mémoire de travail, d'arithmétique, de comparaison symbolique et non symbolique. Lors de la deuxième séance, les enfants ont participé à des tâches issues de l'ENT-R (Van Luit et Van de Rijt, 2009) : la droite numérique symbolique et la droite numérique non symbolique. Le groupe d'entraînement au comptage a participé à des activités présentées sous forme de jeux : une activité de comptage résultant utilisant diverses activités motrices simples (par exemple, les applaudissements), une activité de comptage à partir d'un nombre supérieur, un jeu de société non linéaire, une activité de comptage de pierres colorées de même forme et taille. Le groupe d'entraînement à la ligne numérique a également participé à des activités présentées sous forme de jeux : un jeu du nombre et de la position dans lequel les enfants devaient repérer un nombre sur la droite numérique à l'aide d'un crayon, un jeu de la position par rapport au nombre pour lequel les participants devaient attribuer un numéro à une position donnée sur une droite numérique, un jeu de plateau numérique linéaire dans lequel les enfants devaient indiquer à haute voix les cases traversées lors d'un déplacement, et enfin un jeu d'étiquettes numériques linéaires pour lequel les participants simulaient un jeu d'étiquettes sur un tableau à cases numérotées. Seul le groupe d'entraînement au comptage a significativement augmenté ses résultats par rapport au groupe témoin. Les enfants issus de ce groupe ont en effet davantage amélioré leurs compétences mathématiques que les enfants assignés aux deux autres groupes. Ainsi,

il s'avère plus pertinent de s'appuyer sur des activités de comptage à l'école maternelle pour améliorer les compétences numériques des enfants plutôt que de passer par l'apprentissage des lignes numériques. Les enseignants peuvent donc proposer des activités de comptage diverses et variées puisque les compétences liées au comptage sont prédictives de la maîtrise d'autres tâches liées au nombre.

Deux études parmi celles sélectionnées dans le cadre de notre revue se sont intéressées à l'enseignement de la cardinalité à l'école maternelle. L'étude interventionnelle de Paliwal et Baroody (2018) a testé différentes modalités de travail de la cardinalité selon le mode de présentation : count-only (comptage seul des éléments), count-first (comptage puis étiquetage des éléments), et label-first (étiquetage puis comptage des éléments). Les interventions count-first et label-first ont montré un progrès significativement plus important que l'intervention count-only. La modélisation du principe de cardinalité est essentielle et doit être correctement réalisée. L'étiquetage du total des éléments immédiatement après l'énoncé du dernier mot numérique d'un décompte s'avère plus efficace que l'étiquetage du total avant le décompte des éléments. Cependant, ce principe d'enseignement de la cardinalité n'a pas été démontré dans l'étude de O'Rear et McNeil (2019). Cette dernière avait pour objectif de déterminer quelle méthode d'enseignement de la cardinalité était la plus efficace pour aider les enfants d'âge préscolaire à étiqueter les ensembles et à comprendre la cardinalité. Deux méthodes ont ainsi été comparées : la première axée sur un comptage et un étiquetage simultanés, la seconde axée sur un étiquetage précédant le comptage. La méthode d'étiqueter avant de compter s'est révélée la plus efficace pour développer la capacité des enfants à étiqueter des ensembles sans compter. Le groupe exposé aux comptage et étiquetage simultanés a néanmoins également présenté une amélioration des capacités d'étiquetage d'ensembles par rapport au groupe témoin. Cette étude souligne l'importance d'apprendre aux enfants d'âge préscolaire à étiqueter avant de passer au comptage pour améliorer leurs performances en cardinalité. L'étude de Paliwal et Baroody (2018) nous informe, quant à elle, de l'importance de lier le comptage et la valeur cardinale d'une collection pour modéliser la cardinalité. Le fait de compter avant d'étiqueter est plus efficace car cela place le dernier nombre juste avant l'étiquetage, ce qui rend l'association plus proche dans le temps. Compter un petit ensemble devant un enfant lui permet de se rendre compte que la dernière valeur de l'ensemble correspond au total.

L'étude de Schiffman et Laski (2018) a développé et testé une intervention pédagogique visant à améliorer les compétences arithmétiques des enfants d'âge préscolaire. L'objectif était de s'intéresser à l'utilisation par les enseignants d'une approche d'alignement cognitif. Les 29 participants américains, âgés de 6;3 ans en moyenne, ont été répartis en deux groupes (intervention/contrôle). Au cours des séances de pré-test (séance 1) et de post-test (séance six), ils ont réalisé deux tâches dans un ordre fixe : une tâche de traitement du nombre (« Numeracy Screener ») puis une tâche de résolution de problèmes comportant des additions (« Addition Accuracy »). Les stratégies qu'ils ont employées pour répondre ont également été évaluées (« Strategy Assessment »). Lors des séances deux à cinq, les enfants ont joué au jeu de construction des dizaines (« Building Tens »). Le groupe contrôle était associé à la condition irrégulière, en effet la grandeur numérique de chaque addition était représentée par des ensembles d'étoiles présentées aléatoirement sur des cartes carrées. Le groupe expérimental était lui exposé aux conditions linéaires-spatiales, la grandeur numérique de chaque addition était représentée sous forme d'unités organisées linéairement à l'aide de cases. La procédure de jeu était identique dans les deux conditions. Chaque joueur disposait d'un ensemble de pièces (bleues pour l'expérimentateur et rouges pour l'enfant) représentant les valeurs numériques un à neuf à la fois non symboliques et avec un chiffre arabe. Pendant le jeu, l'expérimentateur sélectionnait une valeur numérique et demandait à l'enfant de trouver la valeur numérique qui, une fois combinée avec la

première valeur, serait égale à dix. Une fois que l'enfant avait identifié le bon complément à dix, il devait trouver l'équation symbolique qui représentait comment il avait fait dix (par exemple,  $5 + 5 = 10$ ). Si un enfant donnait une réponse incorrecte, l'expérimentateur lui précisait si la somme obtenue était supérieure ou inférieure à 10 et l'enfant était invité à sélectionner une nouvelle valeur numérique. Aucune amélioration significative n'a été observée, mais une réduction significative de l'erreur absolue chez les enfants appartenant au groupe de matériel linéaire-spatial par rapport aux enfants du groupe du matériel présenté de manière irrégulière a été relevée. Même lorsqu'ils ont répondu de manière incorrecte, les enfants du groupe linéaire-spatiale étaient plus susceptibles de fournir des réponses proches de la somme réelle que les enfants du groupe de matériel irrégulier. Les enfants qui ont pratiqué l'addition avec les matériaux linéaires-spatiaux ont utilisé des stratégies avancées, en particulier le comptage, avec une fréquence et une précision plus élevées que ceux qui ont appris avec les matériaux irréguliers. Les enseignants peuvent opter pour des représentations linéaires des nombres plutôt que des collections désordonnées d'objets ou de dessins afin de favoriser le développement des compétences en mathématiques chez les enfants. De plus, accorder une attention particulière à la compréhension de la taille relative des nombres avant et pendant l'enseignement des concepts arithmétiques pourrait améliorer significativement les résultats. Il serait bénéfique d'encourager activement les enfants à comparer les nombres avant de les additionner, ce qui mettrait en valeur l'importance des supports visuels linéaires.

Deux études ont permis d'évaluer les bénéfices d'un entraînement des compétences numériques par l'utilisation d'applications sur tablette. L'étude randomisée contrôlée de Ramani et al. (2019) avait pour objectif d'évaluer les effets à long terme des jeux d'entraînement sur tablette ciblant soit des compétences numériques spécifiques, soit des compétences générales de la mémoire de travail chez les enfants d'âge préscolaire. L'ensemble des modalités de l'étude sont décrites au-dessus dans la sous-partie « mémoire de travail ». Le groupe contrôle actif a participé à un programme sur tablette nommé "Course arc-en-ciel" et composé de dix sessions. Le premier groupe d'intervention intitulé « groupe domaine spécifique » ciblait l'entraînement des connaissances numériques avec le matériel « La Grande course ». Il s'agit d'une grille de dix cases sur dix composée de nombres allant de 1 à 100 et dont la valeur augmente de gauche à droite. Les enfants ont déplacé leur personnage le long du plateau en appuyant sur une toupie numérotée de un à six, puis en déplaçant le nombre approprié d'espaces en appuyant sur chaque espace numéroté. Une rétroaction était fournie lorsque les enfants faisaient une erreur. Après trois tours, les personnages ont été retirés du plateau et affichés sur la gauche du plateau indiquant le numéro sur lequel chaque personnage se trouvait en dessous. Les enfants ont été invités à répondre à la question « Quel personnage est en tête ? ». Des pièces étaient gagnées pour chaque bonne réponse et totalisées à la fin du jeu. Le second groupe d'intervention intitulé « groupe domaine général » ciblait l'entraînement de la mémoire de travail à partir du matériel « Rappelle les tous ». Les résultats de cette étude concernant les connaissances numériques témoignent d'une amélioration significative chez les enfants ayant joué au jeu numérique par rapport au groupe témoin. Les enfants qui ont joué à des jeux sur tablette ciblant des compétences spécifiques au domaine et générales ont montré des améliorations de leurs connaissances numériques à court et à long terme. Les jeux sur tablette se révèlent donc être des outils efficaces pour améliorer les compétences numériques des enfants d'âge préscolaire. Les professeurs peuvent s'appuyer sur des jeux sur tablette conçus pour améliorer les compétences numériques des élèves. Les jeux éducatifs utilisés dans l'étude sont faciles à administrer et peu coûteux, ils peuvent donc être facilement intégrés dans d'autres classes et compléter les activités de maternelle.



