

MEMOIRE

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

Anaïs JOMARD

soutenu publiquement en septembre 2019

L'effet d'un entraînement des habiletés mathématiques précoces chez les enfants d'âge préscolaire

MEMOIRE dirigé par

Sandrine MEJIAS, PhD, maître de conférences, département d'orthophonie, Université de Lille

Lille – 2019

Remerciements

Je tiens tout particulièrement à remercier Madame Mejias, ma directrice de mémoire pour son aide précieuse et sa bienveillance au cours de ces deux années.

Mes remerciements vont également vers tous les enfants qui ont participé et permis à cette étude de se réaliser et aux enseignants pour leur disponibilité et leur accueil chaleureux.

Je désire également remercier ma famille et mes amies de cinquième année d'orthophonie pour leur soutien et leurs encouragements tout au long de ce travail.

Résumé :

Cette étude s'inscrit au cœur des problématiques actuelles concernant la prise en charge orthophonique des difficultés en mathématiques. A ce jour, aucun consensus n'est présent dans la littérature à propos des stimulations à proposer aux enfants pour prévenir l'apparition de difficultés numériques éventuelles. Nous nous sommes donc interrogés sur les effets de différents supports d'entraînement dans le cadre des apprentissages mathématiques précoces. Ainsi, une intervention visant à entraîner les compétences mathématiques préscolaires a été mise en place dans des écoles chez des enfants issus de moyenne et de grande sections de maternelle. Un échantillon de 172 enfants répartis en trois groupes d'entraînement a donc été créé. L'un des groupes bénéficiait d'un entraînement des compétences visuo-spatiales et les deux autres groupes avaient bénéficié d'un entraînement des compétences numériques élémentaires. Deux supports ont été utilisés, à savoir des tablettes tactiles et des jeux de société. Nous avons donc prédit une amélioration des compétences numériques chez les enfants ayant reçu un entraînement numérique sur support classique. L'entraînement a été efficace car à l'issue de celui-ci, les enfants ont amélioré leurs performances en mathématiques. Néanmoins, les trois groupes d'entraînement ont progressé de la même manière, ce qui ne nous a pas permis de déterminer quel type d'entraînement était le plus favorable. Nous avons donc supposé que les trois types d'entraînement demeuraient efficaces pour améliorer les compétences en mathématiques chez les jeunes enfants.

Mots-clés :

Compétences mathématiques précoces – enfants d'âge préscolaire – entraînement mathématique – compétences visuo-spatiales – jeux de société – tablette numérique – environnement socio-éducatif

Abstract :

This study is at the heart of current issues concerning the treatment of mathematics difficulties. In the literature, there is no consensus on the incentives to be proposed to prevent the occurrence of these difficulties. We are therefore asked about the effects of different training materials in the context of preschool mathematics learning. Thus, an intervention aimed at training mathematical preschool skills has been implemented in kindergartens for children from medium to large middle school kindergarten. A sample of 172 children divided into three training groups was therefore created. One group was trained in visual-spatial skills and the other two groups had been trained in

basic digital skills. Two media were used, namely digital tablets and board games. We are therefore ready to improve the numerical skills of children who have received numerical training on “paper-and-pencil” type support. The training was effective because at the end of it, the children improved their performances in mathematics. Nevertheless, the three training groups progressed in the same way, which did not allow us to determine which type of training was the most favorable. It was therefore assumed that all three types of training remained effective in improving math skills in young children.

Keywords :

Early mathematical skill – preschool children – mathematical training – visuo spatial skills – board games – digital tablet – socio-educational environment

Table des matières

Introduction	1
Contexte théorique, buts et hypothèses.....	2
1. Bases théoriques générales.....	2
1.1. La construction du nombre (modèle de Dehaene, 1992)	2
1.2. Développement des compétences numériques chez l'enfant.....	4
1.2.1. Un modèle développemental de l'acquisition numérique.....	4
1.2.2. Bases neuro-anatomiques du traitement numérique	7
1.3. Impact des représentations symboliques et non-symboliques sur les compétences mathématiques des enfants.....	8
2. Intérêt d'une stimulation précoce	9
2.1. Lien entre entraînement mathématique précoce et capacités mathématiques futures	9
2.2. Rôle de l'environnement familial.....	10
3. Rôle des différents supports d'entraînement	12
3.1. Les supports numériques.....	12
3.2. Les jeux de société.....	13
3.3. L'entraînement des compétences visuo-spatiales.....	14
Méthode	17
Résultats.....	22
Discussion.....	26
Bibliographie	31

Introduction

Les prérequis mathématiques chez les jeunes enfants constituent un fondement essentiel à leur réussite future en mathématiques (Currie et Thomas, 1999 ; Duncan et al., 2007 ; Romano, Babchishin, Pagani, et Kohen, 2010). En effet, des interventions ludiques, visant à favoriser le développement des capacités mathématiques, chez des enfants de moyenne et grande sections de maternelle, ont mis en évidence des répercussions positives sur leurs compétences arithmétiques, en école primaire et secondaire (Ramey et Ramey, 2004). Ainsi, des habiletés précoces, telles que savoir compter des jetons, additionner des petits nombres, reproduire des figures géométriques simples, constituent de bons prédicteurs de l'acquisition des mathématiques formelles, par les enfants (Duncan et al., 2007).

Cette étude aura pour objectif d'observer la répercussion d'entraînements visant à stimuler les prérequis mathématiques, chez des enfants de moyenne et de grande sections de maternelle. Les enfants bénéficieront de trois entraînements distincts : un entraînement aux capacités visuo-spatiales et des entraînements des compétences numériques via des tablettes tactiles ou bien via des jeux de plateau.

Ce mémoire portera plus particulièrement sur l'impact d'un entraînement mathématique précoce sur les compétences numériques des enfants et plus particulièrement sur les compétences numériques exactes et symboliques telles que le dénombrement. Nous chercherons donc à déterminer quel type de support, mentionné précédemment, permet de développer le plus favorablement ces compétences. En effet, cette aptitude qu'est le dénombrement constitue la base des autres apprentissages arithmétiques. Il s'agit d'une activité composite qui nécessite de connaître à la fois les mots-nombres de la chaîne numérique verbale et de coordonner cette activité avec le pointage des éléments d'une collection, ce qui implique des compétences visuo-spatiales (Fuson, 2012).

Dans un premier temps, nous présenterons une revue de littérature sur le développement des capacités numériques chez l'enfant, sur le rôle de l'environnement socio-éducatif de l'enfant et sur l'impact des différents supports permettant d'entraîner les habiletés mathématiques préscolaires. Dans un second temps, nous présenterons la population, ainsi que la procédure nécessaire à la réalisation de cette étude. Enfin, nous présenterons les résultats de cette étude et leur discussion.

Contexte théorique, buts et hypothèses

1. Bases théoriques générales

Deux types de représentations numériques sont impliqués dans le traitement des numérosités chez l'enfant.

La première représentation correspond au système numérique approximatif (SNA), un système principalement dédié au traitement de la magnitude numérique. Il permet d'estimer et de comparer approximativement des grandes quantités et de réaliser des calculs approchés. Ce système est connu pour se développer tout au long de la vie (Cantlon, 2012). Cette capacité d'estimation numérique constituerait une compétence préalable, qui sous-tendrait les capacités à associer un nombre d'éléments perçus à des mots-nombres (Feigenson, Dehaene et Spelke, 2004).

En revanche, le système numérique exact (SNE) permet d'appréhender de manière précise des petites et des grandes numérosités, par l'intermédiaire du subitizing et du comptage (Feigenson, Dehaene et Spelke, 2004). Nous avons choisi de nous intéresser plus particulièrement au SNE en détaillant plus précisément les deux types de représentations numériques qu'il implique.

1.1. La construction du nombre (modèle de Dehaene, 1992)

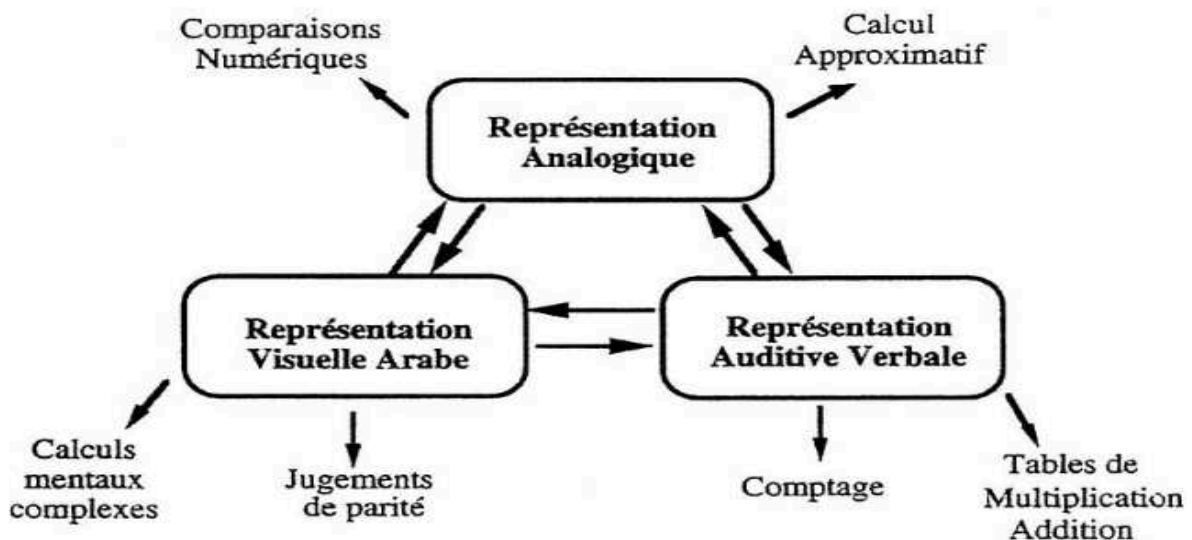


Figure 1 : Schéma du modèle du triple code de Dehaene (d'après Dehaene, 1992)

En 1992, un modèle issu du champ de la neuropsychologie adulte a vu le jour. Il s'agit du modèle du triple code de Dehaene (Dehaene, 1992). Ce modèle, toujours d'actualité, permet de rendre compte de l'architecture modulaire du traitement des nombres et des quantités.

