

**Laurence Rousselle**

Professeur, Université de Liège  
Docteur en sciences psychologiques  
Research Unit for a life-Course perspective on Health and Education - RUCHE

Correspondance :

Université de Liège

Faculté de Psychologie, Logopédie et des Sciences de l'Education  
Place des Orateurs 1, B33 (Sart Tilman, Quartier Agora), 4000 Liège, Belgium  
[laurence.rousselle@uliege.be](mailto:laurence.rousselle@uliege.be)

**Maëlle Neveu**

Neuropsychologue, Doctorante, Université de Liège  
Research Unit for a life-Course perspective on Health and Education - RUCHE

Correspondance :

Université de Liège

Faculté de Psychologie, Logopédie et des Sciences de l'Education  
Place des Orateurs 1, B33 (Sart Tilman, Quartier Agora), 4000 Liège, Belgium  
[mneveu@uliege.be](mailto:mneveu@uliege.be)

**Christelle Maillart**

Professeur ordinaire, Université de Liège  
Docteur en logopédie  
Research Unit for a life-Course perspective on Health and Education - RUCHE

Correspondance :

Université de Liège

Faculté de Psychologie, Logopédie et des Sciences de l'Education  
Rue de l'Aunaie, 20, B38 (Sart Tilman), 4000 Liège, Belgium  
[christelle.maillart@uliege.be](mailto:christelle.maillart@uliege.be)

**Boris Jidovtseff**

Professeur, Université de Liège  
Docteur en sciences de la motricité  
Research Unit for a life-Course perspective on Health and Education - RUCHE

Correspondance :

Université de Liège

Faculté de Médecine

Quartier Blanc Gravier, allée des Sports 2, B21, 4000 Liège, Belgium  
[b.jidovtseff@uliege.be](mailto:b.jidovtseff@uliege.be)

**Line Vossius**

Neuropsychologue, Doctorante, Université de Liège  
Research Unit for a life-Course perspective on Health and Education - RUCHE

Correspondance :

Université de Liège

Faculté de Psychologie, Logopédie et des Sciences de l'Education,  
Place des Orateurs 1, B33 (Sart Tilman, Quartier Agora), 4000 Liège, Belgium  
[line.vossius@uliege.be](mailto:line.vossius@uliege.be)

# Jeux de doigts avec les nombres pour améliorer les précurseurs aux mathématiques chez de jeunes enfants d'âge pré-scolaire

## Résumé

*Dès l'école maternelle, les compétences numériques précoces varient considérablement d'un enfant à l'autre. Or, de nombreuses recherches ont démontré l'existence d'une relation forte entre les compétences numériques chez le jeune enfant d'âge pré-scolaire et les compétences mathématiques à l'école primaire et secondaire (Jordan, Kaplan, Locuniak & Ramineni, 2007 ; Watts, Duncan, Siegler & Davis-Kean, 2014). De plus, il a été montré que les interventions précoces ciblant les forces et les faiblesses individuelles permettent de réduire des troubles d'apprentissage (Vellution & Scanlon, 2002). Cette étude propose un essai randomisé en grappe visant à évaluer l'efficacité d'un dispositif d'intervention centré sur le développement de la cardinalité. À cet effet, 84 enfants d'âge préscolaire se situant entre 48 mois et 60 mois ont été répartis en 3 groupes, chacun assigné à un type d'intervention pédagogique : un programme d'intervention numérique stimulant le développement de la compréhension de la cardinalité basé sur des jeux de doigts (n = 27 enfants), un programme de lecture partagée ciblant les précurseurs au langage écrit (n = 28 enfants), et enfin un programme ciblant la motricité globale (n = 29 enfants). Les interventions pédagogiques ont été données en parallèle pendant dix semaines, trente minutes par jour, cinq fois par semaine. Les résultats montrent que les enfants qui ont participé au programme numérique ont de meilleurs résultats après intervention dans les tâches qui évaluent la compréhension de la cardinalité que les enfants qui ont participé aux autres interventions. En outre, leur progression dans la tâche qui évalue les compétences arithmétiques précoces (non entraînées dans le programme) est plus importante que celle des enfants des deux autres groupes. Ces résultats montrent l'efficacité d'une intervention précoce réalisée directement en milieu scolaire sur le développement des précurseurs aux compétences mathématiques.*

**Mots-clés :** Intervention, prévention, cardinalité, précurseurs arithmétiques, maternelle

# Finger-games with numbers to improve precursors of mathematics achievement in preschoolers

## Abstract

*From the beginning of preschool, numerical abilities vary considerably from one child to another. Yet, many authors have shown a strong relationship between numerical knowledge in preschool and the arithmetical performance of children in primary school, and even in secondary school (Jordan, Kaplan, Locuniak & Ramineni, 2007; Watts, Duncan, Siegler & Davis-Kean, 2014). Moreover, early intervention targeting individual strengths and weaknesses were found to be the most efficient to reduce the prevalence of learning disabilities (Vellution & Scanlon, 2002). This study propose a group-randomized trials to assess the efficiency of a training program focused on cardinal knowledge development. Eighty-four preschoolers aged between 48 months and 60 months old were divided into three groups, each assigned to a different intervention: (1) a numerical program based on finger-games activities targeting cardinal knowledge (n= 27 children), (2) a shared reading program targeting precursors in the development of reading and writing skills (n = 28 children), and (3) a global motor training (n = 29 children). The intervention were given for ten weeks, thirty minutes a day, five times a week. Results showed that children who participated in the numerical program exhibited better cardinal knowledge than children in the two other groups. They also showed a significantly larger progression in early arithmetical skills (not trained in the program) than in the other groups. These results demonstrated the efficiency of an early intervention program conducted in preschool settings on precursors of mathematics achievement.*

Keywords : Intervention, prevention, cardinality, early arithmetic, preschool

# Introduction

À l'instar du langage écrit, les acquisitions scolaires en mathématiques s'enracinent dans des compétences primaires formant le socle des acquisitions ultérieures. Les processus de traitement numérique se développent de façon très progressive et parfois laborieuse tout au long de la petite enfance. C'est vers l'âge de deux ans que l'enfant commence à réciter correctement la chaîne numérique verbale. Il énonce celle-ci comme une routine (Fuson et al., 1982). Ensuite, grâce à l'expérience, le comptage de l'enfant évolue progressivement, tant au niveau de l'utilisation de la chaîne numérique qu'au niveau de la compréhension de la cardinalité. La capacité de l'enfant à comprendre la signification cardinale des noms de nombre est un processus qui prend plus d'un an à se consolider (Carey, 2009; Sarnecka & Lee, 2009; Wynn, 1992). Ce lent développement constitue une étape clé permettant à l'enfant d'entrer dans les mathématiques. C'est en effet ce qui lui permet de donner du sens aux symboles numériques qui sont ensuite impliqués dans tous les apprentissages ultérieurs. S'il ne comprend pas la signification des symboles, l'enfant est obligé de passer par du matériel concret pour calculer (Brissiaud, 2005).

Ces dernières années, les recherches menées ont permis de montrer que certaines compétences qui se développent durant la période préscolaire prédisent les compétences mathématiques ultérieures (Duncan et al., 2007; Pagani et al., 2010; Watts et al., 2014). Plus spécifiquement, sur le plan numérique, la maîtrise du comptage (Aunio & Niemivirta, 2010; Aunola et al., 2004; Nguyen et al., 2016; Xenidou-Dervou et al., 2018), le dénombrement (Stock et al., 2009), la comparaison des magnitudes non symboliques (Malone et al., 2019; Mazzocco et al., 2011; Xenidou-Dervou et al., 2017; Xenidou-Dervou et al., 2018) et symbolique (Hawes et al., 2018; Sasanguie et al., 2012; Xenidou-Dervou et al., 2017) ou encore la capacité à utiliser ses doigts ont été identifiés comme des précurseurs des apprentissages mathématiques qui prendront cours lors de la scolarité primaire (Asakawa & Sugimura, 2014; Fayol et al., 1998; Marinthe et al., 1999; Noël, 2005).