L'étude randomisée contrôlée de Outhwaite et al. (2019) a cherché à déterminer comment les applications éducatives de mathématiques pouvaient être mises en œuvre de manière efficace dans un cadre scolaire et quels composants du développement mathématique étaient soutenus par ces applications. Le projet concernait 461 enfants britanniques âgés de quatre à cinq ans. Ils ont été assignés aléatoirement à un groupe. Le groupe 1, composé de 153 enfants, a bénéficié de l'usage d'une application mathématique en plus de la pratique mathématique quotidienne habituelle. Le groupe 2, composé de 152 enfants, s'est vu proposer l'application mathématique à la place de la pratique mathématique standard quotidienne. Enfin, le groupe 3, composé de 156 enfants, a uniquement suivi une pratique mathématique standard, il s'agit donc d'un groupe contrôle. Les compétences mathématiques de l'ensemble des participants ont été évaluées lors des pré et post-tests avec PTM5 (Math Assessment Resource Service, 2015). Il s'agit d'une évaluation de dix à quinze minutes des capacités mathématiques testant les domaines suivants : la connaissance des faits et des procédures, la maîtrise du lexique mathématique, la reconnaissance des nombres, le raisonnement mathématique et la résolution de problèmes. Les enfants des groupes d'intervention 1 et 2 ont pu utiliser deux applications mathématiques (Maths 3-5 et Maths 4-6) au cours de 30 minutes quotidiennes lors des douze semaines de l'intervention. Les applications sont axées sur les connaissances mathématiques de base comme l'addition et la soustraction. Les enfants ont accès à des images, des sons et des animations et peuvent aller à leur rythme car les applications s'utilisent de façon individuelle avec des écouteurs. Pour chaque thème abordé, par exemple l'appariement par couleur, un quiz permet d'évaluer la compréhension des enfants et doit être réussi à 100% pour accéder au thème suivant. Lorsque les élèves terminent les activités, ils réalisent un quiz thématique de dix questions qui doit être réussi pour passer au thème suivant. Pour la pratique mathématique standard en petits groupes, il s'agissait de séances quotidiennes données par les professeurs en petits groupes sur les mêmes concepts que ceux abordés par les deux applications. Contrairement à la pratique mathématique en petits groupes, à laquelle n'ont pas participé les enfants du groupe 2, tous les enfants de l'étude ont aussi profité d'activités mathématiques en grand groupe, c'est-à-dire la classe. Un professeur a par exemple initié les élèves aux formes en leur faisant explorer leur salle de classe à la recherche des différentes formes. Les trois groupes ont montré une amélioration significative des compétences numériques au fil du temps, mais c'est le groupe 1, combinant l'utilisation de l'application à la pratique mathématique habituelle, qui a montré les gains les plus importants. En effet, les compétences numériques des enfants ayant été exposés aux applications mathématiques se sont améliorées de manière significative par rapport à ceux n'ayant reçu que l'enseignement standard, avec des différences de performance allant jusqu'à trois à quatre mois d'avance. En outre, que l'utilisation des applications mathématiques soit proposée en plus de la pratique mathématique standard ou en remplacement d'une activité mathématique régulière en petits groupes conduit à des résultats similaires. Cela indique donc que l'usage des applications peut être efficace sans nécessiter pour autant de trouver un temps supplémentaire d'apprentissage des mathématiques. Ainsi, d'après ces deux études, les jeux sur tablette issus d'applications mathématiques interactives liées au programme scolaire peuvent constituer de bons outils pour améliorer les compétences numériques par le biais d'un apprentissage engageant, interactif, multisensoriel et répétitif. Les enseignants peuvent donc s'appuyer sur les bienfaits des jeux sur tablette conçus pour améliorer les compétences numériques des enfants d'âge préscolaire en complément des méthodes d'apprentissage classiques.

L'étude de Hamamouche et al. (2020) a cherché à déterminer si le fait de contextualiser les problèmes de division grâce à des scénarios de partage pouvait améliorer la capacité des enfants d'âge préscolaire à les résoudre. En effet, il existe des liens structurels particuliers entre les processus

cognitifs impliqués dans le partage et dans la division. Les 113 participants américains, âgés de 57,94 mois en moyenne ont été répartis aléatoirement dans deux conditions différentes : une condition de partage et une condition non sociale. Les enfants ont participé à trois types de problèmes arithmétiques : addition, soustraction, et division. Lors de la division, les enfants devaient répartir équitablement les ressources aux jouets. Ces problèmes étaient présentés de deux manières différentes : soit dans un contexte de scénarios contextualisés de partage (peluches), soit dans un contexte non social (formes). Ainsi, quatre groupes ont été formés : 33 enfants dans le groupe 1 (contexte de partage, petite taille d'ensemble), 24 enfants dans le groupe 2 (contexte de partage, grande taille d'ensemble), 31 enfants dans le groupe 3 (contexte non social, petite taille d'ensemble) et enfin 25 enfants dans le groupe 4 (contexte non social et grande taille d'ensemble). La taille de l'ensemble représente le nombre de jouets dans l'activité : quatre pour le petit ensemble et huit pour le grand ensemble. Les enfants répondaient de manière formelle (réponses verbales) et informelle (manipulation d'objets). Le groupe de la condition de partage devait répartir les jouets entre deux animaux en peluche. Lors de la division, les enfants devaient partager une pile de 4 jouets entre deux peluches. Ils fournissaient d'abord une réponse verbale, puis donnaient des jouets aux peluches, ce qui renforce le caractère social. Quant aux enfants du contexte non social, ils ont réalisé la même intervention sauf que la répartition des jouets se faisait entre deux formes (ex. cercle ou carré). Les réponses basées sur l'action étaient significativement plus précises que les réponses verbales quel que soit le type d'essai. Cependant, la précision des enfants en condition de partage était meilleure lors des divisions par rapport aux additions et soustractions, alors que les résultats des enfants en condition non sociale ne variaient pas selon le type d'opération. Les enfants en condition de partage étaient trois fois plus susceptibles de donner une réponse informelle correcte en situation de division que ceux du contexte non social. Ainsi, les enseignants peuvent utiliser des scénarios de partage pour travailler les problèmes de division chez les enfants d'âge préscolaire. La capacité à résoudre des problèmes de manière informelle peut être acquise avant l'arithmétique verbale. Il est donc recommandé de contextualiser les problèmes mathématiques en s'appuyant sur la manipulation d'objets pour améliorer les performances numériques des enfants.

L'étude de Hyde et al. (2021) a souhaité étudier le rôle des symboles dans le développement de la numératie chez les enfants d'âge préscolaire. Les 215 participants américains et italiens, âgés de 49,15 mois en moyenne, ont été assignés de façon pseudo-aléatoire à une des cinq variantes d'un jeu d'entraînement numérique et y ont joué pendant deux semaines. Parmi ces cinq variantes, deux étaient non symboliques : l'énumération non symbolique séquentielle et l'énumération non symbolique basée sur les ensembles. Les trois autres étaient symboliques : le décompte verbal séquentiel, l'étiquetage verbal basé sur les ensembles et enfin le décompte séquentiel avec boulier. Les éléments contenus dans le jeu étaient variés (ex. poissons, tortues, oiseaux, bananes). Tout d'abord, les enfants observaient les éléments tomber dans un panier, puis le contenu de ce panier était caché tandis que le contenu d'un deuxième panier devenait visible. Ils devaient alors sélectionner le panier le plus rempli. Les résultats obtenus montrent que les enfants entraînés sur des comparaisons numériques avec des aides symboliques ont réalisé des gains significativement plus importants en correspondance un à un et en arithmétique, que les enfants entraînés à la comparaison numérique non symbolique. La précision de la correspondance un à un s'est davantage améliorée pour ceux formés avec le boulier symbolique non verbal par rapport à ceux formés sur la comparaison numérique non symbolique seule. Ainsi, les enseignants peuvent proposer un entraînement à la comparaison numérique avec des aides symboliques. En effet, s'appuyer sur des outils numériques symboliques permet d'améliorer la compréhension et les performances de plusieurs aspects de la numératie chez les enfants d'âge

préscolaire.