Ce modèle postule l'existence de trois formats de représentations numériques : la représentation analogique, la représentation auditivo-verbale et la représentation visuelle arabe, toutes deux symboliques (figure 1). Chaque type de représentation intervient dans un ensemble spécifique de tâches numériques. Qui plus est, ces trois types de représentations appartiennent à trois modules indépendants mais reliés les uns aux autres (Dehaene, 1992). Chacun de ces modules semble être associé à des réseaux neuronaux bien distincts dans le cerveau (Dehaene et Cohen, 1995).

La représentation analogique fait référence au système numérique approximatif (SNA). Elle est impliquée dans le traitement des quantités non-symboliques. Elle permet de réaliser des tâches d'estimation et de comparaison de grandes quantités et de calcul approché.

La représentation numérique verbale et la représentation visuelle arabe appartiennent au système numérique exact (SNE). Elles permettent de traiter des quantités numériques présentées sous format symbolique.

La représentation numérique verbale, fait référence aux nombres écrits en toutes lettres (e.g., « trois ») ainsi qu'aux nombres verbaux oraux (e.g., /tʁwa/). Elle est impliquée dans la lecture, la production et la réception auditive des numéraux verbaux. Cette représentation permet de réaliser des tâches de comptage et de récupérer les faits arithmétiques stockés en mémoire à long terme, tels que les tables de multiplication (Dehaene, 1992). Elle se trouve également impliquée dans les compétences de dénombrement et de comptage, qui seront détaillées dans la suite du mémoire.

La représentation visuelle arabe correspond aux nombres arabes, tels que nous les connaissons (e.g., « 3 »). Le système des nombres arabes est organisé en base dix. Il est régi par une notation positionnelle, c'est-à-dire que la position des chiffres dans chaque nombre définit une valeur particulière. Ainsi, chaque déplacement successif d'un chiffre vers la gauche indique une valeur dix fois plus importante que celui juste à droite (Fayol, 2012). Par ailleurs, le code indo-arabe est impliqué dans la réalisation d'opérations à plusieurs chiffres.

Le modèle de Dehaene demeure le plus influent dans le domaine de la cognition mathématique. Néanmoins, il ne permet pas de rendre compte des données concernant les aspects développementaux de l'acquisition numérique.

1.2. Développement des compétences numériques chez l'enfant

Les compétences numériques se développent tôt dans la vie (Feigenson, Dehaene et Spelke, 2004). Ces compétences comprennent la connaissance du nombre préverbal, qui correspond au SNA, présent dès l'enfance et partagé par des humains de cultures différentes (Cantlon, 2012). Ces compétences comprennent également la connaissance numérique symbolique qui elle est dépendante d'un apprentissage explicite et de la culture (Dehaene, 2001).

1.2.1. Un modèle développemental de l'acquisition numérique (Modèle de Von Aster et Shalev, 2007)

Afin de compléter le modèle du triple code de Dehaene, Von Aster et Shalev (2007), ont élaboré un modèle permettant de comprendre et de décrire le développement numérique du jeune enfant. Ce modèle met en évidence plusieurs étapes d'acquisition des mathématiques. Celles-ci se développeraient de manière quasi-hiérarchique, chaque étape se construisant sur la précédente. Cela explique pourquoi les aptitudes numériques précoces constituent un puissant prédicteur des résultats ultérieurs en mathématiques (Von Aster et Shalev, 2007).

Au sein de ce modèle de développement cognitif numérique, on distingue donc quatre grandes étapes d'acquisition numérique par les enfants : la capacité de représentation des quantités non-symboliques, correspondant au SNA au sein du modèle du triple code de Dehaene (1992), la connaissance des mots-nombres de la chaîne numérique, la connaissance des chiffres arabes et l'acquisition du concept d'ordinalité numérique (figure 1).

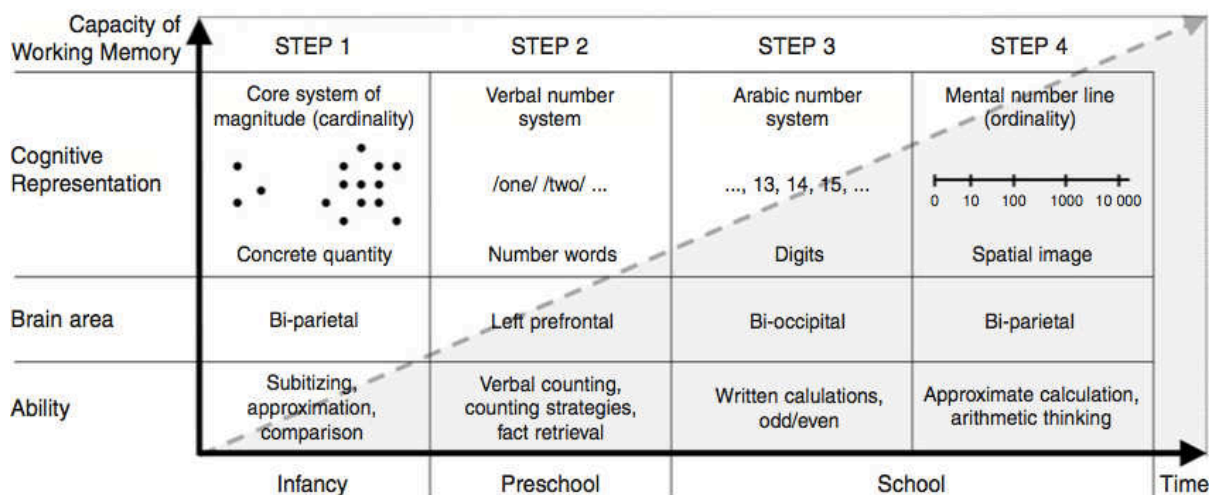


Figure 1 : Modèle de développement cognitif numérique en quatre étapes (issu de Von Aster et Shalev, 2007)

La première étape correspond à l'aptitude des enfants à se représenter des quantités numériques de façon non-symbolique. Cette compétence est présente chez les enfants bien avant de recevoir un enseignement explicite des mathématiques et de pouvoir compter verbalement. En effet, des expériences montrent que les nourrissons sont déjà capables de se représenter des quantités (Feigenson, Dehaene et Spelke, 2004). Ils peuvent discriminer de manière exacte des petites numérosités allant de un à quatre (Starkey et Cooper, 1980).

En 1980, Starkey et Cooper ont mis en évidence la capacité des jeunes enfants à traiter de façon exacte des petites numérosités. Pour cela, ils ont réalisé une expérience chez 72 bébés de 4 à 7,5 mois, à l'aide de la procédure d'habituation et de réaction à la nouveauté. Les chercheurs ont mesuré le temps de fixation visuelle des bébés lorsqu'on leur présentait différents ensembles de points. Les bébés ont présenté un temps de regard plus long lorsqu'ils détectaient le changement de numérosité. Les chercheurs en ont donc déduit que les nourrissons étaient capables de discriminer des collections de deux versus trois objets. Cependant, pour des quantités supérieures à trois, les résultats montrent qu'il est nécessaire que la distance numérique entre les deux collections de points soit suffisamment importante. Par exemple, les bébés de 10-12 mois ne pourraient pas discriminer un ratio de 4 : 5 éléments (e.g., une collection de 8 points versus 10 points) alors qu'ils peuvent discriminer lorsque le ratio est de 2 : 3 (8 versus 12 points), (Strauss et Curtiss, 1981).

La deuxième étape de ce modèle développemental se caractérise par l'acquisition du système de nombres verbaux qui correspond à la connaissance des mots-nombres de la chaîne

numérique. C'est la première représentation symbolique du nombre acquise par les enfants. Elle débute dès la période préscolaire, c'est-à-dire vers l'âge de deux ans, mais il faut environ quatre ans pour que les enfants parviennent à bien maîtriser cette compétence. Selon Fuson et ses collaborateurs (1982), les suites numériques produites par les enfants en cours d'apprentissage de la chaîne numérique verbale comportent trois parties identifiables : tout d'abord, une partie stable et conventionnelle (la chaîne numérique est correcte et ne varie pas), une partie stable mais non conventionnelle (la chaîne de mots-nombres est incorrecte mais ne varie pas) et enfin une partie ni stable, ni conventionnelle (la chaîne numérique est incorrecte et récitée de façon aléatoire par l'enfant). Ainsi, l'enfant s'approprie d'abord la chaîne numérique en la récitant par cœur. Cet apprentissage par cœur s'estompe lorsque que l'enfant a compris les règles linguistiques (Gelman et Gallistel, 1986).

La troisième étape est marquée par la connaissance des chiffres arabes, qui correspond à la deuxième représentation symbolique du nombre. Cette étape débute au moment de l'entrée en petite section de maternelle, vers l'âge de trois ans. Au cours de sa scolarité, lors de l'apprentissage de ce code, l'enfant peut rencontrer des difficultés de transcodage liées à la maîtrise de la base dix (e.g., 124 transcrit 10024). Des difficultés de transcription des chiffres dues à un problème graphique ou visuo-spatial peuvent également être présentes (Fayol, 2000). Par ailleurs, l'apprentissage du code numérique arabe repose sur la maîtrise de la comptine numérique. Il fait donc l'objet d'un enseignement explicite via le code verbal (Gelman et Gallistel, 1986).

Enfin, la quatrième étape se caractérise par l'acquisition des aspects ordinaux des nombres, comme savoir que le nombre « 2 » vient après le nombre « 1 » et avant le nombre « 3 ». Des chercheurs ont supposé l'existence d'une représentation numérique appelée « ligne numérique mentale ». Sur cette ligne, chaque nombre renverrait à une position déterminée dans l'espace. Ainsi, dans les cultures occidentales, les petits nombres seraient représentés à gauche et les grands nombres seraient représentés à droite de cette ligne. Par ailleurs, on observe une compression logarithmique des grandes quantités le long de cette ligne numérique. En d'autres termes, l'intervalle entre les nombres diminue lorsque les quantités augmentent. Ainsi, les petits nombres sont représentés de façon plus précise que les grands nombres sur cette ligne numérique. Il demeure donc plus facile de discriminer des petites quantités.

A partir de la période scolaire, les enfants deviennent capables de se représenter mentalement des quantités. Ils peuvent réaliser des approximations numériques et estimer la

position des nombres sur cette ligne. Progressivement, ils acquièrent une représentation numérique mentale de plus en plus précise et linéaire. Cela semble s'expliquer d'une part par l'élaboration de la chaîne numérique verbale et par l'exposition fréquente aux nombres arabes et aux nombres verbaux lors des apprentissages scolaires (Booth et Siegler, 2006).