Ces recherches montrent que dès la maternelle, les différences inter-individuelles observées au niveau de ces compétences précoces sont prédictives des écarts et donc des difficultés d'apprentissage qui peuvent survenir plus tard au cours de la scolarité primaire (Jordan et al., 2007; Sasanguie et al., 2012). À ce titre, les faiblesses observées au niveau des précurseurs aux apprentissages constituent de véritables facteurs de risque pouvant faire l'objet d'intervention précoce. Les interventions précoces ont pour vocation de réduire les différences interindividuelles et l'écart entre les capacités réelles et celles attendues compte tenu de l'âge de l'enfant (Dowker, 2005; Mazzocco & Thompson, 2005; Morgan et al., 2016a, 2016b; Vellutino & Scanlon, 2002).

Dans le champ des mathématiques, les recherches menées sur l'efficacité des interventions précoces sont encore très peu nombreuses (O'Rear & McNeil, 2019). Plusieurs auteurs recommandent pourtant la mise en place de programme d'intervention chez les enfants d'âge préscolaire afin de leur permettre de renforcer les prérequis aux apprentissages formels proposés au cours de la scolarité primaire (Berlin et al., 1998; Bojorque et al., 2018; Han & Neuharth-Pritchett, 2021; Lehl et al., 2016; Lehl et al., 2017; Rasanen et al., 2009; Silva et al., 2017; Starkey et al., 2004). Les interventions précoces visant les fragilités individuelles ont été identifiées comme le moyen le plus efficace de développer les capacités d'apprentissage, de réduire les inégalités et la prévalence des troubles d'apprentissage (Griffin, 2007; Starkey et al.,

2004; Vellutino & Scanlon, 2002). Quelques études ont ainsi démontré le bénéfice de l'entraînement d'un ensemble d'habiletés numériques précoces (notamment, dénombrement et cardinalité, numération, arithmétiques simples et la résolution de problème) sur les compétences mathématiques chez les enfants âgés de 4 ans (O'Rear & McNeil, 2019; Paliwal & Baroody, 2018; Ramani & Siegler, 2008, 2011; Starkey et al., 2004) et 5 ans (Dyson et al., 2013; Praet & Desoete, 2014; Sella et al., 2016; Wilson et al., 2009).

De nombreuses études suggèrent que les doigts pourraient jouer un rôle particulier dans l'élaboration des représentations numériques. Paradoxalement, les théories actuellement soutenues en sciences de l'éducation prônent l'abandon précoce de l'utilisation des doigts (Moeller et al., 2011). Ceux-ci constitueraient pourtant un outil particulièrement efficace pour soulager la mémoire de travail dans le calcul (Noël, 2009; Siegler & Shrager, 1984) représenter et comprendre les quantités numériques ainsi que les relations entre les nombres lors des opérations arithmétiques (Crollen et al., 2011; Jordan et al., 2008). Certains auteurs considèrent même les doigts comme un outil nécessaire à la compréhension des propriétés cardinales et ordinales des symboles numériques (Andres et al., 2008; Fayol & Seron, 2005). C'est dans cette perspective que Roesch and Moeller (2015) ont récemment proposé un modèle développemental tentant d'expliquer la contribution des doigts à différentes étapes du développement des compétences numériques et arithmétiques. Dans les premières étapes, les auteurs soulignent l'implication des doigts dans le développement de la procédure de dénombrement. Les doigts soutiendraient le développement du principe de correspondance terme-à terme et la compréhension de l'ordinalité, et ce, en levant les doigts systématiquement dans un ordre donné. Dans un second temps, l'utilisation des doigts comme représentation iconique aiderait l'enfant à comprendre la signification cardinale des nombres (les mots-nombres représentent la quantité de collections). Enfin, une fois que l'enfant maîtrise la signification cardinale des mots-nombres, l'enfant utilise ses doigts pour réaliser les premières opérations arithmétiques.

Plusieurs données soutiennent le modèle développemental proposé par Roesch et Moeller (2015) concernant le rôle des doigts dans les premières activités de comptage (Lafay et al., 2013). De nombreuses données témoignent également de l'implication des doigts dans le développement des capacités de calcul (Crollen & Noël, 2015; Crollen et al., 2014; Domahs et al., 2008; Noël, 2005; Reeve & Humberstone, 2011). En revanche, le rôle joué par les doigts dans le développement de la compréhension cardinale des nombres est plus controversé (Gunderson et al., 2015; Nicoladis et al., 2010).

L'objectif de cette étude est de tester l'efficacité d'une intervention sur le développement des compétences numériques précoces. Cette question a été examinée au travers d'une étude d'entraînement basée sur une utilisation active des doigts comme support à l'élaboration des connaissances cardinales durant la période préscolaire. À cet effet, un dispositif d'intervention pédagogique basé sur l'utilisation active des doigts (motricité fine et représentation des nombres à l'aide des doigts) a été implémenté au sein même des classes de 2<sup>e</sup> maternelle afin de stimuler le développement des compétences cardinales au travers d'activité de comptage, de dénombrement et de compréhension de la cardinalité verbale et digitale. Une tâche arithmétique avec support imagé a été proposée afin d'évaluer l'effet de l'intervention sur des compétences non travaillées. La spécificité de ce programme d'entraînement a été examinée en comparaison avec deux autres dispositifs d'intervention pédagogique, l'un centré sur les activités de lecture partagée, l'autre sur le développement de la motricité globale. L'intervention en

lecture partagée a été proposée afin de contrôler l'effet des interventions menées en classe sur le développement de fonctions cognitives générales nécessaires à la réalisation d'activités académiques telles que les fonctions attentionnelles ou mnésiques. Enfin, l'intervention ciblant la motricité globale a été proposée afin de contrôler la spécificité des interventions ciblant les capacités motrices des enfants.

Si les doigts participent au développement des compétences numériques précoces, alors un entraînement basé sur l'utilisation des doigts devrait se traduire par des progrès dans les tâches qui évaluent le niveau de développement cardinal de l'enfant (par exemple dans la tâche Donne-moi (Wynn, 1990, 1992). En outre, étant donné que les compétences visées par l'entraînement sont identifiées comme des précurseurs au développement arithmétique, les effets positifs de l'intervention devraient se généraliser aux compétences pré-arithmétiques, non travaillées au cours de l'entraînement. Ces effets devraient être observés spécifiquement dans le groupe qui a suivi un entraînement numérique et non dans les deux autres groupes.

## Méthodologie

Trois interventions précoces ont été menées simultanément auprès de 3 groupes d'enfants différents : une intervention Doigts et Nombres axée sur les précurseurs aux mathématiques, une intervention Lecture Partagée axée sur les prérequis au langage écrit et une intervention axée sur la Motricité. Les compétences ciblées par les trois interventions ont fait l'objet de mesures prises avant et après l'intervention.

## I-Participants

Les participants ont été recrutés au sein de 6 classes de 2e maternelle, appartenant à 2 écoles francophones (3 classes dans chaque établissement) situées à Liège, Belgique. Au sein de chaque école, chaque classe s'est vue aléatoirement assignée à l'une des trois interventions spécifiques. L'étude, qui s'est inscrite dans le projet d'école, a permis la participation de l'ensemble des élèves de chacune des classes aux activités proposées durant les interventions. Cependant, seuls les enfants pour lesquels les parents avaient remis le formulaire de consentement libre et éclairé signé ont été inclus dans l'échantillon final. Ce projet a reçu l'accord du comité d'éthique de la Faculté de Psychologie, Logopédie et Sciences de l'Éducation (FPLSE) de l'Université de Liège.

Le niveau socio-économique a été évalué en fonction de la profession actuelle des parents et en tenant compte de la Classification Internationale des Types de Professions (CITP; Organisation Internationale du Travail, 2008). Lorsque l'information était connue pour les deux parents, c'est le niveau professionnel le plus élevé qui a été retenu; dans le cas contraire, seule la profession connue a été prise en compte. La langue maternelle a également été relevée et les enfants classés en deux catégories suivant que la langue française soit la langue parlée ou non à la maison.

Au total, 85 enfants âgés de 48 à 60 mois ( $M=50.90$ ,  $SD=3.52$ ) ont participé aux différents programmes soit 27 enfants à l'intervention expérimentale Doigts et Nombres (Groupe N), 29 enfants à l'intervention Lecture Partagée (Groupe L) et 29 enfants à l'intervention Motricité globale (Groupe M). Ces trois groupes

d'intervention sont homogènes puisque les analyses de variances (ANOVA) réalisées ne font état d'aucune différence significative entre ces groupes ni pour ce qui est de l'âge ( $F [2,82]=1,41$ , ns) ni pour ce qui est de l'intelligence fluide ( $F [2,82]=.06$ , ns) alors mesurée à l'état initial par la tâche des Matrices issue de la WIPPSI III (Wechsler, 2004). Par ailleurs, les groupes ne présentent pas de différence ni en termes de niveaux socio-économiques ( $\chi^2=19,34$ , ns) ni dans la répartition des enfants dont le français n'est pas la langue maternelle ( $\chi^2=.75$ , ns).