## 2.3. Compétences motrices

### 2.3.1. Motricité fine

La stimulation de la motricité fine chez les jeunes enfants dans des activités numériques a été au centre de plusieurs études récentes dont les résultats divergent. Tout d'abord, l'étude de Schild et al. (2020) a exploré les effets d'une formation fondée sur les doigts et les nombres sur les compétences arithmétiques initiales de 102 enfants allemands d'âge préscolaire. Les domaines évalués lors des pré et post-tests sont les suivants : gnosie digitale, complétion jusqu'à 5/10, addition, soustraction et capacités cognitives générales. Le groupe d'intervention s'est vu proposer 18 jeux courts impliquant l'usage des doigts. La formation de 10 semaines s'est déroulée tous les jours, pendant 10 minutes avec trois jeux par séance (selon la durée des parties). Cinq compétences particulières ont été entraînées. Tout d'abord, les gnosies digitales étaient travaillées avec des tâches pour lesquelles l'enfant tapait et traçait un chemin à travers un labyrinthe avec ses doigts sans impliquer de chiffres. De plus, une activité de cartographie 1 à 1 a été proposée pour associer les doigts et les chiffres et apprendre les chiffres arabes en les traçant sur une feuille avec une correspondance des doigts. Des compétences d'association ordinale doigt-nombre ont été enseignées à travers divers jeux, par exemple compter les doigts ou les objets et ordonner les nombres. Des compétences d'association cardinale doigt-nombre ont également été travaillées, par exemple en nommant le nombre correspondant aux doigts présentés, en repérant des nombres cachés dans des histoires, ou encore par le biais de jeu de cartes mémoire/de bingo/de dominos avec des cartes affichant les doigts et chiffres. Enfin, les relations numériques dans le système positionnel en base 10 ont été entraînées par la réalisation de cinq à dix tâches avec les doigts ou par le biais d'un jeu de cartes. Le groupe témoin était composé de 67 enfants dont 37 ont reçu une formation contrôle phonologique et dont 30 ont reçu une formation contrôle phonologique-orthographique dont les jeux étaient de durée similaire à ceux proposés dans le groupe d'intervention. Contrairement aux attentes, le groupe ayant reçu la formation sur les doigts et les nombres n'a pas montré d'améliorations supérieures en compétences arithmétiques par rapport au groupe témoin. Les chercheurs stipulent que la formation n'a peut-être pas réussi pour ce groupe d'âge particulier avec ce cadre de formation particulier et pour ces évaluations particulières. De plus, ils soulignent que la formation du groupe témoin contenait des éléments (par exemple des séquences d'entraînement implicites) qui pourraient avoir également été bénéfiques pour le développement des compétences arithmétiques des enfants. Ils conseillent donc aux enseignants d'envisager d'autres approches pédagogiques pour renforcer les compétences mathématiques des jeunes enfants.

Cependant, deux autres études ont obtenu des résultats opposés à ce premier article, il s'agit des études d'Ollivier et al. (2020) et d'Orrantia et al. (2022). La première est une étude randomisée contrôlée qui évalue l'impact d'un programme d'intervention de 10 semaines mis en œuvre par l'enseignant pour apprendre aux enfants à utiliser leurs doigts dans des tâches numériques. Pour cela, 36 enfants âgés de 5;5 ans en moyenne et scolarisés en grande section de maternelle en France ont participé. Deux semaines avant (pré-test) et deux semaines après les interventions (post-test), un chercheur a proposé aux enfants 10 tâches de résolution de problèmes issus du TEst pour le Diagnostic des compétences mathématiques (TEDI-MATH; Grégoire, Noel, & Van Nieuwenhoven, 2004). Cinq éléments sont des problèmes arithmétiques (« AP ») avec des opérations additives à un chiffre, et les cinq autres sont des problèmes de mots (« WP ») avec des opérations additives à deux chiffres et soustractions de trois chiffres. Lors des tests, le chercheur observe si l'enfant s'aide de ses doigts pour

se représenter les quantités et résoudre les problèmes. Lors de la période de formation, l'enseignant du groupe de contrôle n'a reçu aucune instruction spécifique, il a simplement poursuivi sa progression habituelle en classe. Dans le groupe d'intervention, l'enseignant a proposé un entraînement des représentations perceptives et motrices des mains et des doigts. Les enfants ont effectué des exercices quotidiens de 15 minutes de déliaison des doigts et de gymnastique digitale. L'objectif était d'apprendre aux enfants à utiliser leurs doigts indépendamment les uns des autres et successivement pour chaque main à partir de 8 exercices extraits d'une série de vidéos disponibles sur un site de remédiation en graphomotricité. Pendant ce temps, les enfants pouvaient également jouer avec un élastique en le faisant passer d'un doigt à l'autre ou en réalisant des figures. La motricité manuelle a été systématiquement reliée explicitement par l'enseignant au fait que les mains et les doigts doivent être faciles à utiliser dans les situations mathématiques. En outre, l'enseignant a proposé un entraînement à la composition et à la décomposition des nombres à l'aide des doigts. Un jeu quotidien de 15 minutes (« jeu d'annonce ») a été organisé dans la classe, sous la forme d'un groupe de travail de 3 à 4 enfants. Le scénario pourrait se résumer à la séquence suivante : les enfants annoncent d'abord un nombre en le représentant verbalement et numériquement avec une ou deux mains, puis deux dés sont lancés par le joueur, enfin le nombre réalisé par le dé est comparé aux annonces des joueurs. A chaque nouveau jeu et au cours de l'activité, l'enseignant présentait l'objectif : savoir représenter avec les doigts toutes les décompositions des nombres inférieurs à douze avec une, deux ou trois mains de joueurs. Une activité visant à développer simultanément la sensibilité numérique et la décomposition des quantités (« trouver le nombre tactile ») a également été proposée au cours de séances quotidiennes de 15 minutes. Les enfants travaillaient la décomposition des nombres (de 3 à 8) de manière tactile, en touchant à l'aveugle des tampons de feutre collés sur deux feuilles de carton (par exemple, 3 et 5 tampons), enfermés dans une boîte, et en indiquant verbalement la quantité totale. Dans la première étape du jeu, les enfants devaient associer le motif exploré à un motif visuel au choix parmi deux propositions (correspondance analogique). S'ils y parvenaient, ils devaient identifier et nommer verbalement le nombre total (ici huit). Le groupe bénéficiaire de l'intervention a amélioré ses performances lors des tâches de résolution de problèmes (post-test). Les résultats obtenus démontrent donc que l'entraînement moteur et l'enseignement explicite de l'utilisation des doigts ont tous deux permis d'améliorer les performances mathématiques et le comptage des doigts par rapport au groupe contrôle. Au sein de ce dernier, 56% des enfants n'ont pas utilisé leurs doigts lors du post-test. Il est donc recommandé d'exercer la motricité fine des enfants dans le but de faire de leurs mains des outils fonctionnels pour se représenter la réalité. Les enseignants peuvent s'appuyer sur l'utilisation des doigts en maternelle dans des situations mathématiques pour améliorer les compétences numériques des enfants.

Les auteurs de la seconde étude, randomisée contrôlée, ont tenté de déterminer si l'utilisation des doigts pouvait améliorer la compréhension de la cardinalité des mots numériques chez les enfants de trois ans. L'intervention a eu lieu auprès de 51 enfants espagnols scolarisés en école maternelle, âgés de 39,8 mois en moyenne et répartis au sein de deux groupes, soit dans un groupe contrôle dans lequel des tâches d'étiquetage-comptage-étiquetage (LCL) ont été proposées, soit dans un groupe d'intervention pour lequel les mêmes tâches ont été réalisées mais enrichies par l'utilisation des doigts. Des pré-tests ont d'abord été réalisés, puis les enfants ont participé à trois semaines de formation (une session par jour d'école), enfin des post-tests leur ont été proposés. Les compétences mathématiques et motrices testées étaient les suivantes : connaissance de la cardinalité (tâches de « Give-N »), connaissance de la séquence de comptage, mémoire de travail visuelle, connaissance et représentation des doigts et des formes de points (« tâches de How-many »), et enfin motricité fine. Pour les deux groupes, au début de chaque séance, les enfants chantaient une comptine sur les nombres