Les trois dernières étapes de ce modèle de développement cognitif numérique correspondent aux représentations numériques symboliques impliquées dans le SNE. Ces représentations sont généralement acquises à l'âge scolaire mais des preuves empiriques suggèrent que les enfants possèdent des connaissances sur le système de numération arabe déjà avant le début de leur scolarité (Jordan et Levine, 2009). Par conséquent, le développement de ces représentations cognitives commence avant le début de l'école primaire, mais il n'est pas pleinement accompli à cet âge, l'expansion de ces représentations s'enrichit tout au long des années scolaires (Jordan et Levine, 2009).

1.2.2. Bases neuro-anatomiques du traitement numérique

Il existe de nombreuses preuves de l'existence de réseaux neuronaux spécialisés dans le traitement du nombre. Dehaene et al. (2003) ont proposé un modèle de calcul anatomo-fonctionnel composé de trois réseaux neuronaux distincts mais fonctionnellement interreliés. Ces réseaux soutiennent différentes composantes du traitement numérique et du calcul.

Les représentations mentales de la magnitude numérique (également appelées « sens du nombre ») sont régies par les régions intrapariétales et plus particulièrement par le sillon intrapariétal (SIP). Néanmoins, il est important de souligner que le rôle fonctionnel du SIP n'est pas spécifique à un domaine. En effet, le SIP prend en charge également d'autres fonctions cognitives telles que l'attention et la mémoire épisodique (Dehaene et al., 2013).

D'autre part, le gyrus angulaire gauche, situé dans le lobe pariétal inférieur et proche des régions voisines du langage, est impliqué dans le comptage et dans la récupération des faits arithmétiques. La proximité anatomique avec les régions cérébrales impliquées dans le langage n'est pas surprenante étant donné que dans la plupart des cultures occidentales, les faits arithmétiques sont acquis et retrouvés phonologiquement (Dehaene et al., 2013).

Des auteurs ont également tenté de déterminer les régions cérébrales impliquées dans le traitement numérique chez l'enfant. Pour cela, des tests d'imagerie fonctionnelle ont été administrés à des enfants effectuant des tâches de comparaisons de quantités symboliques.

Malgré l'existence de différences individuelles entre les enfants, il en résulte principalement une activation moins importante des aires pariétales que chez l'adulte. En effet, pour traiter des numérosités, les enfants feraient donc davantage appel aux régions cérébrales extrapariétales telles que le lobe frontal. Cette aire cérébrale met en jeu différentes fonctions cognitives comme la mémoire de travail et l'attention. Ainsi, pour traiter des quantités, les enfants utiliseraient des mécanismes de soutien compensatoires. Ces mécanismes s'estomperaient avec l'âge et il existerait un recrutement accru du sillon intrapariétal à mesure que l'enfant grandit et devient expert dans le traitement des numérosités (Kaufmann, 2011).

1.3. Impact des représentations symboliques et non-symboliques sur les compétences mathématiques des enfants

Comme mentionné précédemment, les habiletés mathématiques se développent d'abord sur la base du système numérique approximatif. Il a par ailleurs été démontré que l'acuité de ce système est corrélée avec les différences individuelles de compétences en mathématiques. Il est donc plus faible chez les personnes atteintes de dyscalculie (Mejias et al., 2012). Plus important encore, la précision du SNA, avant ou au début de la scolarité, soutient les performances en mathématiques (Booth et Siegler, 2006).

Cependant, d'autres recherches plus récentes contredisent ce phénomène. C'est le cas de l'étude d'Honoré et Noël (2016) qui a étudié la relation entre le système numérique approximatif et le système numérique exact. Cette recherche menée auprès de 56 enfants de 5 à 6 ans, en dernière année de maternelle a évalué l'impact d'un entraînement des manipulations symboliques et non-symboliques sur les capacités des enfants en arithmétique. Il en résulte une amélioration du calcul seulement pour les enfants ayant reçu un entraînement des compétences symboliques. Il semble que la capacité à traiter des nombres symboliques via le système numérique exact donnerait accès à l'arithmétique.

Ainsi, le comptage, le dénombrement, la connaissance des chiffres arabes et la capacité à les additionner, constituent les meilleurs prédicteurs de l'apprentissage mathématique formel (Jordan et Levine, 2009 ; Nguyen et al., 2016). C'est pourquoi dans ce mémoire, nous nous intéresserons plus particulièrement aux compétences numériques symboliques chez les enfants d'âge préscolaire.

2. Intérêt d'une stimulation précoce

De nombreuses études ont pu mettre en évidence un lien entre capacités mathématiques et réussite scolaire, sociale et économique. Ainsi, il a été montré que les compétences de base en mathématiques sont corrélées à des résultats scolaires et universitaires plus élevés et à une meilleure réussite socio-économique (e.g., Baroody, Lai et Mix, 2006). La réussite socio-économique chez les jeunes adultes semble être déterminée par leur maîtrise de l'arithmétique, de leurs compétences numériques de base et de leur capacité à utiliser ces connaissances pour résoudre des problèmes de la vie quotidienne.

2.1. Lien entre entraînement précoce et capacités mathématiques futures

Il a été démontré que les connaissances mathématiques préscolaires permettaient de prédire la réussite future des enfants en mathématiques (Duncan, 2007 ; Baroody, 2006 ; LeFevre 2006 ; Jordan, 2009 ; Mejias, 2018). Ainsi, ces études semblent pointer le fait que la maîtrise des concepts numériques fondamentaux sous-tend l'acquisition des compétences plus complexes, enseignées à l'école primaire.

Jordan et ses collaborateurs (2009), ont étudié par le biais d'une étude longitudinale, le lien entre la maîtrise des compétences numériques de base enseignées aux enfants à l'école maternelle et leur réussite ultérieure en mathématiques. Ainsi, les auteurs de cette étude ont à plusieurs reprises évalué les compétences numériques de 358 enfants de la petite section de maternelle jusqu'à la troisième année d'école primaire (CE2). Les enfants ont été évalués six fois durant la petite section de maternelle et cinq fois au cours du CE2. Les compétences évaluées ont concerné le développement du SNE via des tâches telles que le comptage, la comparaison de nombres arabes, la reconnaissance de nombres arabes (les enfants devaient nommer les nombres arabes présentés), le calcul d'additions et de soustractions et la résolution de problèmes comportant également des additions et des soustractions. Il résulte de cette étude longitudinale que les enfants ayant présenté de meilleures compétences en mathématiques en maternelle possédaient également un niveau plus élevé en mathématiques à la fin de la troisième année d'école primaire. Par ailleurs, la maîtrise des procédures de calcul écrites et la résolution de problèmes impliquant le calcul d'additions et de soustractions constitueraient les sous-domaines les plus prédictifs des compétences numériques des enfants de CE2. En effet, une compréhension précoce du sens des opérations et des procédures de calcul fournit un sup-

port pour l'apprentissage de procédures de calcul plus complexes comprenant de plus grands nombres, ainsi que pour la résolution de problèmes dans des contextes variés.

Les compétences numériques préscolaires semblent donc prédictives des capacités numériques ultérieures. Il est important de noter que des déficiences dans les compétences numériques précoces peuvent déjà être observées chez les enfants d'âge préscolaire issus de milieu plutôt défavorisé comparativement à leurs pairs plus favorisés (Jordan et al., 2009). Les enfants présentant des difficultés numériques initiales risquent d'accumuler du retard en raison de l'augmentation en complexité du contenu des leçons en mathématiques tout au long de leur scolarité (Jordan et al., 2006).

Cependant, une amélioration de ces compétences fondamentales par le biais d'entraînements précoces pourrait empêcher le développement de difficultés en mathématiques (Clements et Samara, 2007). Ainsi, des effets positifs de différentes interventions et programmes de formation sur les capacités numériques des jeunes enfants ont été mis en évidence. C'est le cas de l'étude de Starkey et al. (2004) où les chercheurs ont mis en place une intervention visant à soutenir les compétences mathématiques préscolaires chez 163 enfants d'environ 4 ans, issus de milieux de faibles à moyens revenus. Cette cohorte d'enfants a bénéficié d'un entraînement visant à stimuler les compétences mathématiques préscolaires telles que le sens du nombre, le raisonnement spatial, l'arithmétique et les structures logiques. Cette intervention comprenait plusieurs activités, réalisées par les enfants en petits groupes au sein de leurs classes. Il en résulte que les enfants issus de milieux à faibles revenus ont tiré un bénéfice plus important de cette intervention par rapport aux enfants issus de milieux à revenus moyens. Cela a donc permis de réduire l'écart de performance lié au statut socio-économique entre les enfants.

2.2. Rôle de l'environnement familial

L'environnement socio-éducatif présente un impact considérable sur les compétences mathématiques précoces des jeunes enfants. Comme il a été mentionné précédemment, des écarts de performance entre les enfants apparaissent dès le début des apprentissages mathématiques scolaires (Jordan et Levine, 2009).

D'autre part, Sheldon et Epstein (2005) ont montré que les parents appliquant des pratiques spécifiques pour soutenir l'apprentissage des mathématiques à la maison comme discuter des devoirs, emprunter des livres à la bibliothèque ou jouer à des jeux impliquant la manipulation des nombres, contribuaient à augmenter les résultats des enfants aux tests de rendement en mathématiques.