**Table 1. Tableau récapitulatif reprenant les caractéristiques des participants répartis en trois groupes d'intervention.**

	Groupe N n= 27	Groupe L n=29	Groupe M n=29	Effet de groupe	
	M. (SD)	M. (SD)	M. (SD)		
Âge (mois)	51.67 (3.84)	50.14 (3.77)	51.21 (2.84)	$F (2,82)= 1.41$	ns
Matrices	7.96 (3.83)	7.59 (3.98)	7.75 (4.18)	$F (2,82)= .06$	ns
NSE	/	/	/	$\chi^2= 19.34$	Ns
Langue maternelle	19F/8NF	22F/7NF	19F/10NF	$\chi^2= .75$	Ns

Note. NSE = Niveau Socio-Economique. F= enfants dont la langue maternelle est le Français, NF = enfants dont la langue maternelle n'est pas le Français. ns = non significatif.

## II-Procédure

Les interventions pédagogiques ont été données en parallèle pendant dix semaines, trente minutes par jour, cinq fois par semaine. Les interventions Doigts et Nombre et Lecture partagée se déroulaient en classe et en collaboration avec les enseignants. L'intervention axée sur la motricité de globale se déroulait quant à elle dans la salle de sport ou dans la cour de récréation.

Avant et après la période d'intervention, les enfants participants ont été testés individuellement au sein de l'école au cours de deux séances de 30 minutes. Les évaluations ont été réalisées en aveugle par des évaluateurs externes qui ignoraient la nature de l'intervention suivie par chaque enfant.

## III-Interventions

Les programmes d'entraînement ont été conçus de façon à respecter les recommandations récentes visant à maximiser les effets des interventions précoces à savoir minimum 120 à 150 minutes/semaine, au sein de l'environnement d'apprentissage de l'enfant, avec des activités individuelles et enfin, le recours à des évaluations réalisées par des chercheurs (Wang et al., 2016). En outre, en conformité avec les recommandations des mêmes auteurs, les interventions Doigts et Nombre et Lecture partagée suivaient une structure répétitive afin d'installer une routine quotidienne.

## **A- Intervention Doigts et Nombres.**

Tout au long de l'intervention, les numérosités de un à dix ont été progressivement travaillées de façon croissante. Une nouvelle numérosité était découverte le lundi et travaillée le reste de la semaine conjointement à la numérosité précédente. La structure des séances était organisée comme suit : les séances débutaient par un temps collectif de 10 minutes au cours duquel les notions travaillées étaient rappelées et les nouveaux ateliers exposés au groupe. Deux groupes de tailles égales étaient ensuite constitués pour travailler huit à dix minutes en atelier sous la supervision d'un adulte. Le dernier jour de la semaine était consacré à des ateliers tournants de 10 minutes reprenant trois activités réalisées au cours de la semaine. Tel que préconisé par Wilson et al. (2009), des mesures étaient prises afin de déterminer si la numérosité travaillée durant la semaine avait été acquise. Ce critère était considéré comme étant atteint si 80 % des enfants étaient capables de donner sur commande la numérosité cible ( $n$ ) représentée par une configuration de doigts. Dans ce cas, le programme était poursuivi la semaine suivant en travaillant la numérosité  $n+1$ .

Au total, 123 activités ont été proposées aux enfants tout au long du programme, lesquelles peuvent être réparties en deux catégories : les activités numériques (63 %) et les activités digitales (37 %). Les activités numériques visaient à développer les apprentissages nécessaires à l'acquisition des habiletés numériques précoces (e.g., compréhension de la cardinalité et de ses prérequis) tandis que les activités digitales visaient à développer les habiletés perceptives et motrices nécessaires à l'utilisation des doigts dans les activités numériques (gnosies digitales, dissociation et la coordination des doigts).

Les activités numériques poursuivaient quatre objectifs différents à savoir : réciter la chaîne numérique verbale en correspondance avec les doigts (3 %, Figure 1a), reproduire les configurations de doigts représentant des nombres (22 %, Figure 1 b), dénombrer les éléments d'une collection en respectant le principe de correspondance terme à terme et en donnant une réponse cardinale soit verbale soit digitale selon les cas (36 %, Figure 1c), produire sur demande une collection d'éléments correspondant à une configuration de doigts (39 %, Figure 1 d).



1 a.

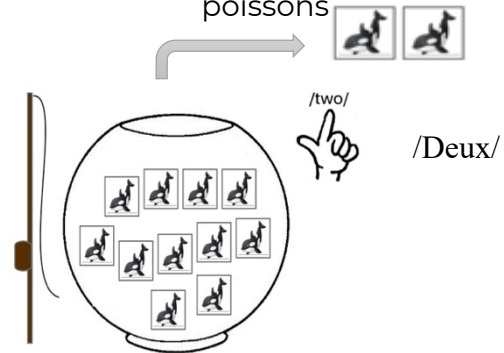
« Comptons ensemble »

/Un/ /Deux/ /Trois/



1 b.

« Dans mon bocal, j'ai pêché ces poissons, peux-tu me dire et me montrer combien j'ai pêché de poissons »



1 c.

« Peux-tu me dire/me montrer combien il y a de pingouins en tout ? »



/Un/, /Deux/, /Trois/,  
/Quatre/, /Il y en a  
quatre/

1 d.

« Ajoute le même nombre de pics au porc-épic que le nombre de doigts levés sur cette image »

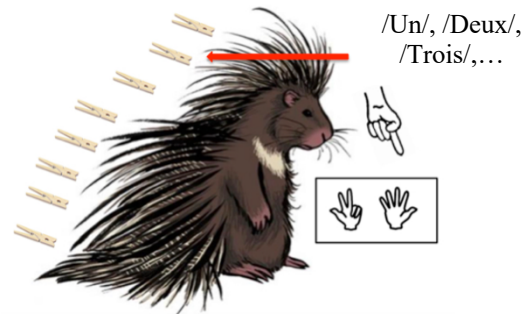
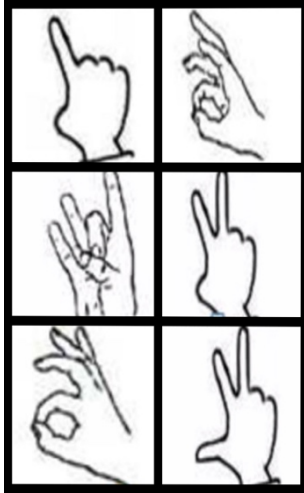


Figure 1. Exemple d'activités numériques réalisées avec les enfants lors de l'intervention Doigts et Nombres.

Les activités digitales (Voir Figure 2 pour des exemples) visaient à développer soit la capacité à dissocier ses doigts en reproduisant des configurations montrées par l'expérimentateur (80 %, Figure 2a) soit la capacité à les mobiliser de façon coordonnée (20 %, Figure 2 b), en s'inspirant de la méthodologie de Gracia-Bafalluy and Noel (2008). À titre d'exemple, nous avons appris aux enfants à enfiler des bagues de couleurs en suivant un ordre précis. Ces derniers devaient, par la suite, parcourir un chemin en touchant chaque point de couleur avec le doigt correspondant (le doigt entouré de la bague rouge devait toucher le point rouge, le doigt entouré de la bague jaune devait toucher le point jaune).

2a.

«Peux-tu placer tes doigts comme ceci ? Regarde comment je fais.»



2 b.

«Parcours ce chemin en utilisant le doigt de la bonne couleur. Par exemple, le pouce avec la bague rouge sur le point rouge, etc.»