avec une carte mémoire associant un objet à chaque nombre pour les familiariser avec l'étiquetage. Puis, les enfants ont reçu des cartes mémoire sur lesquelles l'enseignant a d'abord étiqueté la quantité de l'ensemble en verbalisant : « regardez cette carte, elle contient trois voitures, on peut tous dire « trois voitures ! ». Ensuite, les enfants ont compté à haute voix et verbalisé seuls le nombre total d'éléments des cartes désignées par l'enseignant. Le groupe d'intervention s'est vu proposer les mêmes tâches mais avec la présence de l'utilisation des doigts, ainsi la comptine était la suivante : « doigt un, doigt un ? Où es-tu? Me voici, me voici, comment vas-tu ? ». Puis, pendant l'exercice de comptage, des modèles de cartes mémoire ont été proposés simultanément avec les modèles de doigts correspondants présentés par l'enseignant. Puis, les enfants ont compté à haute voix et verbalisé seuls le nombre total d'éléments des cartes tout en affichant le modèle de doigts associé. Les enfants du groupe LCL avec enrichissement des doigts ont obtenu de meilleurs résultats au test GIVE-N que ceux du groupe LCL de façon significative. L'intervention a été efficace pour les enfants ayant de bonnes compétences liées aux doigts et aux nombres ainsi que pour ceux ayant des compétences plus faibles. L'effet significatif de l'entraînement enrichi par la manipulation des doigts sur les performances permet de recommander l'utilisation des pratiques pédagogiques combinant l'apprentissage de la mobilisation des doigts avec des pratiques pédagogiques comme l'étiquetage et le comptage. En effet, les doigts ont à la fois des propriétés symboliques et iconiques, ils représentent à la fois des concepts abstraits et des quantités concrètes. Les enfants exposés à des représentations combinant des gestes avec les doigts, des mots numériques et des ensembles d'objets peuvent établir des liens plus forts entre ces éléments et en tirent une meilleure compréhension. Un programme combinant les mobilisation des doigts, l'étiquetage et le dénombrement peut efficacement soutenir et accélérer l'apprentissage de la cardinalité numérique chez les enfants en maternelle.

### **2.3.2. Activité physique**

Deux études se sont penchées sur l'activité physique comme action de stimulation mathématique. L'étude de Gable et al. (2021) avait pour but d'évaluer l'utilité d'une approche physiquement active pour permettre aux enfants d'âge préscolaire d'apprendre les nombres. Les 64 enfants américains participant étaient âgés de 46 mois en moyenne (treize d'entre eux n'ont finalement pas terminé l'étude). Un pré-test (T1) de numératie de quinze à vingt minutes a été réalisé une semaine avant l'intervention. Les participants ont été assignés de manière aléatoire à l'un des trois groupes d'intervention : 23 d'entre eux à la version modifiée de « La Grande Course », 21 d'entre eux à la version originale de « La Grande Course » et les vingt autres à un groupe de contrôle sans intervention. Quatre séances de quinze à vingt minutes ont été réalisées en l'espace de trois semaines. Le post-test (T2) a été proposé une semaine après la dernière séance d'intervention. Des évaluations de fin d'année (T3) ont également été effectuées environ 6 mois après T1 et environ 5 mois après T2. Les évaluations utilisées lors des différents tests permettaient d'évaluer les capacités de comptage des enfants, leur connaissance de la cardinalité, la reconnaissance des chiffres arabes et les comparaisons de magnitude. Les deux versions de « La Grande Course » présentaient un scénario similaire. Chaque partie commençait par une révision de la ligne numérique en pointant et en comptant les nombres à haute voix. Les joueurs jouaient ensuite à tour de rôle en donnant un coup de pied à une toupie, ils énonçaient le nombre sur la toupie et sautaient ou déplaçaient une pièce de jeu. Si besoin, l'expérimentateur leur demandait de compter et les aidait. Les résultats ont montré des améliorations des compétences et connaissances en numératie chez tous les groupes. Aucune variation dans les connaissances et les compétences des enfants en matière de système de numération n'a été observée d'un groupe à l'autre au fil du temps.

L'étude d'Elofsson et al. (2018) avait, quant à elle, pour objectif d'évaluer l'efficacité de l'activité physique et de la musique sur les compétences mathématiques des enfants. Les 53 participants suédois âgés de 5,82 ans en moyenne ont été assignés à l'une des deux conditions pendant une période de trois semaines, les sessions duraient 30 minutes à raison de deux fois par semaine. Dans la première condition « Activités numériques courantes à l'école maternelle », les enfants ont participé à des activités numériques courantes telles que des activités de comptage verbal de base, de comptage par cœur, de comptage en avant à partir d'un nombre donné, de comptage en arrière à partir d'un nombre donné, de dénomination des chiffres arabes de 1 à 10 et de comptage d'objets de 1 à 10. Les participants ont également joué à des jeux numériques tels que le Memory, le Bingo ou le Go Fish. Lors de chaque séance du groupe d'intervention « Math in Action », les enfants ont participé à des activités mathématiques particulières telles que du comptage par cœur (chant, rythme), du comptage en avant de différents nombres (saut sur la ligne des nombres, chant et rythme), du comptage en arrière de différents nombres (saut sur la ligne des nombres, chant et rythme), de la pratique de l'addition et de la soustraction (jeu de chant), et de la pratique des habiletés motrices. Les résultats de cette étude ont montré que les enfants qui ont participé au groupe intégrant les activités physiques et la musique ont amélioré leurs capacités mathématiques de façon significativement plus importante que ceux qui ont appris les mathématiques avec des activités numériques communes. C'est notamment le cas pour les compétences de comptage en avant, de décompte en arrière et de dénomination des chiffres. Cette étude met donc en évidence la corrélation entre les compétences motrices et les compétences mathématiques des enfants. Cela souligne donc l'importance de concevoir des environnements d'apprentissage qui intègrent des activités physiques et musicales pour améliorer les performances mathématiques des enfants d'âge préscolaire.

## **Discussion**

### **1. Synthèse des résultats obtenus**

Ce mémoire s'inscrit dans une démarche de recueil des actions de stimulation mathématiques efficaces et validées scientifiquement, à destination des enseignants. Une revue de la littérature a été menée et a permis de regrouper les idées issues de 19 travaux. Elle contribue à la mise en lumière de plusieurs aspects essentiels concernant les actions de stimulation mathématique à l'école maternelle.

Des chercheurs se sont notamment intéressés à la stimulation précoce des compétences cognitives générales. Il est pertinent de développer les compétences de réflexion et de régulation des fonctions exécutives des enfants d'âge préscolaire pour améliorer leurs aptitudes numériques. Les enseignants peuvent notamment leur proposer des activités qui combinent un entraînement des compétences numériques et des fonctions exécutives (Prager et al., 2023). De plus, une autre compétence cognitive peut être entraînée, il s'agit de la mémoire de travail. Une exposition à des jeux combinés de comptage, de comparaison et de mémoire de travail permet d'améliorer les compétences numériques des enfants et ces bénéfices sont durables. Les enseignants peuvent donc proposer aux enfants des jeux associant des activités de comptage et de comparaison tout en s'appuyant sur des jeux renforçant les compétences en mémoire de travail (Praet & Desoete, 2019). Les jeux sur tablette ciblant des compétences mathématiques spécifiques constituent des outils efficaces pour entraîner la mémoire de travail des enfants d'âge préscolaire et ainsi améliorer leurs compétences numériques. Les enseignants peuvent donc intégrer des temps de jeu sur tablette pour entraîner à la fois les capacités numériques et la mémoire de travail des enfants. Ces activités peuvent compléter les périodes d'apprentissage classique (Ramani et al., 2019).

De nombreuses études ont examiné l'efficacité des jeux mathématiques pour améliorer les compétences numériques des enfants d'âge préscolaire. La pratique de jeux mathématiques permet d'améliorer les compétences numériques des enfants en maternelle (Cohrssen & Niklas, 2019). En effet, l'exposition à des jeux de cartes et de plateau conçus développent les compétences arithmétiques, en particulier dans le domaine de la décomposition additive (Vlassis et al., 2023). Cela permet également d'améliorer les capacités d'identification des chiffres et de comptage verbal des enfants (Lange et al., 2021). L'intégration de jeux de société mathématiques simples dans les programmes préscolaires peut donc être une intervention efficace pour renforcer les compétences numériques de base, notamment lorsqu'ils sont nombreux et variés. En outre, au cours de ces jeux, l'utilisation de dés traditionnels numérotés peut soutenir le développement numérique précoce des enfants (Gasteiger & Moeller, 2021). Une approche combinant le comptage et la comparaison permet d'améliorer leurs compétences arithmétiques, les effets bénéfiques se maintiennent sur le long terme (Praet & Desoete, 2019). En outre, l'utilisation d'applications sur tablette ciblant des compétences numériques spécifiques apportent des bénéfices à court et à long terme dans l'enseignement arithmétique (Ramani et al., 2019). Ces jeux interactifs peuvent être proposés en complément ou en remplacement de la pratique mathématique standard et constituent des outils flexibles, ludiques et efficaces pour soutenir l'apprentissage des mathématiques à l'école maternelle (Outhwaite et al., 2019).