De plus, LeFevre et ses collaborateurs (2009) ont proposé de distinguer les activités numériques directes et indirectes au sein de l'environnement familial. Les activités directes sont celles généralement utilisées par les parents dans le but explicite de développer des compétences quantitatives, comme compter des objets. En revanche, les activités indirectes sont des tâches faisant partie intégrante de la vie quotidienne (e.g., la pratique de jeux de cartes ou de jeux de société) pour lesquelles l'acquisition du calcul est susceptible d'être fortuite. Benavides-Varela et ses collaborateurs (2016) ont, quant à eux, étudié l'effet de l'exposition numérique indirecte au sein de l'environnement familial sur les performances mathématiques d'enfants de maternelle. Cent-dix enfants d'âge moyen de 5 ans, issus de tous les milieux socio-économiques confondus ont été évalués à l'aide d'une batterie testant les capacités numériques approximatives (comparaison de magnitudes analogiques et exactes, comptage, correspondance terme à terme). Des problèmes numériques rencontrés dans des situations de la vie courante ont également été proposés. Grâce à des questionnaires parentaux, les auteurs de l'étude ont pu recueillir des données sur les activités familiales telles que la fréquence hebdomadaire des activités de l'enfant, liées ou non au nombre (jeux de société, jeux vidéo, etc.) et de la famille (achats, lecture, télévision, etc.). Les enfants ont également été évalués sur leur connaissance des faits numériques appris à la maison telle que leur date de naissance ou encore leur nombre de frères et sœurs. Les résultats de cette étude indiquent que l'acquisition précoce d'informations numériques au sein de la famille permet de prédire de manière significative la capacité des enfants à résoudre des problèmes numériques dans des situations de la vie quotidienne, leur aptitude à compter et à identifier des correspondances individuelles entre ensembles numériques. En revanche, ces connaissances n'affectent pas les tâches dépendantes du SNA, telles que la comparaison des grandeurs et l'estimation numérique.

De la même manière, l'étude de LeFevre (2009), montre également une corrélation entre les compétences en mathématiques de 146 enfants de petite et de moyenne sections de maternelle et la fréquence avec laquelle les parents exposent leur enfant à des activités liées au nombre, comme jouer à des jeux de société ou cuisiner.

Les expériences vécues à la maison avant l'intégration en milieu scolaire semblent donc fondamentales pour le développement des acquis numériques futurs.

3. Rôle des différents supports d'entraînement

3.1. Les supports numériques

Depuis les années 1960, les technologies numériques ont radicalement changé la manière dont les enfants traitent les informations. Ils lisent davantage sur les écrans numériques que sur les livres et jouent plus fréquemment à des jeux informatiques (Christakis, Ebel, Rivara et Zimmerman, 2004). Par ailleurs, les ordinateurs demeurent de plus en plus utilisés par les enfants au sein des établissements scolaires.

Toutefois, l'American Academy of Pediatrics recommande aux parents d'éviter d'exposer les enfants de moins de deux ans aux écrans. Cette association recommande également aux parents de limiter l'exposition aux écrans à moins de deux heures par jour chez les enfants plus âgés (Christakis, Ebel, Rivara et Zimmerman, 2004). Cependant, entre 40% et 48% des parents dépassent ces recommandations. Il devrait donc être possible pour les parents de bénéficier d'outils et de stratégies leur permettant de mieux contrôler les habitudes de leurs enfants concernant la télévision et de réduire la fréquence d'exposition aux écrans (Christakis, Ebel, Rivara et Zimmerman, 2004). En effet, l'exposition trop fréquente aux écrans, à savoir plus de deux heures par jour, risque de perturber les capacités de concentration et le sommeil des jeunes enfants (Harlé et Desmurget, 2012).

Néanmoins, l'utilisation des supports numériques offre certains avantages. En effet les supports visuels animés et les animations graphiques demeurent assez attrayants pour l'enfant, lui offrant une capacité d'attention prolongée pour la réalisation de la tâche en cours (Clements, 1994). Par ailleurs, certains logiciels tels que « Grapho-Game » sont rétroactifs et fournissent des feed-back sur les réponses et les actions de l'enfant, ce qui favorise son raisonnement métacognitif et son autonomie (Hayes, Chemelski, et Birnbaum, 1981). Certains logiciels offrent également une résolution créative des problèmes. Des recherches ont démontré que des logiciels éducatifs sur support numérique pouvaient aider les jeunes enfants à apprendre les mathématiques (Räsänen et al., 2009). Cependant, les adultes jouent un rôle important dans l'utilisation réussie de l'ordinateur. Les enfants sont plus attentifs et plus

intéressés lorsqu'un adulte est présent. Il est important que les enseignants mettent en avant les processus métacognitifs en encourageant et en amenant les enfants à se questionner sur leur propre stratégie et à identifier les objectifs pour réaliser certaines tâches (Elliott et Hall, 1997). Cela permettrait aux enfants de développer des compétences de planification et davantage d'aisance à expliquer leurs stratégies mises en œuvre dans la résolution de problèmes.

Par ailleurs, un travail collaboratif via des discussions entre groupes de pairs aiderait les enfants à communiquer sur leurs stratégies, à réfléchir sur ce qu'ils ont appris et à stimuler leur motivation pour réaliser une tâche demandée (Yelland, 1998 ; Clements et Natasi, 1993).

D'autre part, Räsänen et ses collaborateurs (2009) ont réalisé une étude sur les effets de l'intervention assistée par ordinateur sur les compétences numériques des enfants en maternelle. Des entraînements de comparaison de nombres, via deux matériels informatiques ont été administrés respectivement à deux groupes de 125 enfants, peu performants en numération : « the Number Race » (Wilson, Dehaene et al., 2006 ; Wilson, Revkin et al., 2006) et « Grapho-Game » (Mönkkönen et al., 2014). Le jeu « The Number Race » propose des activités impliquant le SNA via des tâches de comparaison de grandes quantités présentées sous forme analogique. En revanche, « Grapho-Game » est basé sur le SNE et propose des tâches de comparaison de petites et de moyennes quantités présentées sous forme symbolique. Les deux jeux possèdent une fonction adaptative grâce à un ajustement du niveau de difficulté et offrent une rétroaction immédiate ou différée au sujet des réponses des enfants. Les enfants ont participé à une session d'intervention quotidienne pendant trois semaines sur ordinateur. A l'issue de l'entraînement, les deux groupes ont amélioré leurs habiletés dans les tâches de comparaison de nombres.

Nous partons donc du principe que l'utilisation à bon escient des tablettes numériques contribue à l'amélioration des capacités des enfants en mathématiques.

3.2. Les jeux de société

Des recherches s'accordent sur le fait que les enfants de maternelle jouant fréquemment aux jeux de société entrent à l'école primaire avec une meilleure connaissance intuitive des chiffres. Les jeux de plateau impliquent de nombreuses capacités numériques. En effet, le déplacement du pion sur le plateau nécessite de connaître la comptine numérique et d'avoir acquis le principe de correspondance terme à terme. La représentation canonique du

dé met également en jeu des compétences de dénombrement ou de subitizing (Jansen et al., 2014).

D'autre part, les jeux de plateau contenant des nombres disposés de façon linéaire permettraient d'améliorer la capacité des enfants à se représenter les quantités le long d'une ligne numérique (Ramani et Siegler, 2008). En effet, plus le nombre inscrit sur le dé est grand, plus la distance parcourue avec le pion est élevée. Cela contribuerait donc à développer l'accès au sens du nombre. Ramani et Siegler (2008) ont mené une expérience sur 124 enfants âgés de 4 à 5 ans et demi, issus de familles à faibles revenus. Ils ont étudié l'effet des entraînements via des jeux de plateaux contenant des nombres disposés de façon linéaire sur les performances numériques des enfants. Les résultats de cette étude montrent que ce type de support a permis d'améliorer les performances des enfants en estimation numérique linéaire. D'autres compétences ont également été améliorées telles que le comptage, l'identification numérique et la comparaison d'amplitude numérique. Les progrès ont été maintenus pendant au moins neuf semaines.

Une étude similaire, réalisée en 2011, toujours par Ramani et Siegler, a comparé l'apport des jeux de plateau à nombres linéaires aux jeux de plateau à nombres circulaires, cette fois chez des enfants issus de tous milieux confondus. Il en résulte que tous les enfants ont progressé mais que les enfants appartenant à des milieux plutôt défavorisés ont réalisé de plus importants progrès. On relève également que les groupes stimulés avec les jeux de plateau linéaires ont davantage progressé que ceux stimulés avec les jeux de plateau circulaires. Ce type de jeu de plateau serait donc à privilégier.

Les jeux de plateau à nombres linéaires pourraient donc être largement adoptés dans les centres préscolaires, ce qui permettrait de soutenir les apprentissages numériques des enfants issus de milieux peu stimulants et de réduire les écarts importants entre les enfants avant l'entrée à l'école primaire.

3.3. L'entraînement des compétences visuo-spatiales

Les compétences visuo-spatiales regroupent plusieurs domaines tels que les habiletés de rotation mentale, de visualisation et de perception spatiale. Elles correspondent à la capacité à former et à manipuler des images mentales (Hawes et al., 2017). Ces capacités sont prédictives des compétences numériques futures des enfants d'âge préscolaire (Mix et Cheng, 2014 ; Cornu, 2018). De la même manière, des déficits en compétences spatiales sont corrélés

à des difficultés en mathématiques chez des enfants présentant différents syndromes génétiques (Attout, Noël, Vossius et Rousselle, 2017).

Cheng et Mix (2014) ont étudié les relations entre les compétences visuo-spatiales et les mathématiques chez des enfants de 6 à 8 ans. Cinquante-huit enfants ont été assignés au hasard soit à un groupe d'entraînement visuo-spatial, soit à un groupe contrôle. Les enfants du groupe visuo-spatial ont réalisé une tâche de rotation mentale. Ils ont observé deux parties d'une forme en deux dimensions, puis ils ont dû désigner parmi quatre images, celle qui correspondait à la forme dans son ensemble. Les enfants du groupe contrôle ont réalisé des mots croisés. Des pré-tests et des post-tests contenant des épreuves mathématiques et visuo-spatiales ont été administrés avant et après l'entraînement. A l'issue de celui-ci, les enfants ayant bénéficié de l'entraînement visuo-spatial ont amélioré significativement leurs performances en calcul d'opérations à trous, par rapport au groupe contrôle. Cela montre donc l'impact positif des compétences visuo-spatiales sur les compétences numériques des enfants.

De la même manière, Hawes et ses collaborateurs (2017), ont étudié l'effet d'un entraînement visuo-spatial mené en classe, chez des enfants de 4 à 7 ans. A l'issue de cette intervention, les enfants ont amélioré significativement leurs performances dans les tâches spatiales non entraînées ainsi que dans des épreuves de comparaison de nombres symboliques.