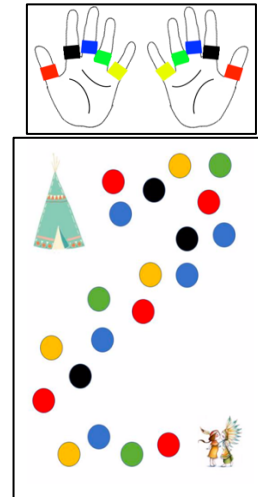


Figure 2. Exemples d'activités digitales réalisées avec les enfants lors de l'intervention Doigts et Nombres

### **B- Intervention Lecture Partagée.**

Il a été montré que les interventions en lecture partagée qui mettent l'accent sur les signes propres à l'écrit (e.g. lettre, ponctuation), le vocabulaire, ou la structure phonologique des mots (Ezell & Justice, 2005), améliore significativement la connaissance des graphèmes, stimule le développement de la conscience phonologique (Lefebvre et al., 2011) et enrichit le lexique (Pollard-Durodola et al., 2011), ce qui influence positivement leurs habiletés ultérieures en lecture. Des activités de lecture partagée enrichie s'inspirant de la méthodologie de Lefebvre et al. (2011) ont été menées par une orthophoniste. Chaque séance, l'intervenant raconte une histoire et interrompt la narration à 10 occasions pour incorporer des stratégies variées ciblant soit les compétences narratives (encourager l'enfant à faire des inférences sur les sentiments des personnages, résoudre des problèmes ou faire des prédictions pour la suite de la lecture), l'apprentissage du vocabulaire (fournir une définition ou un synonyme), la conscience de l'écrit (faire découvrir le titre du livre, sens de la lecture...) ou encore la conscience phonologique (manipuler des phonèmes d'un mot). Un livre était ainsi découvert chaque lundi et lu aux enfants chaque jour de la semaine. Au cours de cette lecture, l'intervenant réalisait des interruptions régulières afin de travailler les prérequis à la lecture tels que le vocabulaire, la conscience phonologique ou encore la découverte de stratégies de lecture (e.g., il est nécessaire de commencer à lire par la première ligne qui se situe sur la gauche). Au total, dix livres différents ont été travaillés au cours de l'ensemble du programme.

## **C- Intervention Motricité Globale.**

Cette intervention consistait à développer les compétences motrices globales des enfants au moyen de jeux collectifs (jeux de balles, courses, etc.) et de parcours individuels (parcours d'équilibre) sollicitant la motricité globale. Aucune des activités proposées dans le cadre du programme n'impliquait la motricité fine. Une à deux fois par semaine, un circuit installé dans la salle de psychomotricité de l'école était proposé aux enfants afin qu'ils puissent apprendre à réaliser des roulades ou à monter sur des espaliers.

## **IV-Mesures pré-post intervention.**

Les mesures pré-post intervention incluent (1) une évaluation des compétences numériques verbales et digitales (2) une évaluation des prérequis à la lecture (une tâche évaluant la connaissance des lettres, une tâche évaluant la conscience de l'écrit, des tâches évaluant le vocabulaire et la syntaxe, des tâches évaluant la conscience phonologique), (3) une évaluation collective de la motricité globale et des compétences visuo-spatiales (sauts, équilibre, roulades, lancers de balles observés durant le cours de gym et exercices évaluant le vocabulaire visuo-spatial et les capacités visuo-motrices des enfants à l'aide un carnet en classe). Seule l'évaluation des compétences numériques est détaillée dans le cadre de cette étude. Elle comporte une récitation de la chaîne numérique verbale, une tâche de dénombrement, une tâche évaluant la maîtrise de la cardinalité, et une tâche de fluences arithmétiques en image.

Pour éviter l'influence des tâches entre elles, l'ordre des tâches (évaluant les capacités numériques et les capacités en lecture) a été contrebalancé afin de limiter la présentation successive de tâches appartenant au même domaine d'apprentissage.

### **A- Récitation de la chaîne numérique verbale**

Cette tâche a pour objectif d'évaluer la connaissance de la séquence de comptage. Ainsi, il est demandé à l'enfant : « *Peux-tu compter le plus loin possible ?* ». La tâche est réalisée à deux reprises ce qui permet d'évaluer la partie stable et conventionnelle de cette comptine décrite par Fuson, Richards et Briars en 1982 (cités par Gould, 2016). Cette partie est déterminée par l'ensemble des mots-nombres récités en respectant l'ordre conventionnel à deux reprises.

### **B- Dénombrement**

Cette tâche a pour but d'examiner la maîtrise de la procédure de dénombrement ainsi que l'acquisition du principe de cardinalité (réponse cardinale). Dans cette tâche inspirée de la méthodologie de Wynn (1990), quatre planches présentant successivement 5, 6, 8 ou 9 dessins (e.g., vélos, ballon, ours en peluche...) disposés linéairement sont présentées à l'enfant. L'expérimentateur demande « *Peux-tu me dire combien y a-t-il de... ?* ». Dans le cas où l'enfant ne donne pas d'emblée de réponse cardinale, l'examineur répète la consigne en demandant à l'enfant : « *Compte et dis-moi combien il y a de... ?* ». Si l'enfant ne parvient toujours pas à donner une réponse cardinale, il lui demande « *Cela fait combien en tout ?* » une fois le dénombrement réalisé. Deux scores ont été calculés évaluant respectivement la

capacité de l'enfant à exécuter la procédure de dénombrement en respectant la correspondance terme-à-terme entre la récitation de la chaîne numérique verbale et le pointage (1 point par réponse correcte) et sa capacité à donner une réponse cardinale (1 point par réponse correcte).

### **C- Tâche Donne-moi**

Cette tâche a pour but d'examiner les compétences cardinales de l'enfant en production. Deux modalités d'entrée ont été contrastées : l'une verbale, l'autre digitale suivant la méthodologie de Nicoladis et al. (2010). De manière générale, l'évaluateur donne à l'enfant une collection de 15 jetons et lui demande : « *Voici des jetons, peux-tu m'en donner  $n$  ?* ». En modalité verbale, le cardinal de la collection sera demandé oralement à l'enfant alors qu'en modalité digitale le cardinal demandé est présenté visuellement par une configuration de doigts. Si l'enfant parvient à donner la numérosité  $n$  demandée, l'évaluateur demande à l'enfant de donner la numérosité  $n+1$  à l'essai suivant, jusqu'à la numérosité 10. Si l'enfant ne parvient pas à donner la numérosité, c'est la numérosité  $n-1$  qui est demandée à l'essai suivant. L'enfant bénéficie de trois essais maximum pour chaque numérosité évaluée. La tâche prend fin lorsqu'il échoue deux fois pour une même numérosité ou lorsque l'enfant atteint le maximum (10). Une erreur de dénombrement est tolérée pour chaque essai : dans le cas où l'enfant utilise le dénombrement pour donner sa réponse, celle-ci est considérée comme correcte si l'enfant donne  $n \pm 1$  pour autant que l'erreur proviennent d'une erreur de dénombrement. Le niveau de développement cardinal de l'enfant est déterminé comme la plus grande numérosité pour laquelle l'enfant a réalisé correctement au moins deux essais sur les trois.

### **D- Fluences arithmétiques imagées.**

Inspirée de la méthodologie de Noël (2009) cette tâche comporte dix problèmes additifs à deux termes identiques (i.e.,  $1 + 1$ ,  $2 + 2$ ,  $3 + 3$ ,  $4 + 4$ ,  $5 + 5$ ) ou différents (i.e.,  $2 + 1$ ,  $3 + 2$ ,  $4 + 3$ ,  $5 + 4$ ,  $6 + 5$ ). Seul le dernier item implique un passage à la dizaine. Les calculs sont présentés sous forme de problèmes verbaux. Chaque problème comporte une partie imagée, qui représente le premier terme du problème et une partie non imagée correspondant au second terme. Des jetons sont à la disposition de l'enfant afin qu'il puisse représenter ce second terme. La tâche est expliquée à l'enfant de la façon suivante : « *Je vais te poser des questions et tu vas essayer de répondre le plus vite possible, car tu n'as pas beaucoup de temps. Le but du jeu est d'essayer de me donner le plus possible de bonnes réponses, d'accord ? Tu peux utiliser des jetons qui sont ici si ça peut t'aider. Tu es prêt ?* ». L'expérimentateur énonce oralement le premier problème : « *Regarde, ici, il y a un papillon dans le ciel, si un autre papillon vient voler avec lui, combien de papillons y aura-t-il en tout* » (problème  $1 + 1$ ). Un chronomètre est déclenché à la fin de la lecture du premier item. L'enfant dispose de 150 secondes pour résoudre le plus de problèmes possible. Dans le cas où il ne parvient pas à résoudre le premier item, l'expérimentateur donne la réponse attendue en utilisant un papillon supplémentaire pour représenter le second terme, mais n'accorde pas le point. Les autres items sont alors présentés un par un par ordre de complexité croissante :  $2 + 2$ ,  $2 + 1$ ,  $3 + 3$ ,  $3 + 2$ ,  $4 + 3$ ,  $4 + 4$ ,  $5 + 5$ ,  $5 + 4$ ,  $6 + 5$ . Si l'enfant reste bloqué plus de 20 secondes à un item, l'item suivant est présenté. La partie non imagée du problème est répétée si nécessaire. Un point est crédité

pour chaque réponse correcte. La note finale correspond au nombre total d'items réussis dans le temps imparti.