De nombreuses études ont abordé l'entraînement de compétences mathématiques spécifiques. En ce qui concerne l'enseignement de la cardinalité, un apprentissage préalable de l'étiquetage avant de l'associer au comptage aide les enfants à mieux comprendre la cardinalité (O'Rear & McNeil, 2019). Puis, la séquence comptage-étiquetage doit être réalisée dans cet ordre. En effet, le fait de compter avant d'étiqueter s'avère plus efficace car cela place le dernier nombre juste avant l'étiquetage, ce qui rend l'association plus proche dans le temps, lier le comptage et la valeur cardinale d'une collection pour modéliser la cardinalité. De plus, compter un petit ensemble devant un enfant lui permet de se rendre compte que la dernière valeur de l'ensemble correspond au total. (Paliwal & Baroody, 2018). Il est plus pertinent de favoriser un entraînement au comptage pour améliorer les compétences numériques des enfants. Les enseignants peuvent donc proposer diverses activités de comptage, car les compétences liées au comptage sont prédictives de la maîtrise d'autres tâches liées aux nombres (Friso-Van Den Bos et al., 2018). De plus, la représentation linéaire-spatiale des nombres dans l'enseignement des compétences arithmétiques favorise le développement de stratégies avancées de calcul. Les enseignants peuvent donc opter pour des présentations linéaires des nombres plutôt que des collections désordonnées d'objets afin de favoriser le développement des compétences mathématiques chez les enfants (Schiffman & Laski, 2018). En outre, il s'avère intéressant de contextualiser les problèmes mathématiques en s'appuyant sur la manipulation d'objets pour améliorer les performances numériques des enfants. La capacité à résoudre des problèmes de manière informelle peut être acquise avant l'arithmétique verbale. Ainsi, les enseignants peuvent utiliser des scénarios de partage pour travailler les problèmes de division chez les enfants d'âge préscolaire. (Hamamouche et al., 2020). Enfin, lorsque les enseignants souhaitent travailler la comparaison numérique, il est intéressant de s'appuyer sur des aides symboliques. En effet, s'appuyer sur des outils numériques symboliques permet d'améliorer la compréhension et les performances de plusieurs aspects de la numératie chez les enfants d'âge préscolaire. (Hyde et al., 2021)

Il existe une corrélation entre les aptitudes motrices et les aptitudes numériques des enfants en maternelle. L'entraînement moteur et l'enseignement explicite de l'utilisation des doigts permettent d'améliorer les performances mathématiques précoces (Ollivier et al., 2020). De plus, l'approche combinant l'utilisation des doigts avec des pratiques pédagogiques traditionnelles telles que

l'étiquetage et le comptage est recommandée pour soutenir l'apprentissage des compétences numériques chez les jeunes enfants (Orrantia et al., 2022). Les auteurs soulignent donc l'importance de développer la motricité fine des enfants d'âge préscolaire pour s'appuyer sur l'utilisation des doigts dans l'apprentissage des mathématiques. Cependant, il est nécessaire de bien choisir une approche pédagogique adaptée pour maximiser les bénéfices de cette stimulation. En outre, le fait d'intégrer des activités physiques et musicales permet d'améliorer les capacités mathématiques des enfants, notamment leurs compétences de comptage en avant, de décompte en arrière et de dénomination des chiffres. Il est donc pertinent de proposer aux enfants d'âge préscolaire des environnements d'apprentissage qui intègrent des activités physiques et musicales pour améliorer leurs performances numériques (Elofsson et al., 2018).

## **2. Qualité et validité des résultats**

La méthodologie rigoureuse mise en place pour cette revue de littérature a permis de sélectionner des articles répondant spécifiquement à la problématique de la prévention des troubles d'apprentissage en mathématiques chez les enfants d'âge préscolaire. En utilisant des bases de données informatisées et des mots-clés précis, une recherche exhaustive a été menée pour recueillir un ensemble d'études pertinentes. Nous avons également inclus un critère améliorant les qualités psychométriques des études en exigeant la présence d'un groupe contrôle. Cette restriction nous a permis d'évaluer plus précisément l'efficacité des interventions en mathématiques puisque l'ensemble des résultats obtenus a été comparé à ceux d'un groupe témoin, renforçant ainsi la validité des conclusions tirées des études incluses. De nombreux articles analysés dans cette revue sont des études contrôlées randomisées. Ces dernières représentent la méthode de référence pour déterminer l'impact d'une intervention dans le domaine de la santé à l'aide d'une comparaison directe avec un groupe qui ne reçoit pas l'intervention ou bien qui reçoit une autre intervention.

En outre, le fait de se concentrer sur les études publiées en 2018 et 2023 permet de mettre en lumière les recherches les plus récentes et les plus fidèles aux programmes scolaires actuels, et donc les plus adaptées à notre sujet. De plus, nous avons spécifié que les études devaient porter sur un système de numération positionnel en base 10. Cette restriction était nécessaire pour garantir que les interventions examinées étaient alignées avec les normes et les pratiques pédagogiques utilisées dans les programmes français d'éducation préscolaire, offrant ainsi une pertinence pratique aux enseignants qui consultent cette revue.

## **3. Contenu créé**

Dans le but de fournir aux enseignants d'école maternelle des activités concrètes permettant de stimuler les compétences mathématiques des enfants d'âge préscolaire, nous avons créé une synthèse d'activités et de conseils validés scientifiquement (Annexes 3, 4, 5). Cette synthèse pourra être ajoutée à la plateforme « LOLEMATH » pour que les enseignants puissent accéder rapidement et facilement à des idées d'activités de stimulation précoce en mathématiques. Ainsi, ils seront, nous l'espérons, mieux armés pour développer les compétences numériques des enfants de manière efficace et ludique.

## **4. Apport pour la pratique clinique**

Comme évoqué précédemment, stimuler les compétences précoces en mathématiques est essentiel, car elles sont prédictives de la réussite scolaire ultérieure. La mise à disposition de nos conseils



et activités de stimulation sur la plateforme « LOLEMATH », destinée aux enseignants d'enfants d'âge préscolaire, leur permettra d'obtenir des conseils, mais également des idées d'activités, validés scientifiquement, à réaliser en classe. Cette revue de littérature a permis de mettre en lumière plusieurs interventions efficaces pour stimuler les compétences numériques des enfants, offrant ainsi des perspectives précieuses pour les enseignants et les professionnels de l'éducation. En identifiant les méthodes les plus efficaces pour améliorer les compétences numériques des jeunes enfants, cette étude fournit des informations essentielles pour guider les pratiques pédagogiques en matière d'enseignement des mathématiques à l'école maternelle. Les enseignants pourraient ainsi utiliser ces interventions dans leur enseignement quotidien pour favoriser le développement des compétences numériques chez les jeunes apprenants.

## **5. Limites de la revue**

Cependant, malgré les points forts de cette revue, certaines limites doivent être prises en compte. Pour garantir la pertinence des études sélectionnées dans notre revue, nous avons établi des critères stricts de sélection. Tout d'abord, la restriction de la date de publication entre 2018 et 2023 pourrait exclure des études plus anciennes qui ont pu fournir des informations pertinentes mais qui ne répondent pas à cette limite temporelle. Cela pourrait potentiellement introduire un biais temporel dans notre revue, en ne tenant pas compte des recherches antérieures qui ont pu poser des bases importantes dans le domaine. De plus, la restriction de notre recherche à un système de numération positionnel en base 10 pourrait avoir exclu des études pertinentes mais portant sur d'autres systèmes de numération, ce qui limite la diversité des approches examinées dans notre revue.

En outre, certaines des études que nous avons retenues n'ont inclus que peu de participants à leur intervention. Cela peut avoir un impact sur la bonne qualité psychométrique de ces études. Cependant, nous avons décidé de les inclure dans notre revue puisque les conseils de stimulation qu'elles apportent nous ont semblé particulièrement pertinents.

Ensuite, bien que nous ayons défini des critères stricts pour les sujets, les populations et les méthodologies incluses, il reste possible que certains articles aient été inclus de manière subjective en fonction de nos propres biais cognitifs ou interprétatifs.

Enfin, nos méthodes de recherche pourraient ne pas avoir couvert toutes les bases de données pertinentes, ce qui a pu limiter le nombre d'articles que nous avons trouvés. En outre, le processus de double aveugle que nous avons utilisé pour la sélection des articles peut également présenter des risques de biais. Même avec deux examinateurs indépendants évaluant chaque article, il existe toujours la possibilité d'interprétations subjectives des critères d'inclusion et d'exclusion, ce qui pourrait influencer les décisions finales sur la sélection des articles lors des différentes étapes.