Ces différentes interventions mettent donc en évidence l'impact positif des compétences visuo-spatiales sur les capacités générales des enfants en mathématiques. Par ailleurs, les capacités visuo-spatiales constitueraient un socle pour les aptitudes en numération verbale telles que la capacité à compter et à connaître la comptine numérique, chez les enfants d'âge préscolaire. En effet, ces derniers s'appuient fortement sur leurs habiletés visuo-spatiales pour résoudre des tâches mathématiques, même lorsqu'elles sont essentiellement de nature verbale (Cornu, 2018). Ils ont besoin de visualiser et de manipuler la séquence de comptage. Par exemple, pour pouvoir compter à rebours, les enfants visualisent la séquence de comptage lors du décompte en arrière (Zhang et al., 2014).

Qui plus est, chaque individu possède une représentation mentale des nombres le long d'une ligne numérique. Comme mentionné précédemment, dans les cultures occidentales, les petits nombres sont représentés à gauche et les grands nombres à droite de cette ligne. Cette aptitude de représentation spatiale des nombres permettrait donc aux enfants d'appréhender plus précisément les magnitudes numériques (Booth et Siegler, 2008). Des compétences visuo-spatiales satisfaisantes permettraient également une meilleure représentation des

problèmes mathématiques. L'utilisation de représentations visuelles pour résoudre des problèmes mathématiques est donc considérée comme une stratégie de raisonnement efficace (Cheng et Mix, 2014).

C'est pourquoi, l'utilisation de supports visuels en classe, tels que des tableaux et des schémas serait donc plus approprié qu'un simple apprentissage numérique par cœur (Cornu, 2018). Ainsi, nous estimons que diverses activités visant à favoriser le raisonnement spatial, telles que des jeux de construction ou des activités de pliages, pourraient donc être bénéfiques chez les enfants d'âge préscolaire (Hawes et al., 2017).

Objectifs et hypothèses

Ce mémoire a pour objectif de mesurer l'effet d'un entraînement visant le développement des compétences mathématiques préscolaires sur le système numérique exact. Trois types d'entraînement ont été administrés aux enfants, à savoir, (1) des entraînements des compétences visuo-spatiales dispensés sur tablette tactile ainsi que (2) des entraînements des prérequis numériques dispensés également sur tablette tactile et enfin, (3) des entraînements dispensés sur support classique de type « papier-crayon ».

Nous cherchons donc à déterminer quel support d'entraînement permettrait de développer le plus favorablement les compétences numériques exactes des enfants telles que le comptage, le dénombrement, l'ordinalité, l'addition et la lecture de nombres arabes.

L'étude de Ramani et Siegler (2011) a montré le bénéfice des jeux de plateau à nombres linéaires sur les compétences mathématiques des enfants. Conformément aux données de la littérature, nous émettons l'hypothèse qu'un entraînement des compétences mathématiques élémentaires via des supports classiques de type papier-crayon permettrait d'améliorer les compétences numériques symboliques des enfants.

Méthode

Ce mémoire s'inscrit dans le cadre de l'étude KIDS e-Stim dirigée par Sandrine Mejias, Maître de Conférences à l'Université de Lille. Mon mémoire vise à déterminer par l'intermédiaire de quel type d'entraînement (visuo-spatial ou numérique) et de quel type de supports (tablette ou papier), il serait possible de favoriser le développement des prérequis mathématiques liés au SNE chez des enfants de moyenne et de grande sections de maternelle.

Ce mémoire se situe dans la continuité de l'étude ayant débuté l'année précédente. En effet, durant l'année universitaire 2017-2018, des étudiantes en orthophonie se sont rendues dans plusieurs écoles maternelles pour administrer des tests évaluant les compétences mathématiques des enfants. A l'issue de ces tests, elles leur ont fait passer trois types d'entraînements visant le développement des compétences mathématiques. Au cours de cette présente étude, durant l'année 2018-2019, nous nous sommes attachées à administrer les tests post-entraînements aux enfants et à réaliser une analyse statistique des résultats de ces post-tests dans le but de mesurer une amélioration éventuelle à l'issue des entraînements.

Ce projet émane d'une collaboration avec une équipe de chercheurs de l'Université du Luxembourg (ECCS unit, FLSHASE). Il fait suite à leur étude réalisée dans le but de prouver une corrélation positive de l'entraînement des capacités visuo-spatiales sur les performances mathématiques des enfants (Cornu et al., 2017). L'École Supérieure du Professorat et de l'Éducation de Lille (ESPE) ainsi que l'Académie de Lille ont également contribué à l'étude en fournissant aux étudiantes des tablettes tactiles pour réaliser les entraînements. Pour les besoins de cette étude, une convention a été signée entre l'ESPE, l'Université du Luxembourg, l'Université de Lille ainsi que le Ministère de l'Éducation Nationale.

1. La population de l'étude :

Cette étude a porté sur 172 enfants âgés de trois ans à sept ans (moyenne d'âge : 5.2 ans) scolarisés en moyenne et grande sections de maternelle et en CP, dans cinq écoles publiques au sein de la métropole d'Arras. Ces écoles sont représentatives de la population générale française. Elles ne sont pas connues pour avoir un niveau d'éducation supérieur à la moyenne nationale et n'appartiennent pas non plus à un réseau d'éducation prioritaire. Concernant les critères d'inclusion, les enfants participant à l'étude devaient être scolarisés en moyenne ou en grande section de maternelle, ils ne devaient pas présenter de troubles des

apprentissages et leur langue maternelle devait être le français. Les parents devaient également avoir rempli et rendu une autorisation parentale au préalable.

Au total, 195 enfants ont été recrutés pour participer à l'étude. Néanmoins, les enfants absents lors de la période de pré-tests, ont été exclus de l'étude. De plus, trois enfants ont déménagé au cours de l'année. Au terme, 172 enfants ont participé à l'étude. Par ailleurs, concernant l'analyse des données issues des post-tests, dix enfants ont déménagé en cours d'année et quatre enfants de grande section ont été retirés de l'étude car ils présentaient un quotient intellectuel trop faible. Cent cinquante-huit enfants ont donc été inclus dans l'analyse des post-tests. Ces enfants étaient scolarisés dans huit classes ; six classes à double niveau (moyenne section et grande section), une classe de moyenne section et une classe de grande section. A la demande des établissements scolaires et par souci d'équité ainsi que pour faciliter l'organisation de l'enseignant, tous les enfants de chaque classe ont pu participer aux entraînements, mais seules les données des 158 participants remplissant tous les critères d'inclusion et ayant une autorisation parentale signée ont été analysées.

2. Procédure et matériel

En première intention, les parents ont reçu de l'enseignant une lettre d'information visant à expliquer l'intérêt de l'étude, une demande d'autorisation pour la participation de leur enfant à l'étude, un questionnaire afin d'évaluer les habitudes de jeux de leur enfant ainsi que la fréquence d'utilisation de tablettes et de jeux de société au sein du cercle familial. Les parents pouvaient choisir d'autoriser ou non la participation de leur enfant à l'étude. Les parents ne souhaitant pas participer à l'étude ne remplissaient pas le questionnaire. Le questionnaire parental est divisé en trois parties. La première partie du questionnaire interroge les parents sur les activités que leur enfant pratique à la maison (télévision, jeux vidéo, tablette, ordinateur, jeux de société, activités manuelles, etc.), la deuxième partie porte sur l'utilisation des tablettes numériques (l'enfant possède-t-il une tablette ? A quelle fréquence y joue-t-il par semaine ? Pendant combien de temps ? Quels types de jeux apprécie-t-il ? Actuellement, quel est son jeu préféré ?). Enfin, la dernière partie du questionnaire porte sur les jeux de société (A quelle fréquence l'enfant joue-t-il aux jeux de société ? Pendant combien de temps ? Quels sont les types de jeux de société qu'il apprécie ?). Suite au questionnaire, des pré-tests ont été administrés aux enfants.

La procédure pré-tests/entraînements/post-tests a été reprise de l'étude effectuée par Cornu et al., (2017). Les pré-tests ont permis de mesurer les capacités des enfants en mathématiques avant l'entraînement. Ce dernier visait le développement des compétences numériques via deux supports d'entraînement : les jeux de plateau traditionnels et les tablettes numériques. Les enfants de chaque classe ont été répartis dans trois groupes d'entraînement de manière homogène en termes d'âge, de niveau scolaire et de sexe. Les post-tests ont permis de mesurer les progrès effectués suite à l'entraînement pour chaque support. Cela a donc permis de comparer leur efficacité respective. L'intervention s'est déroulée entre le mois de janvier 2018 et le mois de juin 2018. Les pré-tests ont duré trois semaines. Les entraînements ont duré huit semaines, à raison de deux sessions de vingt minutes par semaine. Seize sessions d'entraînement ont été programmées par enfant. Les post-tests ont été administrés à partir d'avril 2018 et se sont étalés sur une période d'un mois. Les enfants ont ensuite été réévalués six mois après l'entraînement dans leur classe respective (en grande section de maternelle et en CP) grâce à des post-tests de maintien. Ces derniers ont permis de mesurer le maintien des effets de l'entraînement à plus long terme.

3. Pré-tests et post-tests

La plupart des tests effectués sont repris du protocole de l'équipe Luxembourgeoise ayant développé les entraînements sur outils numériques (Cornu et al., 2017). Les tâches proposées aux enfants lors des phrases de pré et de post-tests demeurent au format papier-crayon. Ces tests ont pour objectif de déterminer le niveau général des enfants en ce qui concerne les prérequis mathématiques grâce à des tâches de comptage à l'endroit, de lecture de nombres, d'appariement de nombres arabes à des quantités équivalentes, des tâches de comparaison symboliques et non-symboliques ou encore des tâches arithmétiques telles que des additions et soustractions simples. Les compétences visuo-spatiales ont été évaluées à l'aide de deux subtests d'un outil classique intitulé « Developmental Test of Visual Perception 2 », (Frostig, 1973). Cet outil portait sur l'orientation spatiale et l'intégration visuo-motrice. Les gnosies digitales ont également été évaluées (Galifret-Granjon, 1964).

Des post-tests de maintien ont permis de réévaluer les enfants six mois après l'entraînement dans leur classe respective (en grande section de maternelle et en CP). Ces post-tests avaient pour but de mesurer le maintien des effets de l'entraînement à distance. Ces tests étaient composés de tâches de comparaison et de dictée de nombres arabes, de

dénombrement, de calculs simples et d'orientation spatiale. Ces tâches visaient à évaluer les compétences numériques élémentaires et les compétences visuo-spatiales des enfants.