## Résultats

Des erreurs de passation ont été relevées lors de l'administration des tâches Donne-moi en pré- et post-tests, ce qui a dû mener à l'exclusion de certains sujets pour cette tâche spécifiquement. En outre, la condition de normalité nécessaire à la réalisation d'analyse de variance n'était pas respectée pour certaines variables. Par conséquent, les analyses descriptives ont été complétées par des analyses statistiques non-paramétriques permettant d'analyser les effets de groupes au post-test ainsi que les différences entre pré- et post-test. Les moyennes et les écarts-types en pré- et en post-test de chaque groupe ainsi que le nombre de sujets sont repris pour chaque tâche dans la Table 2.

**Table 2. Statistiques descriptives présentant les moyennes et les écarts-types (partie supérieure du tableau) et les rangs (partie inférieure du tableau) des scores obtenus dans chaque tâche par groupe au pré- test (T1) et au post-test (T2).**

		Groupe N			Groupe L			Groupe M		
		N	T1	T2	N	T1	T2	N	T1	T2
Moyennes (écart-types)	Litanie	8	4.5 (3.5)	14.8 (4.5)	18	2.7 (2.5)	10.8(5.7 )	17	4.8 (2.9)	9.8 (5.1)
	Dénombrement									
	Procédure	27	2.8 (1.4)	3.4 (1.2)	29	2.4 (1.8)	3.1 (1.3)	29	2.2 (1.5)	3.4 (1.4)
	Réponse Cardinale	27	2.6 (1.6)	3.8 (0.5)	29	1. (1.8)	3.1 (1.3)	29	1.79 (1.6)	2.9 (1.5)
	Donne moi									
	Verbal	23	4.7 (2.8)	8.0 (2.8)	21	3.4 (2.2)	6.3 (2.9)	22	4.5 (3.0)	6.6 (3.0)
	Digital	23	5.5 (2.8)	8.8 (2.4)	20	4.5 (2.8)	5.8 (2.7)	14	3.4 (1.4)	5.6 (2.7)
Fluences arithmétiques	27	2.3 (1.8)	4.6 (2.8)	29	2.3 (1.9)	3.1 (1.8)	29	2.5 (1.8)	3.2 (2.3)	
Rangs moyens	Litanie	8	24	30.8	18	17.3	20.5	17	26.0	19.4
	Dénombrement									
	Procédure	27	47.5	46.5	29	43.3	38.6	29	38.5	44.2
	Réponse Cardinale	27	49.8	51.4	29	41.1	39.1	29	38.5	39.1
	Donne moi									
	Verbal	23	37.6	40.5	21	27.6	27.9	22	34.9	33.1
	Digital	23	34.7	40.2	20	24.5	23.0	14	24.2	21.8
Fluences arithmétiques	27	42.6	52.5	29	41.3	38.5	29	45.1	38.7	

## I-Effet de groupe au pré-test

Avant de tester l'efficacité de l'intervention, les groupes ont été comparés en pré-test au sein de chaque tâche afin de s'assurer qu'aucune différence n'était observée avant les interventions. Les tests de Kruskal-Wallis réalisés pour comparer les résultats de chaque groupe en pré-test n'ont montré aucune différence significative (Voir Table 3). À noter la présence d'une différence marginalement significative dans la tâche Donne-Moi en modalité digitale.

**Table 3. Statistiques de Kruskal-Wallis comparant les performances des groupes au pré- test (T1) et au post-test (T2)**

	Pré-test		Post-test	
	Kruskal-Wallis	P-valeur	Kruskal-Wallis	P-valeur
Litanie	$\chi^2_r = 4.52$	$p = .10$	$\chi^2_r = 4.94$	$p = .08$
Dénombrement				
Procédure	$\chi^2_r = 2.03$	$p = .36$	$\chi^2_r = 2.19$	$p = .33$
Réponse cardinale	$\chi^2_r = 3.39$	$p = .18$	$\chi^2_r = 6.36$	$p = .04$
Donne-moi				
Modalité verbale	$\chi^2_r = 3.30$	$p = .19$	$\chi^2_r = 5.41$	$p = .07$
Modalité digitale	$\chi^2_r = 5.75$	$p = .06$	$\chi^2_r = 16.45$	$p < .001$
Fluences arithmétiques	$\chi^2_r = .37$	$p = .83$	$\chi^2_r = 6.03$	$p = .05$

## II-Effet de groupe au post-test

Des tests de Kruskal-Wallis ont été réalisés afin d'analyser les différences de groupe au moment du post-test. Comme le montre le Tableau 3, les analyses confirment la présence de différences significatives entre les groupes dans les tâches de dénombrement évaluant les réponses cardinales données par les enfants, dans la tâche Donne-moi en modalité digitale et dans la tâche de fluences imagées. En revanche, les performances ne diffèrent pas significativement entre les groupes dans les tâches de litanie, de dénombrement évaluant la connaissance de la procédure et dans la tâche Donne-moi en modalité verbale.

Dans la tâche de dénombrement évaluant les réponses cardinales données, les comparaisons deux à deux permettent d'observer une différence significative entre le groupe N et le groupe L ( $U = 273.0$ ,  $p = .02$ ), entre le groupe N et le groupe M ( $U = 500.5$ ,  $p = .03$ ), mais pas entre le groupe L et M ( $U = 424.5$ ,  $p = .95$ ). Le même pattern de différences de groupe est observé dans la tâche Donne-moi en modalité digitale. Les comparaisons deux à deux montrent une différence significative entre le groupe N et le groupe L ( $U = 93.0$ ,  $p < .001$ ), entre le groupe N et le groupe M ( $U = 282.5$ ,  $p < .001$ ), mais pas entre le groupe L et M ( $U = 156.0$ ,  $p = .85$ ). Enfin, dans la tâche de fluences arithmétiques imagées, les analyses de comparaison des groupes deux à deux permettent d'observer une différence significative entre le groupe N et le groupe L ( $U = 256.0$ ,  $p = .03$ ), entre le groupe N et le groupe M ( $U = 513.5$ ,  $p = .04$ ), mais pas entre le groupe L et P ( $U = 424.0$ ,  $p = .96$ ). En résumé, ces résultats montrent que dans ces 3 tâches le groupe N montre des performances supérieures aux deux autres groupes après intervention.