## **6. Pistes de recherches**

Dans le prolongement de cette revue de littérature, plusieurs pistes de recherche émergent pour aller plus loin dans notre compréhension des actions de stimulation mathématique les plus efficaces à l'école maternelle. Tout d'abord, il serait intéressant d'élargir cette revue de littérature pour inclure d'autres interventions et explorer, par exemple, l'efficacité des interventions spécifiques en fonction du niveau de développement des enfants ou de leur contexte socio-économique. Enfin, des recherches sur les facteurs facilitant ou entravant la mise en œuvre de ces interventions dans les salles de classe pourraient aider à informer les pratiques éducatives et à promouvoir une adoption plus large et plus efficace de ces méthodes.

## Conclusion

Ce mémoire s'inscrit dans une démarche de participation aux actions de prévention primaire qui font partie de la pratique orthophonique. En effet, il permettra d'alimenter la plateforme informatisée LoLeMath. Cette dernière propose de nombreux éléments de prévention dans le domaine de la cognition mathématique à destination des parents, des professionnels de la santé, mais également des professionnels de l'éducation. L'objectif de notre travail était d'établir une revue de la littérature sur les actions de stimulation mathématique qui sont les plus efficaces à l'école maternelle pour accéder à de meilleures compétences numériques. Nous avons donc réalisé une synthèse objective des données de la littérature disponibles sur ce sujet. Celle-ci permettra de répertorier l'ensemble des actions de stimulation qui peuvent être mises en place par les professeurs des écoles auprès des enfants de moins de six ans dans le but de limiter l'apparition de retards d'acquisition des mathématiques et de compenser les difficultés liées aux troubles d'apprentissage en mathématiques.

Pour ce faire, la méthode rigoureuse et reproductible des revues systématiques de la littérature a été respectée afin d'obtenir les données les plus probantes. La recherche bibliographique s'est focalisée sur six bases de données informatisées (Lillocat, PsyArticles, PsyInfo, PubMed, ScienceDirect, Web of Science) pour s'assurer du bien-fondé des études. Afin d'obtenir le plus grand nombre possible de résultats, nous avons établi les équations de recherche à partir de mots-clés en anglais. Après une étape de suppression des doublons, la sélection des études à inclure dans la revue a été réalisée en double aveugle. Pour cela, nous nous sommes appuyées sur des critères d'inclusion et d'exclusion préalablement définis afin d'affiner la sélection des articles de notre étude et ainsi obtenir un corpus pertinent répondant précisément à la problématique. Au total, 19 études ont été incluses dans notre travail. L'extraction des données de ces études a été réalisé à l'aide d'un tableau, ce qui a permis de mettre en lumière les informations qui nous étaient utiles.

Les études analysées apportent des informations précieuses sur l'efficacité de diverses méthodes d'enseignement et d'interventions pour améliorer les compétences numériques des enfants d'âge préscolaire. En effet, notre revue de la littérature a mis en évidence l'efficacité des interventions précoces qui combinent le développement des fonctions exécutives et de la mémoire de travail avec des exercices numériques pour améliorer les compétences mathématiques des enfants d'âge préscolaire. De plus, les jeux, qu'ils soient traditionnels ou sur tablette, ont également montré des résultats pertinents, ils permettent d'améliorer les aptitudes numériques de façon ludique. Les activités compétences mathématiques spécifiques telles que le comptage, la cardinalité. Cette revue fournit également des conseils sur la manière d'enseigner certaines compétences mathématiques spécifiques, il est en effet pertinent de favoriser des activités de comptage diverses et variées, d'opter pour une représentation linéaire-spatiale des nombres et de proposer une approche de comptage puis étiquetage pour enseigner la cardinalité. En outre, l'entraînement moteur et l'enseignement explicite de l'utilisation des doigts permettent d'améliorer les performances mathématiques précoces, il est donc intéressant de développer la motricité fine des enfants d'âge préscolaire. Enfin, l'intégration d'activités physiques et musicales dans l'apprentissage des mathématiques a été associée à des améliorations significatives des performances mathématiques des enfants.

À la suite de notre analyse, nous avons réalisé une fiche qui regroupe et synthétise les activités scientifiquement validées qui sont les plus pertinentes pour stimuler les compétences mathématiques des enfants d'âge préscolaire.

## Bibliographie

- American Psychiatric Association (2013). *Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders : DSM-5* (fifth Edition)
- Ashcraft, M. H. (2002). Math Anxiety : Personal, educational, and cognitive consequences. *Current Directions in Psychological Science*, 11(5), 181-185.
- Ashcraft, M. H., & Krause, J. A. (2007). Working memory, math performance, and math anxiety. *Psychonomic Bulletin & Review*, 14(2), 243-248.
- Baddeley, A. D., & Hitch, G. (1974). Working memory. Dans *Psychology of Learning and Motivation* (vol. 8, p. 47-89). Elsevier.
- Barrouillet, P., Billard, C., De Agostini, M., Démonet, J.-F., Fayol, M., Gombert, J.-E., Habib, M., Le Normand, M.-T., Ramus, F., Sprenger-Charolles, L., & Valdois, S. (2007). *Dyslexie, dysorthographe, dyscalculie : Bilan des données scientifiques*. INSERM.
- Blouin, Y. (1985). *La réussite en mathématiques au collégial : Le talent n'explique pas tout*. CEGEP F.-X. Garneau.
- Censabella, S., & Noël, M.-P. (2007). The inhibition capacities of children with mathematical disabilities. *Child Neuropsychology*, 14(1), 1-20.
- 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.
- Chevalier, N. (2010). Les fonctions exécutives chez l'enfant : Concepts et développement. *Canadian Psychology / Psychologie Canadienne*, 51(3), 149-163.
- \*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.
- Croguennec Y. (2022). Les élèves du premier degré à la rentrée 2022 (Note d'information de la

direction de l'évaluation, de la prospective et de la performance DEPP, n°22.38).

Dehaene, S. (1992). Varieties of numerical abilities. *Cognition*, 44(1-2), 1-42.

Dehaene, S. (1996). *La bosse des maths*. Editions O. Jacob.

Dehaene, S., Piazza, M., Pinel, P., & Cohen, L. (2003). Three parietal circuits for number processing. *Cognitive Neuropsychology*, 20(3-6), 487-506.

Dehaene, S., Christophe, A., Dehaene Lambertz, G., Izard, V., Pasquinelli, E., & Elizabeth, S. (2021). *L'ouverture aux mathématiques à l'école maternelle et au CP* (p. 15). Ministère de l'Éducation nationale de la Jeunesse et des Sports.

Diamond, A., Barnett, W. S., Thomas, J., & Munro, S. (2007). Preschool program improves cognitive control. *Science*, 318(5855), 1387-1388.

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.

Fischer, J.-P., & Charron, C. (2009). Une étude de la dyscalculie à l'âge adulte. *Economie et Statistique*, 424(1), 87-101.

Flajolet, A. (2008). *Mission au profit du gouvernement relative aux disparités territoriales des politiques de prévention sanitaire* (p. 91). Ministère de la santé de la jeunesse, des sports et de la vie associative.

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., Fozzi, 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.
- Gross-Tsur, V., Manor, O., & Shalev, R. S. (1996). Developmental dyscalculia : Prevalence and demographic features. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 38(1), 25-33.
- Haberstroh, S., & Schulte-Körne, G. (2019). The Diagnosis And Treatment Of Dyscalculia. *Deutsches Ärzteblatt International*. 116(7), 107-114.
- 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.
- \*Hamamouche, K., Chernyak, N., & Cordes, S. (2020). Sharing scenarios facilitate division performance in preschoolers. *Cognitive Development*, 56, 100954.
- Houdé, O. (2016). Pour une pédagogie scientifique : allers-retours du labo à l'école. *Administration & Éducation*, 152, 9-15.
- Hussain, K., & Soares, N. (2022). Dyscalculia. *International Journal of Child Health and Human Development*, 15(3), 249-262.
- \*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.
- Insee. Population au 1er janvier, données annuelles de 1990 à 2023 (Estimations de population)
- Institut national des sciences mathématiques et de leurs interactions (INSMI). (2022). *Étude de l'impact économique des mathématiques en France*.
- Jordan, N. C., Kaplan, D., Nabors Olah, 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.
- Jordan, N. C. (2010). Prédicteurs de réussite et de difficultés d'apprentissage en mathématiques chez le jeune enfant. Dans *l'Encyclopédie sur le développement des jeunes enfants*.
- Kaufmann, L., Wood, G., Rubinsten, O., & Henik, A. (2011). Meta-analyses of developmental