Dans ce mémoire, nous nous sommes intéressés à huit tâches, détaillées ci-dessous :

3.1. Comptage libre

Dans cette épreuve, l'enfant doit compter le plus loin possible à voix haute. L'expérimentateur note le dernier élément de la chaîne numérique énoncé par l'enfant. L'épreuve s'arrête lorsque l'enfant parvient à compter jusqu'à 50 ou bien s'il commet une erreur. On note également si l'enfant utilise ses doigts pour compter.

3.2. Comptage « à partir de »

L'enfant doit compter à voix haute à partir d'un nombre donné. Il doit compter à partir des nombres « 3 », « 8 », « 10 », « 12 » et « 19 ».

3.3. Comptage à rebours

Dans cette tâche, l'enfant doit compter à l'envers à partir d'un nombre. Il doit compter en arrière à partir des nombres « 4 », « 8 », « 10 », « 12 » et « 20 ».

3.4. Comptage de borne en borne

Dans cette épreuve, l'enfant doit compter à partir d'un nombre jusqu'à un nombre donné.

3.5. Dénombrement

Dans cette épreuve, l'enfant doit dénombrer successivement trois ensembles d'objets. Ces ensembles sont chacun composés de cinq, sept et onze éléments.

On relève également les stratégies utilisées par l'enfant pour dénombrer, telles que le comptage à voix haute ou encore l'utilisation des doigts.

3.6. Lecture de nombres arabes

Il s'agit de lire le plus rapidement possible des nombres arabes. Cette tâche permet d'évaluer quelles sont les représentations symboliques arabes connues de l'enfant.

3.7. Recherche du chiffre manquant

Dans cette épreuve, on présente à l'enfant dix séries composées chacune de quatre nombres arabes. Parmi ces quatre nombres, il existe un nombre manquant. L'enfant doit donc l'énoncer à haute voix.

Cette épreuve permet de mesurer la maîtrise de l'ordinalité numérique, par exemple savoir que le nombre « 5 », se trouve après le nombre « 4 ».

3.8. Additions de nombres arabes

Cette épreuve est constituée de six additions où l'enfant doit additionner deux nombres arabes entre eux. Les résultats des additions sont compris entre « 3 » et « 10 ». L'expérimentateur observe la stratégie employée par l'enfant pour résoudre les additions. Ces stratégies comprennent l'utilisation des doigts et la récupération en mémoire du résultat de l'addition.

4. Entraînements

Les entraînements ont visé l'amélioration des prérequis nécessaires pour l'appréhension des mathématiques. Trois groupes d'intervention ont été constitués :

4.1. Groupe « pré-math classique »

Les entraînements prénumériques classiques étaient composés de différents petits jeux présentés sous forme de support de type « papier-crayon ». Ces activités s'effectuaient de manière individuelle ou collective. Ce type d'intervention visait à améliorer les capacités arithmétiques nécessaires pour le développement des compétences mathématiques scolaires. Les enfants ont donc pu jouer à des jeux de plateaux à nombres linéaires, manipuler des jetons, des dés et des cartes.

4.2. Groupe « pré-maths tablette »

Durant les séances sur tablette, les enfants ont effectué des activités similaires à celles proposées aux enfants du groupe « jeux de plateau ». Seul le support était différent. Ils ont

réalisé les activités seuls sous la supervision de l'expérimentateur, qui restait toujours à proximité afin de stimuler l'enfant, l'encourager et au cas où l'enfant rencontrerait des difficultés avec l'utilisation de la tablette. Ce matériel a été dispensé grâce à l'application « MaGrid » développée par l'équipe luxembourgeoise de Cornu et ses collaborateurs.

4.3. Groupe « visuo-spatial tablette »

Les entraînements visuo-spatiaux ont été développés sur iPad par l'équipe Luxembourgeoise. La tablette était conçue comme une ardoise électronique permettant à l'enfant de reproduire les modèles. Différentes activités ont été proposées aux enfants afin de cibler différents aspects des compétences visuo-spatiales telles que la manipulation, l'orientation, la reproduction et la complétion de figures et de formes géométriques. Ces aptitudes visuo-spatiales sont corrélées à l'apprentissage des mathématiques.

Résultats

Les différentes analyses statistiques portent sur un échantillon de 158 enfants. Nous proposons d'examiner plus spécifiquement leurs performances concernant les habiletés numériques exactes. Ces compétences sont évaluées au travers de tâches de comptage, de dénombrement, d'ordinalité, de lecture de nombres arabes et d'addition de nombres arabes.

1. Analyses descriptives

Les enfants ont au préalable été répartis au sein des trois différents groupes d'entraînement de manière homogène, ce qui a permis de créer trois groupes comparables en terme d'âge, de sexe et de performance au pré-test.

Le groupe ayant bénéficié de l'entraînement visuo-spatial sur tablette était composé de 53 enfants. Vingt-et-un enfants étaient scolarisés en moyenne section et trente-deux enfants étaient scolarisés en grande section de maternelle.

Le groupe ayant été entraîné aux compétences numériques sur tablette tactile était constitué de 51 enfants, à savoir 18 enfants en moyenne section et 33 enfants en grande section de maternelle.

Enfin, le groupe ayant reçu l'entraînement visant à stimuler les compétences numériques sur support de type « papier-crayon » était constitué de 54 enfants dont 18 en moyenne section et 36 en grande section de maternelle

2. Effet des entraînements sur les performances des enfants

Afin d'examiner l'effet des différents supports d'entraînement, les résultats des enfants aux différentes tâches ont été soumis au test d'analyse des variances à mesures répétées (ANOVA). Ce test statistique a permis de comparer les moyennes des scores POMP (percent of maximum performance) obtenus par les enfants aux différentes tâches.

L'utilisation de scores POMP permet de comparer les performances des individus lorsque les tâches ne donnent pas lieu à des notes maximales homogènes. Dans notre cas, les tâches issues des pré et post-tests ne comportaient pas toutes le même nombre d'items et ne donnaient donc pas toutes lieu à une notation sur 10. Afin de comparer les valeurs des moyennes de façon homogène, celles-ci ont toutes été ramenées sur la base de 1, ce qui correspond à la valeur notée « POMP », divisée par le score total. Les moyennes POMP des trois groupes d'entraînement sont présentées dans le tableau 1.

Nous nous intéressons donc à l'impact du type d'entraînement sur les performances des trois groupes, dans le temps (au pré et au post-test), au travers de huit tâches.

Tableau 1 : statistiques descriptives des moyennes (POMP) des trois groupes d'entraînement lors des pré et post-tests

Tâche	Groupe visuo-spatial tablette		prémaths tablette		prémaths classique	
	pré-test	post-test	pré-test	post-test	pré-test	post-test
Comptage libre	.55 (.28)	.57 (.27)	.54 (.25)	.60 (.25)	.48 (.26)	.62 (.26)
Comptage à partir d'un nombre	.66 (.35)	.70 (.37)	.63 (.36)	.62 (.35)	.58 (.39)	.65 (.36)
Comptage à rebours	.37 (.37)	.42 (.37)	.30 (.32)	.46 (.32)	.31 (.35)	.38 (.35)
Comptage de borne en borne	.51 (.33)	.56 (.32)	.46 (.28)	.54 (.30)	.45 (.34)	.52 (.31)
Dénombrement	.86 (.23)	.88 (.22)	.84 (.25)	.80 (.30)	.82 (.23)	.80 (.28)
Lecture de nombres arabes	.47 (.29)	.56 (.32)	.41 (.22)	.55 (.25)	.42 (.26)	.54 (.28)
Recherche du chiffre manquant	.52 (.37)	.60 (.35)	.46 (.33)	.61 (.30)	.50 (.33)	.59 (.32)
Addition de nombres arabes	.34 (.35)	.42 (.35)	.30 (.34)	.40 (.36)	.31 (.34)	.39 (.38)

L'ANOVA (3 groupes x 2 temps x 8 tâches) met en évidence deux effets principaux. En effet, on relève un effet du temps ($F(1,147) = 35.15 ; p \leq .001$) et de la tâche ($F(7, 1029) = 122.35 ; p \leq .001$).

En ce qui concerne le temps, les enfants présentent de meilleurs résultats au post-test par rapport au pré-test. La moyenne globale au moment du pré-test était de .50 et de .58 lors du post-test. Les enfants ont donc évolué entre le temps du pré-test et celui du post-test.

Concernant l'effet de la tâche, certaines épreuves sont mieux réussies par les enfants que d'autres (figure 2). En effet, les enfants ont obtenu de meilleurs résultats aux tâches de dénombrement et de comptage à partir d'un nombre qu'aux autres tâches.

Par ailleurs, on ne relève pas d'effet de groupe. En effet, les enfants ont progressé de la même manière quel que soit leur groupe d'entraînement. Il n'existe donc pas de différence de performance entre les groupes.

L'ANOVA met également en évidence une interaction temps x tâches ($F(7,147) = 4.37 ; p \leq .001$). Les enfants ne progressent donc pas à la même vitesse dans toutes les tâches. Afin d'investiguer cette interaction, nous avons procédé à une comparaison de moyennes pour

données pairées (i.e., la comparaison des performances des enfants au pré-test et au post-test au sein des huit tâches).

La comparaison de l'évolution des scores POMP pour chaque tâche entre les pré et post-tests met en évidence une évolution significative des performances pour certaines tâches seulement (figure 2). En effet, on constate que les enfants progressent de manière significative entre le temps de pré-test et celui du post-test aux tâches de comptage libre, de comptage à rebours, de comptage de borne en borne, de lecture de nombres arabes, d'ordinalité et d'addition de nombres arabes. Notons par ailleurs que les enfants ont tendance à diminuer leur performance à l'épreuve de dénombrement.

En outre, nous n'observons pas d'interaction temps x groupe. Les groupes ont donc bien été répartis de manière homogène, lors du pré-test. Par ailleurs, on ne constate pas non plus de différence entre les scores des enfants lors du post-test. Les trois groupes d'entraînement semblent donc évoluer de la même façon.

Enfin, nous ne relevons pas d'autres doubles interactions, ni de triples interactions.