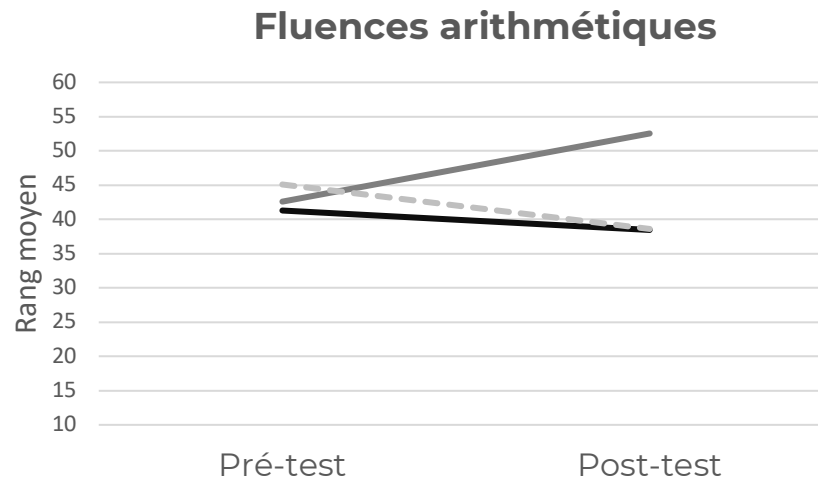
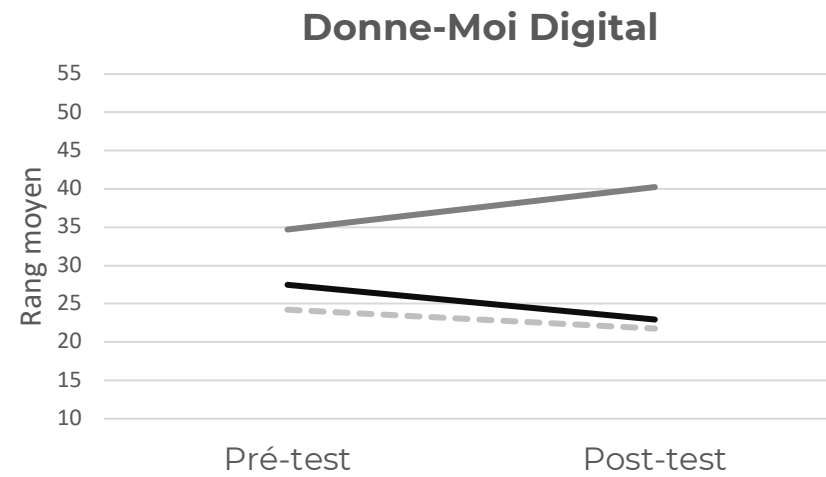
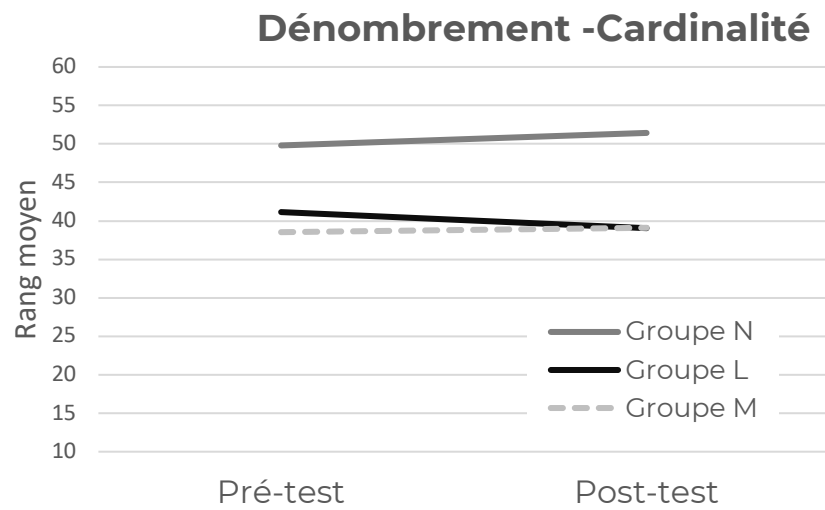


Figure 4. Taux de réponses correctes des groupes N, L, M en pré-test (T1) et en post-test (T2) dans les tâches évaluant la production de réponse cardinale dans la tâche de dénombrement, la connaissance de la cardinalité sur les doigts (Donne-moi digital) et les fluences arithmétiques.

### III-Effet de groupe sur la progression

Afin de mieux contrôler les différences inter-individuelles pré-existantes à l'intervention, une variable *Progression* correspondant à la différence entre les résultats obtenus au pré-test et au post-test (T2-T1) a été calculée pour chaque participant. Des analyses non-paramétriques de Kruskal-Wallis ont été réalisées pour mettre en évidence des différences entre les groupes en termes de progression au sein de chaque tâche. Ces analyses montrent des différences significatives entre les groupes dans la tâche de fluences arithmétiques imagées ( $\chi^2_r = 7.43$ ,  $p = .02$ , Rangs moyens : Groupe N = 53.4, Groupe L = 39.8, Groupe M = 36.6]. Par contre, aucune différence significative n'a été observée entre les progressions des différents groupes dans les tâches de litanie ( $\chi^2_r = 5.59$ ,  $p = .06$ ), dans de dénombrement (connaissance de la procédure :  $\chi^2_r = 2.04$ ,  $p = .36$ ; réponse cardinale :  $\chi^2_r = .07$ ,  $p = .96$ ) et Donne-moi (modalité verbale :  $\chi^2_r = 2.38$ ,  $p = .30$ ; modalité digitale :  $\chi^2_r = 4.32$ ,  $p = .11$ ). Des analyses de Mann-Whitney comparant les groupes deux à deux dans la tâche de fluences arithmétiques imagées permettent d'observer une différence significative entre le groupe N et le groupe L ( $U = 260.5$ ,  $p = .03$ ), entre le groupe N et le groupe M ( $U = 540.5$ ,  $p = .01$ ), mais pas entre le groupe L et M ( $U = 458.0$ ,  $p = .56$ ), ce qui confirme une progression significativement supérieure du groupe N par rapport aux deux autres dans cette tâche (voir Figure 3)

**Table 4. Rangs moyens de la variable progression (T2-T1) par groupe et par tâche**

	Groupe N		Groupe L		Groupe M	
	N	Rang	N	Rang	N	Rang
Litanie	8	28.4	18	24.1	17	16.8
Dénombrement						
Procédure	27	39.7	29	41.0	29	48.1
Réponse Cardinale	27	42.7	29	42.3	29	44.0
Donne moi						
Verbal	23	36.8	21	35.11	22	28.5
Digital	23	34.4	20	23.9	14	29.5
Fluences arithmétiques	27	53.4	29	39.8	29	36.6



## Discussion

L'objectif de cette étude est de tester l'efficacité d'une intervention exploitant le support des doigts sur le développement des compétences numériques précoces. À cet effet, une intervention intensive, d'une durée de dix semaines, ciblant le développement des compétences cardinales précoces et de motricité fine a été menée dans le cadre scolaire de jeunes enfants de 4 ans, scolarisés en deuxième maternelle (Moyenne section maternelle). Cette intervention a été comparée à deux autres interventions actives visant d'autres compétences précoces afin d'évaluer la spécificité de l'intervention numérique. La comparaison des mesures effectuées avant et après intervention devait permettre de répondre à deux grandes questions : celle, spécifique, de l'efficacité de l'intervention quant au développement des compétences cardinales, et celle, plus générale, du transfert des effets à des compétences non ciblées par l'intervention, à savoir, les compétences pré-arithmétiques.

En réponse à la première question, les analyses mettent en évidence des différences entre les groupes après intervention au niveau de la compréhension de la cardinalité dans les tâches de dénombrement et Donne-moi sur entrée digitale. Dans ces deux tâches, c'est le groupe N qui présente des performances significativement supérieures aux deux autres groupes après intervention. En revanche, aucune de ces deux tâches ne montre d'effet significatif du groupe sur la variable progression, qui tient mieux compte du niveau initial de l'enfant. En outre, au terme de l'intervention, les performances dans la tâche de litanie, la procédure de dénombrement et la compréhension de la cardinalité sur entrée verbale ne sont pas influencées par la nature de l'intervention suivie.

De prime abord, l'intervention proposée dans cette étude semble donc avoir un effet limité sur le développement des compétences cardinales ciblées chez les jeunes enfants. L'émergence de différences de groupe significatives en faveur du groupe N au post-test suggère une amélioration des compétences directement ciblées par l'intervention, en l'occurrence une meilleure compréhension de la cardinalité dans les tâches de dénombrement et de reconnaissance sur les doigts. Mais ces effets s'atténuent si l'on tient compte du niveau initial des enfants.

Ces résultats mitigés questionnent l'efficacité de l'intervention quant au développement des compétences cardinales des enfants. Toutefois, si les effets restent faibles, il faut noter qu'au moins deux facteurs peuvent avoir occulté partiellement les effets de l'intervention numérique proposée. Premièrement, une méta-analyse récente montre que dans les interventions, l'inclusion de groupes contrôles passifs augmente singulièrement la taille de l'effet de groupe en comparaison à des groupes contrôles actifs (Noble et al., 2019). Dans cet essai, conformément aux recommandations faites par les auteurs, le groupe cible est comparé à deux groupes contrôles actifs dans l'étude présente. Ce type de contrôle plus poussé permet de mieux contrôler les variables non spécifiques aux interventions, en particulier les facteurs cognitifs généraux. Cette différence méthodologique se traduit par des effets plus petits comme cela a été observé ici et conformément à ce qui déjà été rapporté dans d'autres études interventionnelles avec des groupes contrôles actifs.