- fmri studies investigating typical and atypical trajectories of number processing and calculation. *Developmental Neuropsychology*, 36(6), 763-787.
- Landais, C. (2018). Création d'une brochure d'information et de prévention sur le trouble spécifique des apprentissages en mathématiques à destination des professeurs des écoles (Mémoire d'orthophonie). Université de Bordeaux.
- \*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.
- Lafay, A. (2016). Déficits cognitifs numériques impliqués dans la dyscalculie développementale (Thèse de doctorat en médecine expérimentale). Université de Laval.
- Lemaire, P., Abdi, H., & Fayol, M. (1996). The role of working memory resources in simple cognitive arithmetic. *European Journal of Cognitive Psychology*, 8(1), 73–103.
- Lemire Auclair, E. (2005). Dyscalculie : Quand les nombres se confondent. *Pédagogie Collégiale*
- Lewis, K. E., & Fisher, M. B. (2016). Taking stock of 40 years of research on mathematical learning disability : Methodological issues and future directions. *Journal for Research in Mathematics Education*, 47(4), 338-371.
- 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.
- Mussolin, C., Mejias, S., & Noël, M.-P. (2010). Symbolic and nonsymbolic number comparison in children with and without dyscalculia. *Cognition*, 115(1), 10-25.
- Nambiema, A., Fouquet, J., Guilloteau, J., & Descatha, A. (2021). La revue systématique et autres types de revue de la littérature : qu'est-ce que c'est, quand, comment, pourquoi ? *Archives des maladies professionnelles et de l'environnement*, 82(5), 539–552.
- Noël, M.-P., Rousselle, L., & De Visscher, A. (2013). La dyscalculie développementale : À la croisée de facteurs numériques spécifiques et de facteurs cognitifs généraux: *Développements*, n° 15(2), 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), e12819.
- \*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.
- Peteers, F. (2018) Un trouble à l'interface entre différents champs disciplinaires (handicap, santé et formation) : la dyscalculie - Une approche didactique (Thèse de doctorat en didactique des mathématiques). Université de Reims Champagne-Ardenne. Repéré sur <https://hal.science/tel-01944017>
- Poncelet, D., & Vlassis, J. (2014). Décrocher n'est pas une fatalité ! : *Le rôle de l'école dans l'accrochage scolaire : Actes du 2ème colloque international du LASALE sur le décrochage scolaire du 14-15-16 mai 2014*. Université du Luxembourg.
- \*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. (2019). 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>
- Salles, F., & Le Cam, M. (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, p. 4).
- Samier, R., & Jacques, S. (2021). *Les troubles d'apprentissage en mathématiques*. Tom Pousse.
- \*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, 529.
- Shalev, R. S., Auerbach, J., Manor, O., & Gross-Tsur, V. (2000). Developmental dyscalculia : Prevalence and prognosis. *European Child & Adolescent Psychiatry*, 9(S2), S58-S64.
- Simpson, A., & Riggs, K. J. (2007). Under what conditions do young children have difficulty inhibiting manual actions? *Developmental Psychology*, 43(2), 417-428.
- Turner, J. C., Midgley, C., Meyer, D. K., Gheen, M., Anderman, E. M., Kang, Y., & Patrick, H. (2002). The classroom environment and students' reports of avoidance strategies in mathematics : A multimethod study. *Journal of Educational Psychology*, 94(1), 88-106.
- \*Vlassis, J., Baye, A., Auquièrre, 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.

Xu, F., & Arriaga, R. I. (2007). Number discrimination in 10-month-old infants. *British Journal of*

*Developmental Psychology*, 25(1), 103-108.

Xu, F., & Spelke, E. S. (2000). Large number discrimination in 6-month-old infants. *Cognition*,

74(1), B1-B11.

Sitographie :

*Les troubles et pathologies*. Association québécoise des orthophonistes et audiologistes (AQOA).

Consulté le 5 mai 2023, à l'adresse <https://www.aqoa.qc.ca/fr/troubles-et-pathologies>

*Taux d'incidence*. (2016). Institut national de la statistique et des études économiques (INSEE).

Consulté le 5 mai 2023, à l'adresse <https://www.insee.fr/fr/metadonnees/definition/c1060>

*Les missions de l'orthophoniste*. Fédération Nationale des Orthophonistes. Consulté le 5 mai, à

l'adresse <https://www.fno.fr/ressources-diverses/les-missions-de-lorthophoniste-2/>

## **Liste des annexes :**

**Annexe 1 : Diagramme de Flux.**

**Annexe 2 : Tableau récapitulatif des articles de la synthèse.**

**Annexe 3 : Activité n°1.**

**Annexe 4 : Activités n°2 et 3.**

**Annexe 5 : Conseils à destination des enseignants.**

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



# ANNEXES

## DU PROJET MEMOIRE

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

**Roxane CHEVALIER**

**Les actions de stimulation mathématique qui sont les plus efficaces à l'école maternelle pour accéder à de meilleures compétences numériques : une revue de la littérature**

MEMOIRE dirigé par

**Sandrine MEJIAS**, Maîtresse de conférences, Enseignant-chercheur, Université de Lille, Lille.

## Annexe 1 : Diagramme de Flux.

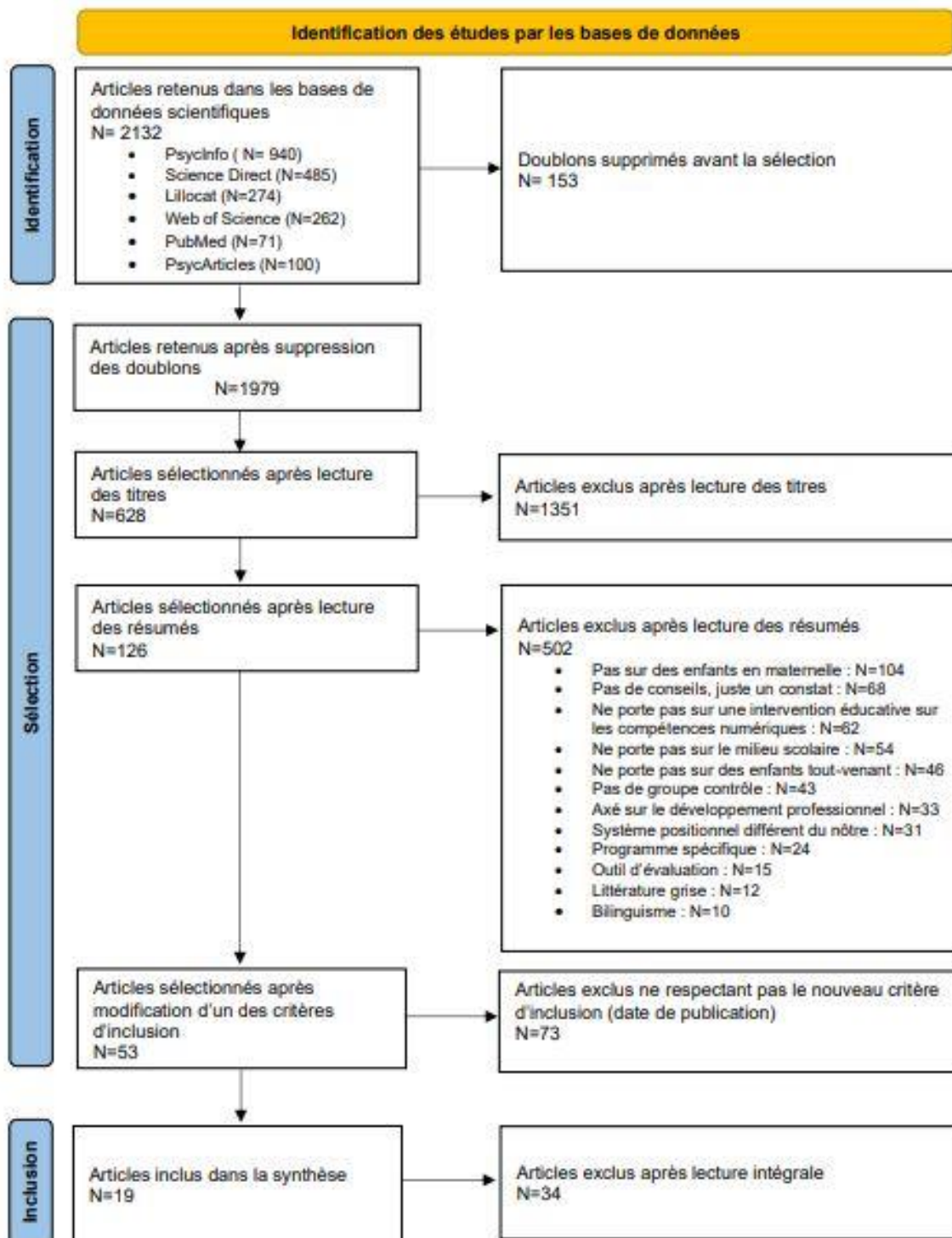


Diagramme de flux de la sélection des articles pour la revue de la littérature

From: Page MJ, McKenzie JE, Bossuyt PM, Boutron I, Hoffmann TC, Mulrow CD, et al. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ* 2021;372:n71. doi: 10.1136/bmj.n71