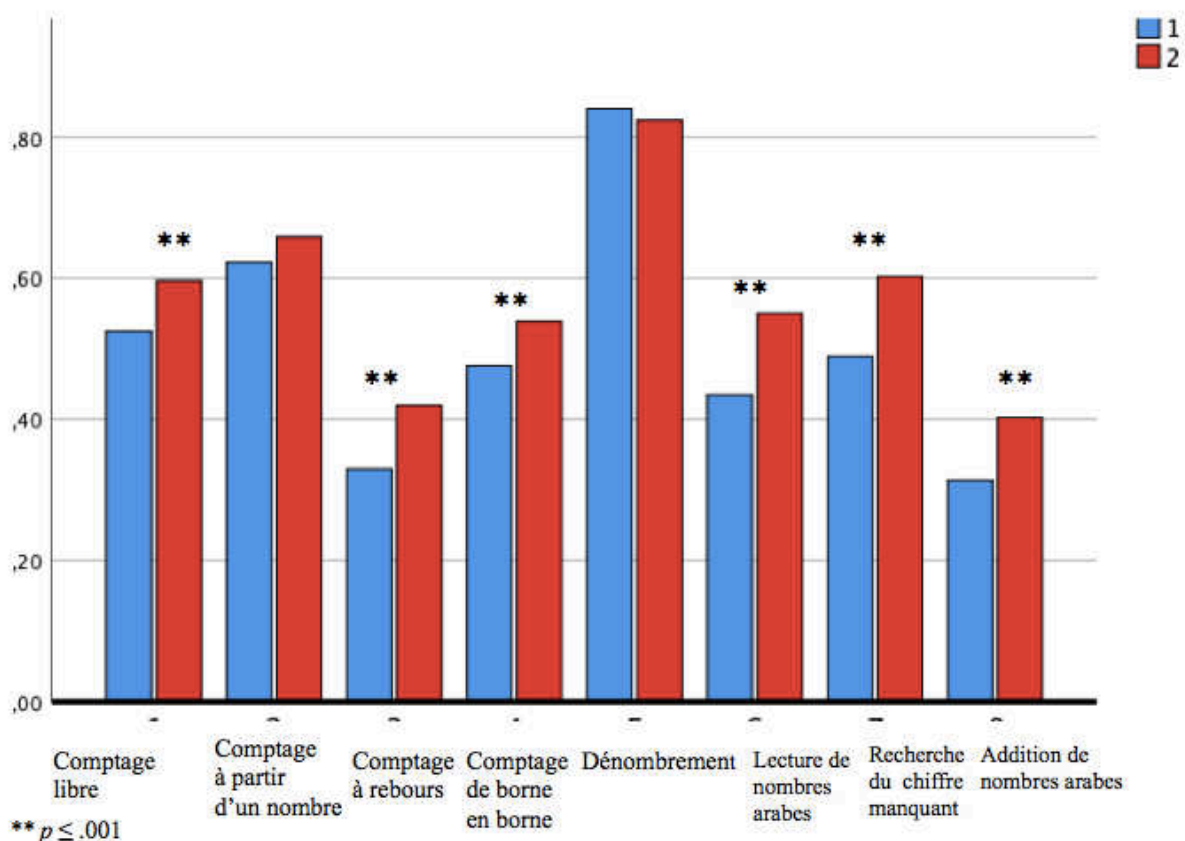


Figure 2 : moyenne marginale estimée des échantillons appariés

Discussion

Ce mémoire avait pour objectif de déterminer l'effet d'un entraînement des compétences mathématiques préscolaires sur les performances des enfants en numération. Ces performances portaient sur des tâches de comptage, de dénombrement, d'ordinalité, de lecture de nombres arabes et d'addition de nombres arabes. Ces épreuves correspondaient au système numérique exact (SNE).

Cette étude visait le développement des prérequis mathématiques de 158 enfants. Ces derniers étaient répartis dans trois groupes d'entraînement, à savoir un entraînement des compétences visuo-spatiales sur tablette tactile, un entraînement des prérequis numériques sur support de type papier-crayon et un entraînement des prérequis numériques également sur tablette tactile. Dans un deuxième temps, nous avons administré des post-tests aux enfants, dans le but de mesurer une progression suite aux entraînements.

Nous avons prédit qu'un entraînement visant à stimuler les prérequis numériques sur support de type papier-crayon apporterait plus de bénéfices.

Toutefois, nous ne sommes pas parvenus à déterminer quel type d'entraînement paraissait le plus favorable pour développer les compétences numériques exactes des enfants. En effet, ces derniers ont tous progressé de la même manière à l'issue des entraînements et il n'existait pas de différence de performances entre les groupes.

1. Discussion des résultats

Cette étude met en évidence un effet du temps. En effet, les enfants présentent de meilleures performances au post-test par rapport au pré-test. Ils ont donc progressé entre les deux temps.

On relève également un effet de la tâche. De ce fait, certaines épreuves demeurent mieux réussies par les enfants que d'autres. En effet, les enfants ont obtenu de meilleurs résultats aux tâches de dénombrement et de comptage à partir d'un nombre qu'aux autres tâches.

Par ailleurs, les données statistiques ne mettent pas en évidence d'effet de groupe. Par conséquent, les trois groupes d'entraînement à savoir le groupe visuo-spatial, les groupes ayant bénéficié des entraînements aux compétences numériques sur tablette et sur support classique ont progressé de la même manière, ce qui n'a pas permis de valider notre hypothèse de départ. Celle-ci postulait une progression plus importante de la part des enfants ayant bénéficié de l'entraînement sur support papier-crayon. On peut donc supposer que les trois types d'entraînement demeurent favorables et qu'il n'existe pas d'entraînement apportant plus de bénéfices qu'un autre.

Cette étude a permis de montrer une progression des enfants. En effet, on constate une interaction entre le temps et la tâche. De ce fait, la majorité des tâches impliquant exclusivement le système numérique exact était mieux réussies par les enfants lors de la période de post-test. Les enfants ont donc progressé à l'issue des entraînements. On suppose que cette progression est due spécifiquement à l'entraînement ou bien à la maturation spontanée des enfants.

Seules les performances des enfants dans deux tâches n'ont pas évolué de manière significative : la tâche de comptage à partir d'un nombre et la tâche de dénombrement. On peut supposer l'existence d'un effet plafond puisque les enfants réalisaient déjà aisément ces tâches au moment du pré-test. Cela laisse donc peu de possibilités pour une marge de progression. En effet, en ce qui concerne les compétences de dénombrement, les trois groupes ont tous obtenus un score relativement élevé au pré-test, à savoir une moyenne supérieure à 0.8. Ces résultats concordent avec les données développementales issues de la littérature. En effet, la capacité à dénombrer des petites collections d'éléments semble être acquise dès l'âge de 3 ans par les enfants tout-venant (Butterworth, 2011).

2. La composition de l'échantillon de la population

La population de notre étude comportait 158 enfants âgés de 3,1 ans à 7,2 ans (moyenne d'âge : 5, 11 ans). Malheureusement, plusieurs enfants ont été exclus de l'analyse à posteriori. En effet, dix enfants ont déménagé en cours d'année et quatre enfants de grande section ont été retirés de l'étude car ils présentaient un quotient intellectuel trop faible.

Néanmoins, la taille de l'échantillon reste relativement importante, ce qui offre une bonne représentativité de la population et une meilleure puissance statistique.

De surcroît, les données statistiques indiquent une absence d'interaction entre le groupe et le temps. En effet les trois groupes d'entraînement évoluent de la même manière entre les périodes de pré-test et de post-test. Cela montre que les trois groupes demeurent bien appariés lors des deux périodes. Cet aspect est donc assez satisfaisant.

3. Limites de l'étude

Lors des entraînements, les enfants ont présenté un intérêt plus important pour les jeux de plateau, ce qui a accru leur motivation. Ces derniers possédaient un aspect plus ludique par rapport aux entraînements sur tablette qui semblaient assez répétitifs. L'aspect motivationnel n'est donc à pas à négliger.

Par ailleurs, davantage d'échanges verbaux entre les enfants ont été observés dans le groupe ayant bénéficié des jeux de plateau. Néanmoins, on a relevé davantage de comportements d'entraide entre les enfants du groupe « tablette ». Ces différentes variables ont donc été susceptibles d'influer sur la performance des enfants aux pré et post-tests.

Qui plus est, certains enfants scolarisés en moyenne section de maternelle, présentaient davantage de difficultés à maintenir leur attention tout au long de la durée des tests. En raison de leur plus jeune âge, comparativement aux enfants de grande section, ils ont présenté plus de difficultés à réaliser ces tâches. Par ailleurs, le temps alloué à la passation était assez long (45 minutes), ce qui a pu accentuer les difficultés attentionnelles des enfants.

De plus, dans certaines écoles, nous étions plusieurs étudiantes à administrer les tests dans une même salle ce qui a empêché certains enfants de rester concentrés. On peut donc supposer l'existence d'un biais attentionnel.

D'autre part, nous ignorons si la progression des enfants à l'issue des entraînements provient spécifiquement des entraînements ou bien de l'évolution spontanée des enfants. Pour cela, il aurait été nécessaire de disposer d'un groupe contrôle. Ce dernier aurait été composé d'enfants réalisant un entraînement sans aucun lien avec les mathématiques, telle que la lecture. Néanmoins, la présence d'un groupe contrôle aurait diminué la taille de l'échantillon

constitué d'enfants ayant reçu un entraînement des compétences mathématiques. Cela aurait donc réduit la puissance statistique de notre étude. Par ailleurs, il n'a pas non plus été possible de recruter davantage d'enfants pour cette étude.

4. Pistes de futures recherches

Cette étude se poursuit l'année prochaine pour étudier l'effet d'un entraînement des compétences mathématiques dans les écoles issues de milieux plus défavorisés, situées en zone d'éducation prioritaire de la métropole lilloise.

Cette étude suivra le même design pré-test/entraînements/post-tests que cette année. Les entraînements demeureront également identiques.

Conformément aux données de la littérature (Starkey et al., 2004), nous nous attendons à un bénéfice plus important de ces entraînements chez les enfants issus de milieux plus défavorables.

5. Intérêt orthophonique de l'étude

Cette étude s'inscrit au centre des problématiques actuelles concernant la prise en charge orthophonique des troubles d'acquisition des mathématiques tels que la dyscalculie. En effet, la dyscalculie développementale est un trouble d'apprentissage spécifique qui affecte l'acquisition des compétences en mathématiques chez les enfants présentant une intelligence normale et ayant bénéficié d'une éducation scolaire adaptée à leur âge.