Deuxièmement, un grand nombre de paramètres liés à des situations d'apprentissage qui ont lieu hors du contexte de l'intervention restent totalement non contrôlables dans le cadre de cette étude. Les enfants sont testés à un âge où, en classe et dans les activités numériques de la vie quotidienne à la maison, ils reçoivent une grande quantité de stimulations numériques d'ordre cardinal de façon plus ou moins explicite. Dans le cas présent, les institutrices ont naturellement continué de dispenser les enseignements prévus en dehors des périodes d'intervention de façon à ne pas interférer avec les apprentissages des enfants dans le respect des principes éthiques en vigueur. De nombreuses activités en maternelle prévoient d'aborder la valeur cardinale des mots nombres au cœur de situations concrètes et variées (calendrier, distribution des collations, du matériel, activités de dénombrement, de récitation, etc.). À cet égard, il est assez remarquable que ce soit précisément les activités les plus fréquemment administrées en classe qui montrent une évolution similaire dans les trois groupes, à savoir, la litanie, la procédure de dénombrement et la compréhension de la cardinalité en modalité verbale. Ces résultats ne montrent donc pas que l'intervention n'est pas efficace, mais simplement que ses effets ne sont pas suffisamment marqués pour dépasser l'effet des stimulations reçues par ailleurs, en dehors du cadre de l'intervention.

En réponse à la seconde question, les analyses montrent un effet spécifique de l'intervention sur les performances au post-test et la progression dans la tâche de fluences arithmétiques imagées en faveur du groupe N. La progression est significativement plus importante pour le groupe ayant suivi l'intervention numérique que dans les deux autres groupes, confirmant que les progrès dans cette tâche sont bien significatifs et liés à l'intervention elle-même. Il s'agit du résultat le plus notable puisque c'est la seule tâche qui n'a fait l'objet d'aucune forme de stimulation au cours de l'intervention elle-même. Comparativement aux compétences cardinales, les aptitudes arithmétiques font l'objet de beaucoup moins de stimulations en classe en deuxième maternelle. Ce résultat témoigne d'une part de l'effet spécifique de l'intervention sur la compréhension cardinale des nombres verbaux oraux et d'autre part, du transfert des connaissances cardinales acquises au cours de l'intervention aux activités arithmétiques impliquant ces mêmes nombres.

Ces résultats sont compatibles avec les études qui montrent un lien entre les compétences numériques précoces et le développement des compétences arithmétiques ultérieures (Aunio & Niemivirta, 2010; Aunola et al., 2004; Hawes et al., 2018; Malone et al., 2019; Mazzocco et al., 2011; Nguyen et al., 2016; Sasanguie et al., 2012; Xenidou-Dervou et al., 2017; Xenidou-Dervou et al., 2018). En effet, ils indiquent qu'un entraînement des compétences numériques précoces, en l'occurrence focalisé sur la compréhension de la cardinalité, influence significativement positivement le développement des compétences pré-arithmétiques. Ces résultats sont consistants avec d'autres études qui montrent un effet positif des interventions précoces centrées sur le comptage et le dénombrement sur le développement des compétences arithmétiques précoces (Dyson et al., 2013; O'Rear & McNeil, 2019, Starkey et al., 2004, Ramani et Siegler, 2008, 2011; Paliwal & Baroody, 2018; Praet & Desoete, 2014; Wilson et al., 2009)

En conclusion, ces résultats ouvrent des perspectives encourageantes et montrent l'efficacité d'une intervention centrée sur la cardinalité verbale et digitale sur le développement des compétences arithmétiques chez le jeune

enfant. Sans montrer l'apport spécifique de l'outil doigt, ces résultats sont également compatible avec la littérature qui suggère que les doigts constituent un support fonctionnel qui pourrait participer à différents niveaux au développement numérique des enfants (Fayol et al., 1998; Jordan et al., 2008; Marinthe et al., 1999). Dans l'étude présente, les doigts ont été utilisés comme un support iconique (Wiese, 2003) permettant de donner sens aux nombres verbaux oraux. De ce fait, les doigts ont toujours été présentés en association avec un support verbal et il n'est pas possible de départager lesquels, des doigts ou des symboles verbaux, sont à l'origine des progrès observés. D'autres recherches sont nécessaires pour déterminer quelle est la contribution spécifique des doigts au développement numérique précoce.

## Références bibliographiques

- Andres, M., Di Luca, S., & Pesenti, M. (2008). Finger counting: The missing tool? *Behavioral and Brain Sciences*, 31(06), 642-643. <https://doi.org/doi:10.1017/S0140525X08005578>
- Asakawa, A., & Sugimura, S. (2014). Developmental trajectory in the relationship between calculation skill and finger dexterity: A longitudinal study. *Japanese Psychological Research*, 56. <https://doi.org/10.1111/jpr.12041>
- Aunio, P., & Niemivirta, M. (2010). Predicting children's mathematical performance in grade one by early numeracy. *Learning and Individual Differences*, 20(5), 427-435. <https://doi.org/> <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2010.06.003>
- Aunola, K., Leskinen, E., Lerkkanen, M.-K., & Nurmi, J.-E. (2004). Developmental Dynamics of Math Performance From Preschool to Grade 2. *Journal of Educational Psychology* 96(4), 699-713. <https://doi.org/10.1037/0022-0663.96.4.699>
- Berlin, L. J., Brooks-Gunn, J., McCarton, C., & McCormick, M. C. (1998). The effectiveness of early intervention: examining risk factors and pathways to enhanced development. *Prev Med*, 27(2), 238-245. <https://doi.org/10.1006/pmed.1998.0282>
- Bojorque, G., Torbeyns, J., Van Hoof, J., Van Nijlen, D., & Verschaffel, L. (2018). Effectiveness of the Building Blocks program for enhancing Ecuadorian kindergartners' numerical competencies. *Early Childhood Research Quarterly*, 44, 231-241. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ecresq.2017.12.009>
- Brissiaud, R. (2005). *Comment les enfants apprennent à calculer* (3rd ed.). Retz.
- Carey, S. (2009). *The origin of concepts*. Oxford University Press.
- Crollen, V., & Noël, M.-P. (2015). The role of fingers in the development of counting and arithmetic skills. *Acta Psychologica*, 156(0), 37-44. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.actpsy.2015.01.007>
- Crollen, V., Noël, M.-P., Seron, X., Mahau, P., Lepore, F., & Collignon, O. (2014). Visual experience influences the interactions between fingers and numbers. *Cognition*, 133(1), 91-96. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.cognition.2014.06.002>
- Crollen, V., Seron, X., & Noël, M.-P. (2011). Is Finger-counting Necessary for the Development of Arithmetic Abilities? *Frontiers in Psychology*, 2, 242. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2011.00242>
- Domahs, F., Krinzinger, H., & Willmes, K. (2008). Mind the gap between both hands: Evidence for internal finger-based number representations in children's mental calculation. *Cortex*, 44(4), 359-367. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.cortex.2007.08.001>
- Dowker, A. (2005). Early Identification and Intervention for Students With Mathematics Difficulties. *Journal of Learning Disabilities*, 38, 324-332. <https://doi.org/10.1177/00222194050380040801>
- Duncan, G. J., Dowsett, C. J., Claessens, A., Magnuson, K., Huston, A. C., Klebanov, P., Pagani, L. S., Feinstein, L., Engel, M., Brooks-Gunn, J., Sexton, H., Duckworth, K., & Japel, C. (2007). *School readiness and later achievement* [doi:10.1037/0012-1649.43.6.1428]. American Psychological Association.