## Annexe 2 : Tableau récapitulatif des articles de la synthèse.

Tableau annexe 2 : Caractéristiques des articles inclus dans la revue de la littérature sur les actions de stimulation mathématique qui sont les plus efficaces à l'école maternelle pour accéder à de meilleures compétences numériques

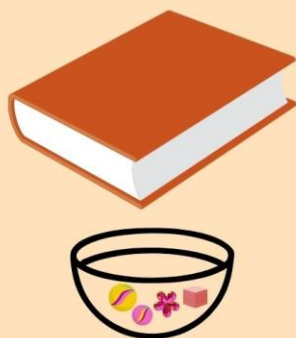
Référence	Pays	Type d'étude	Nombre d'enfants	Age moyen des enfants	Durée de l'intervention	Nombre de groupes	Condition du groupe	Test de mesure des compétences
Comrsen & Niklas (2019)	Australie	Etude quasi expérimentale	60	50 mois	Plusieurs mois	2	Pas d'intervention contrôlée	Woodcock-Johnson III (WJ-III), Tests non standardisés
Elofsson et al. (2018)	Suède	Etude randomisée contrôlée	53	69,84 mois	3 semaines	2	Pas d'intervention	MUGI observation checklist (Motor skills development as a basis for learning), Tests non standardisés
Friso-van den Bos et al. (2018)	Pays-Bas	Etude quasi-expérimentale	89	68 mois	6 semaines	3	Pas d'intervention	Early Numeracy Test-Revised (ENT-R), Tests non standardisés
Gable et al. (2021)	États-Unis	Etude randomisée contrôlée	64	46 mois	3 semaines	3	Pas d'intervention	Tests non standardisés dont GIVE-N
Gasteiger & Moeller (2021)	Allemagne	Etude randomisée contrôlée	95	58 mois (contrôle) / 59 mois (intervention)	4 semaines	2	Intervention différente	Test Diagnostique des compétences de base en mathématiques (TEDI-MATH)
Hamamouche et al. (2020)	États-Unis	Etude quasi-expérimentale	113	57,94 mois	1 jour	4	Intervention différente	Non précisé
Hyde et al. (2021)	États-Unis, Italie	Etude quasi-expérimentale	215	49,15 mois	2 semaines	5	Intervention différente	Test non standardisé
Lange et al. (2021)	États-Unis	Etude randomisée contrôlée	256	54 mois	9 semaines	2	Intervention différente	Quick Numeracy Assessment (QNA), Peabody Picture Vocabulary Test Third Edition (PPVT-III), Woodcock-Johnson Third Edition (WJ-III), Early Mathematics Assessment System (EMAS)
Ollivier et al. (2020)	France	Etude randomisée contrôlée	36	65 mois	10 semaines	2	Pas d'intervention	TEST Diagnostique des compétences de base en mathématiques (TEDI-MATH)
O'Rear & McNeil (2019)	États-Unis	Etude randomisée contrôlée	106	57,6 mois	6 semaines	3	Intervention différente	Tests non standardisés dont GIVE-N
Orrantxa et al. (2022)	Espagne	Etude randomisée contrôlée	51	39,8 mois	3 semaines	2	Intervention différente	TEST Diagnostique des compétences de base en mathématiques (TEDI-MATH), Wechsler Preschool and Primary Scale of Intelligence Forth Edition (WPPSI-IV), Clinical and Interpretive Manua Second Edition (NEPSY-II), Tests non standardisés dont GIVE-N
Outhwaite et al. (2019)	Royaume-Uni	Etude randomisée contrôlée	389	60,64 mois	12 semaines	3	Pas d'intervention	Progress Test in Maths level 5 (PTM-5)

## Suite et fin du tableau

Référence	Pays	Type d'étude	Nombre d'enfants	Age moyen des enfants	Durée de l'intervention	Nombre de groupes	Condition du groupe contrôle	Test de mesure des compétences
Paliwal & Baroody (2018)	États-Unis	Étude randomisée contrôlée	80 puis 49	43,2 mois	5 semaines	3	Intervention différente	Test of Early Mathematics Ability Third Edition (TEMA-3)
Praet & Desoete (2019)	Belgique	Étude randomisée contrôlée	162	Entre 67,53 mois et 70,16 selon les groupes	5 semaines	5	Intervention différente	Test Diagnostique des compétences de base en mathématiques (TEDI-MATH), Primary Scale of Intelligence (WIPPSI), Kortrijkse RekenTest Revision (KRT-R)
Prager et al. (2023)	États-Unis	Étude randomisée contrôlée	104	48,25 mois	8 à 16 jours	4	Intervention différente	Test of Early Mathematics Ability Third Edition (TEMA-3) Number Knowledge Test (NKT) Minnesota Executive Function Scale (MEFS) Head-Toes-Knees-Shoulders (HTKS)
Ramani et al. (2019)	États-Unis	Étude randomisée contrôlée	148	71,87 mois	Non précisé	3	Intervention différente	Tests non standardisés
Schiffman & Laski (2018)	États-Unis	Étude randomisée contrôlée	29	75 mois	3 semaines	2	Intervention différente	Tests non standardisés
Schild et al. (2020)	Allemagne	Étude quasi-expérimentale	102	70 mois (intervention), 71 mois (contrôle)	10 semaines	2	Intervention différente	Culture Fair Intelligence Test (CFT-1-R), Tests non standardisés
Viassiss et al. (2023)	Belgique, France, Luxembourg, Suisse	Étude quasi-expérimentale	194	66 mois	4 semaines	2	Pas d'intervention	TEST Diagnostique des compétences de base en mathématiques (TEDI-MATH), Test of Early Mathematics Ability Third Edition (TEMA-3)

## Annexe 3 : Activité n°1.

### Activité n°1



Dans cette activité, les enfants doivent compter puis comparer les collections d'objets, pour désigner celle qui en compte le plus

1

Les enfants sont invités à placer un objet dans le bol situé devant le livre qu'ils souhaitent lire.

2

Quand tous les enfants ont fait leur choix, l'enseignant demande "Qui est le plus populaire ?"

#### Mots importants à utiliser :

- mots numériques (ex. un, deux, trois)
- plus et moins
- le plus et le moins

#### Objectifs d'apprentissage :

1. Trouver la réponse à une question simple en collectant des données
2. Utiliser des symboles (ex. billes) pour représenter l'information
3. Utiliser des mots numériques pour compter les objets
4. Utiliser des mots pour comparer des quantités

## Annexe 4 : Activité n°2 et 3.

### Activités n°2 et 3



Matériel : jeu de cartes traditionnel

#### COMPOSITION ET DÉCOMPOSITION DES NOMBRES

**La carte Extra** : ce jeu est basé sur les règles du jeu « Black Jack ». Les enfants doivent former des paires de cartes qui correspondent à un numéro donné. Le gagnant est le premier joueur à se débarrasser de ses cartes, tandis que le joueur qui termine avec la « carte supplémentaire » (le « Black Jack ») perd.

#### ADDITION

**La Bataille d'addition** : ce jeu ressemble au jeu de cartes traditionnel « Bataille », mais au lieu de jouer une carte à la fois, chaque joueur retourne deux cartes et les additionne. Le joueur qui a le total le plus élevé peut prendre toutes les autres cartes. Le gagnant est le joueur qui remporte toutes les cartes.



Chaque jeu peut être proposé pendant une semaine au cours de quatre parties distinctes d'une durée de 20 minutes.



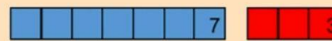
## Annexe 5 : Conseils à destination des enseignants.

### Conseils aux enseignants

✗ (a) Irregular



(b) Linear-Spatial



Proposer une présentation linéaire des nombres plutôt qu'une organisation irrégulière (Schiffman & Laski, 2018)

Compter avant d'étiqueter aide à se rendre compte que la dernière valeur de l'ensemble correspond au total. (Paliwal & Baroody, 2018)

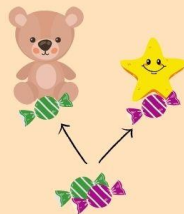


1 2 3



Développer la motricité fine pour faciliter l'utilisation des doigts lors d'activités de comptage (Ollivier et al., 2020 ; Orrantia & Monez, 2022)

S'entraîner au comptage avec des activités diverses et variées et y associer des gestes simples (Friso-Van Den Bos et al., 2018).



Contextualiser les problèmes mathématiques : manipuler des objets et utiliser des scénarios de partage pour travailler la division (Hamamouche et al., 2020)

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.

Hamamouche, K., Chernyak, N., & Cordes, S. (2020). Sharing scenarios facilitate division performance in preschoolers. *Cognitive Development*, 56, 100954.

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. *psych*.

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. *psych*.

Paliwal, V., & Baroody, A. J. (2018). How best to teach the cardinality principle? *Early Childhood Research Quarterly*, 44, 152-160. *psych*.

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.