Les données issues de cette étude concernant le bénéfice d'un entraînement des habiletés numériques précoces pourront donc permettre de justifier l'intérêt des actions de prévention chez les enfants à risque de développer une dyscalculie ou un retard d'acquisition en mathématiques. En effet, il semblerait intéressant de proposer des entraînements de ce type à destination du grand public. Ainsi, cela permettrait de réduire les écarts de performance entre les enfants avant l'entrée à l'école primaire.

Conclusion

Dans ce mémoire, nous avons tenté de déterminer l'effet d'un entraînement des compétences mathématiques préscolaires sur les performances numériques des enfants. Ces performances concernaient le système numérique exact (SNE).

Cette étude visait également à déterminer quel support d'entraînement privilégier pour développer les compétences numériques symboliques des enfants telles que le dénombrement, le comptage, l'ordinalité, le transcodage et l'arithmétique. Nous avons supposé qu'un entraînement des capacités numériques dispensé sur support « papier-crayon » semblait plus favorable pour améliorer ce type de compétences. Néanmoins, les trois groupes d'enfants ont progressé de la même façon à l'issue de l'entraînement. En effet, il n'existait pas de différences significatives entre les groupes concernant les performances des enfants aux habiletés numériques exactes. On peut donc supposer que les trois types d'entraînements demeurent favorables pour développer les habiletés liées au SNE.

Bibliographie

- Attout, L., Noël, M. P., Vossius, L., & Rousselle, L. (2017). Evidence of the impact of visuo-spatial processing on magnitude representation in 22q11. 2 microdeletion syndrome. *Neuropsychologia*, 99, 296-305.
- Baroody, A. J., Lai, M. L., & Mix, K. S. (2006). The development of young children's early number and operation sense and its implications for early childhood education. *Handbook of research on the education of young children*, 2, 187-221.
- Benavides-Varela, S., Butterworth, B., Burgio, F., Arcara, G., Lucangeli, D., & Semenza, C. (2016). Numerical activities and information learned at home link to the exact numeracy skills in 5–6 years-old children. *Frontiers in psychology*, 7, 94.
- Booth, J. L., & Siegler, R. S. (2006). Developmental and individual differences in pure numerical estimation. *Developmental psychology*, 42(1), 189.
- Butterworth, B. (2011). Foundational numerical capacities and the origins of dyscalculia. In *Space, Time and Number in the Brain* (pp. 249-265). Academic Press.
- Cantlon, J. F. (2012). Math, monkeys, and the developing brain. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109 (Supplement 1), 10725-10732.
- Cheng, Y. L., & Mix, K. S. (2014). Spatial training improves children's mathematics ability. *Journal of Cognition and Development*, 15(1), 2-11.
- Christakis, D. A., Ebel, B. E., Rivara, F. P., & Zimmerman, F. J. (2004). Television, video, and computer game usage in children under 11 years of age. *The Journal of Pediatrics*, 145(5), 652–656.
- Clements, D. H. (2002). Computers in Early Childhood Mathematics. *Contemporary Issues in Early Childhood*, 3(2), 160–181.
- Clements, D. H., & Sarama, J. (2007). Effects of a preschool mathematics curriculum: Summative research on the Building Blocks project. *Journal for Research in Mathematics Education*, 38, 136–163.
- Cornu, V., Schiltz, C., Martin, R., & Hornung, C. (2018). Visuo-spatial abilities are key for young children's verbal number skills. *Journal of Experimental Child Psychology*, 166, 604-620.
- Currie, J., & Thomas, D. (1999). Early test scores, socioeconomic status and future outcomes (Vol. No. w6943): *National bureau of economic research*.
- Dehaene, S. (1992). Varieties of numerical abilities. *Cognition*, 44(1-2), 1-42.
- Dehaene, S. (2001). Précis of the number sense. *Mind & language*, 16(1), 16-36.
- Dehaene, S., Piazza, M., Pinel, P., & Cohen, L. (2003). Three parietal circuits for number processing. *Cognitive neuropsychology*, 20(3-6), 487-506.
- Duncan, G. J., Dowsett, C. J., Claessens, A., Magnuson, K., Huston, A. C., Klebanov, P., Japel, C. (2007). School readiness and later achievement. *Developmental Psychology*, 43(6).
- Elliott, A., & Hall, N. (1997). The impact of self-regulatory teaching strategies on "at-risk" preschoolers' mathematical learning in a computer-mediated environment. *Journal of Computing in Childhood Education*, 8, 187-98.
- Fayol, M. (1985). Nombre, numération et dénombrement : que sait-on de leur acquisition ? *Revue française de pédagogie*, 70, 59-77.

- Fayol, M., Camos, V., & Roussel, J. L. (2000). Acquisition et mise en œuvre de la numération par les enfants de 2 à 9 ans. *Neuropsychologie des troubles du calcul et du traitement des nombres*, 33-58.
- Feigenson, L., Dehaene, S., & Spelke, E. (2004). Core systems of number. *Trends in cognitive sciences*, 8(7), 307-314.
- Fuson, K. C., Richards, J., & Briars, D. J. (1982). The acquisition and elaboration of the number word sequence. In *Children's logical and mathematical cognition* (pp. 33-92).
- Fuson, K. C. (2012). Children's counting and concepts of number. *Springer Science & Business Media*.
- Gelman, R., & Gallistel, C. R. (1986). The child's understanding of number. *Harvard University Press*.
- Harle, B., & Desmurget, M. (2012). Effects on children's cognitive development of chronic exposure to screens. *Archives de pediatrie: organe officiel de la Societe francaise de pediatrie*, 19(7), 772-776.
- Hawes, Z., Moss, J., Caswell, B., & Poliszczuk, D. (2015). Effects of mental rotation training on children's spatial and mathematics performance : A randomized controlled study. *Trends in Neuroscience and Education*, 4(3), 60-68.
- Hawes, Z., Moss, J., Caswell, B., Naqvi, S., & MacKinnon, S. (2017). Enhancing Children's Spatial and Numerical Skills through a Dynamic Spatial Approach to Early Geometry Instruction: Effects of a 32-Week Intervention. *Cognition and Instruction*, 35, 236-264.
- Hayes, D. S., Chemelski, B. E., & Birnbaum, D. W. (1981). Young children's incidental and intentional retention of televised events. *Developmental Psychology*, 17(2), 230.
- Honoré, N., & Noël, M. P. (2016). Improving preschoolers' arithmetic through number magnitude training: The impact of non-symbolic and symbolic training. *PLoS one*, 11(11), e0166685.
- Jansen, B. R., Hofman, A. D., Straatemeier, M., van Bers, B. M., Raijmakers, M. E., & van der Maas, H. L. (2014). The role of pattern recognition in children's exact enumeration of small numbers. *British Journal of Developmental Psychology*, 32(2), 178-194.
- 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., Kaplan, D., Ramineni, C., & Locuniak, M. N. (2009). Early math matters: kindergarten number competence and later mathematics outcomes. *Developmental psychology*, 45(3), 850.
- Jordan, N. C., & Levine, S. C. (2009). Socioeconomic variation, number competence, and mathematics learning difficulties in young children. *Developmental Disabilities Research Reviews*, 15(1), 60-68.
- LeFevre, J. A., Skwarchuk, S. L., Smith-Chant, B. L., Fast, L., Kamawar, D., & Bisanz, J. (2009). Home numeracy experiences and children's math performance in the early school years. *Canadian Journal of Behavioural Science/Revue canadienne des sciences du comportement*, 41(2), 55.
- 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.
- Mejias, S., Lecoivre, A., Genin, M., & Schiltz. (2018). Assessing numerical school readiness. *Frontiers in Psychology*, 10, 1173.

- Mejias, S., Grégoire, J., & Noël, M. P. (2012). Numerical estimation in adults with and without developmental dyscalculia. *Learning and Individual Differences*, 22(1), 164-170.
- Mix, K. S., & Cheng, Y. L. (2012). The relation between space and math: Developmental and educational implications. In *Advances in child development and behavior*, 42, 197-243.
- Nguyen, T., Watts, T. W., Duncan, G. J., Clements, D. H., Sarama, J. S., Wolfe, C., & Spitler, M. E. (2016). Which preschool mathematics competencies are most predictive of fifth grade achievement? *Early childhood research quarterly*, 36, 550-560.
- Ramani, G. B., & Siegler, R. S. (2008). Promoting broad and stable improvements in low-income children's numerical knowledge through playing number board games. *Child development*, 79(2), 375-394.
- Ramani, G. B., & Siegler, R. S. (2011). Reducing the gap in numerical knowledge between low-and middle-income preschoolers. *Journal of applied developmental Psychology*, 32(3), 146-159.
- Romano, E., Babchishin, L., Pagani, L. S., & Kohen, D. (2010). School readiness and later achievement: replication and extension using a nationwide Canadian survey. *Developmental psychology*, 46(5), 995.
- Ramey, C. T., & Ramey, S. L. (2004). Early learning and school readiness. Can early intervention make a difference? *Merrill-Palmer Quarterly*, 50(4), 471-491.
- Räsänen, P., Salminen, J., Wilson, A. J., Aunio, P., & Dehaene, S. (2009). Computer-assisted intervention for children with low numeracy skills. *Cognitive development*, 24(4), 450-472.
- Starkey, P., & Cooper, R. G. (1980). Perception of numbers by human infants. *Science*, 210(4473), 1033-1035.
- Starkey, P., Klein, A., & Wakeley, A. (2004). Enhancing young children's mathematical knowledge through a pre-kindergarten mathematics intervention. *Early Childhood Research Quarterly*, 19(1), 99-120.
- Strauss, M. S., & Curtis, L. E. (1981). Infant perception of numerosity. *Child development*, 52(4), 1146-1152.
- Sheldon, S. B., & Epstein, J. L. (2005). Involvement counts: Family and community partnerships and mathematics achievement. *The Journal of Educational Research*, 98(4), 196-207.
- Von Aster, M. G., & Shalev, R. S. (2007). Number development and developmental dyscalculia. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 49(11), 868-873.
- Yelland, N. (1998). Empowerment and control with technology in the early childhood years. *Educational Practice and Theory*, 20(2), 45-55.
- Zhang, X., Koponen, T., Räsänen, P., Aunola, K., Lerkkanen, M. K., & Nurmi, J. E. (2014). Linguistic and spatial skills predict early arithmetic development via counting sequence knowledge. *Child development*, 85(3), 1091-1107.