- Dyson, N. I., Jordan, N. C., & Glutting, J. (2013). A Number Sense Intervention for Low-Income Kindergartners at Risk for Mathematics Difficulties. *Journal of Learning Disabilities*, 46(2), 166-181.
- Ezell, H., & Justice, L. (2005). *Shared Storybook Reading: Building Young Children's Language and Emergent Literacy Skills*. . Brookes Publishing.
- Fayol, M., Barrouillet, P., & Marinthe, C. (1998). Predicting arithmetical achievement from neuropsychological performance : a longitudinal study [étude de groupe]. *Cognition*, 68, B63-B70.
- Fayol, M., & Seron, X. (2005). About numerical representations: insights from neuropsychological, experimental and developmental studies. In J. I. D. Campbell (Ed.), *Handbook of Mathematical Cognition* (pp. 3–22). Psychology Press.
- Fuson, K., Richards, J., & Briars, D. (1982). The acquisition and elaboration of the number word sequence. In C. Brainerd (Ed.), *Children's logical and mathematical cognition : Progress in cognitive development research* (pp. 32-92). Springer-Verlag.
- Gracia-Bafalluy, M., & Noel, M. P. (2008). Does finger training increase young children's numerical performance? *Cortex*, 44(4), 368-375.  
<https://doi.org/10.1016/j.cortex.2007.08.020>
- Griffin. (2007). Early intervention for children at risk of developing mathematical learning difficulties. . In D. B. Berch & M. M. M. Mazzocco (Eds.), *Why is math so hard for some children?* . Brookes. .
- Gunderson, E. A., Spaepen, E., & Levine, S. C. (2015). Approximate number word knowledge before the cardinal principle. *Journal of Experimental Child Psychology*, 130, 35-55.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jecp.2014.09.008>
- Han, J., & Neuharth-Pritchett, S. (2021). Predicting Students' Mathematics Achievement Through Elementary and Middle School: The Contribution of State-Funded Prekindergarten Program Participation. *Child & Youth Care Forum*, 1-24. <https://doi.org/10.1007/s10566-020-09595-w>
- Hawes, Z., Nosworthy, N., Archibald, L., & Ansari, D. (2018). Kindergarten children's symbolic number comparison skills predict 1st grade mathematics achievement: Evidence from a two-minute paper-and-pencil test. *Learning and Instruction*, 59. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2018.09.004>
- Jordan, N., Kaplan, D., Locuniak, M., & Ramineni, C. (2007). Predicting First-Grade Math Achievement from Developmental Number Sense Trajectories. *Learning Disabilities Research & Practice*, 22, 36-46.  
<https://doi.org/10.1111/j.1540-5826.2007.00229.x>
- Jordan, N., Kaplan, D., Ramineni, C., & Locuniak, M. (2008). Development of number combination skill in the early school years: When do fingers help? *Developmental Science*, 11, 662-668. <https://doi.org/10.1111/j.1467-7687.2008.00715.x>
- Lafay, A., Thevenot, C., Castel, C., & Fayol, M. (2013). The role of fingers in number processing in young children [Original Research]. *Frontiers in Psychology*, 4. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2013.00488>
- Lefebvre, P., Trudeau, N., & Sutton, A. (2011). Enhancing vocabulary, print awareness and phonological awareness through shared storybook reading with low-income preschoolers. *Journal of Early Childhood Literacy*, 11(4), 453-479.  
<https://doi.org/10.1177/1468798411416581>
- Lehrl, S., Kluczniok, K., & Rossbach, H.-G. (2016). Longer-term associations of preschool education: The predictive role of preschool quality for the development of mathematical skills through elementary school. *Early*

- Childhood Research Quarterly*, 36, 475-488.  
<https://doi.org/10.1016/j.ecresq.2016.01.013>
- Lehrl, S., Kluczniok, K., Rossbach, H.-G., & Anders, Y. (2017). Long Term Persistence of Preschool Intervention on Children's Mathematical Development. Results From the German Model Project "Kindergarten of the Future in Bavaria". *Global Education Review*, 4, 70-87.
- Malone, S., Burgoyne, K., & Hulme, C. (2019). Number knowledge and the approximate number system are two critical foundations for early arithmetic development. *Journal of Educational Psychology*, 112.  
<https://doi.org/10.1037/edu0000426>
- Marinthe, C., Fayol, M., & Barrouillet, P. (1999). Performances perceptivo-tactiles et performances arithmétiques chez les jeunes enfants. In S. Vinter & A. Menissier (Eds.), *Les activités numériques, opérations logiques et formulations langagières : Du normal au pathologique* (pp. 85-100). FUFU.
- Mazzocco, M. M. M., Feigenson, L., & Halberda, J. (2011). Preschoolers' Precision of the Approximate Number System Predicts Later School Mathematics Performance. *PLoS ONE*, 6(9), e23749.  
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0023749>
- Mazzocco, M. M. M., & Thompson, R. E. (2005). Kindergarten predictors of math learning disability. [Etude de groupe]. *Learning Disability Research and Practice*, 20, 142-155.
- Moeller, K., Martignon, L., Wessolowski, S., Engel, J., & Nuerk, H.-C. (2011). Effects of finger counting on numerical development - the opposing views of neurocognition and mathematics education. *Frontiers in Psychology*, 2, 328-328. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2011.00328>
- Morgan, P. L., Farkas, G., Hillemeier, M. M., & Maczuga, S. (2016a). Science Achievement Gaps Begin Very Early, Persist, and Are Largely Explained by Modifiable Factors. *Educational Researcher*, 45(1), 18-35.  
<https://doi.org/10.3102/0013189X16633182>
- Morgan, P. L., Farkas, G., Hillemeier, M. M., & Maczuga, S. (2016b). Who Is At Risk for Persistent Mathematics Difficulties in the United States? *Journal of Learning Disabilities*, 49(3), 305-319.  
<https://doi.org/10.1177/0022219414553849>
- 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 Child Res Q*, 36, 550-560.  
<https://doi.org/10.1016/j.ecresq.2016.02.003>
- Nicoladis, E., Pika, S., & Marentette, P. (2010). Are number gestures easier than number words for preschoolers? *Cognitive Development*, 25, 247-261.  
<https://doi.org/10.1016/j.cogdev.2010.04.001>
- Noble, C., Sala, G., Peter, M., Lingwood, J., Rowland, C., Gobet, F., & Pine, J. (2019). The impact of shared book reading on children's language skills: A meta-analysis. *Educational Research Review*, 28, 100290.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.edurev.2019.100290>
- Noël, M.-P. (2005). Finger Gnosia: A predictor of numerical abilities in children? [Etude de groupe]. *Child Neuropsychology*, 11(5), 413-430.  
<https://doi.org/10.1080/09297040590951550>
- Noël, M.-P. (2009). Counting on working memory when learning to count and to add: A preschool study [Etude de groupe]. *Developmental Psychology*, 45(6), 1630-1643. <https://doi.org/10.1037/a0016224>

- O'Rear, C., & McNeil, N. (2019). Improved Set-Size Labeling Mediates the Effect of a Counting Intervention on Children's Understanding of Cardinality. *Developmental Science*, 22, e12819. <https://doi.org/10.1111/desc.12819>
- Pagani, L. S., Fitzpatrick, C., Archambault, I., & Janosz, M. (2010). School readiness and later achievement: a French Canadian replication and extension. *Dev Psychol*, 46(5), 984-994. <https://doi.org/10.1037/a0018881>
- Paliwal, V., & Baroody, A. (2018). How best to teach the cardinality principle? *Early Childhood Research Quarterly*, 44, 152-160.
- Pollard-Durodola, S. D., Gonzalez, J. E., Simmons, D. C., Kwok, O., Taylor, A. B., Davis, M. J., Kim, M., & Simmons, L. (2011). The Effects of an Intensive Shared Book-Reading Intervention for Preschool Children at Risk for Vocabulary Delay. *Exceptional Children*, 77(2), 161-183. <https://doi.org/10.1177/001440291107700202>
- Praet, M., & Desoete, A. (2014). Enhancing young children's arithmetic skills through non-intensive, computerised kindergarten interventions: A randomised controlled study. *Teaching and Teacher Education*, 39, 56-65. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tate.2013.12.003>
- Ramani, G. B., & Siegler, R. S. (2008). Promoting Broad and Stable Improvements in Low-Income Children's Numerical Knowledge Through Playing Number Board Games [Etude de groupe, rééducation]. *Child Development*, 79(2), 375-394. [10.1111/j.1467-8624.2007.01131.x](https://doi.org/10.1111/j.1467-8624.2007.01131.x)  
<http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=aph&AN=31389746&site=ehost-live>
- 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. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.appdev.2011.02.005>
- Rasanen, 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.
- Reeve, R., & Humberstone, J. (2011). Five- to 7-Year-Olds' Finger Gnosia and Calculation Abilities. *Frontiers in Psychology*, 2, 359. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2011.00359>
- Roesch, S., & Moeller, K. (2015). Considering digits in a current model of numerical development. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8, 1062. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2014.01062>
- Sarnecka, B., & Lee, M. (2009). Levels of Number Knowledge in Early Childhood. *Journal of Experimental Child Psychology*, 103, 325-337. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2009.02.007>
- Sasanguie, D., Van den Bussche, E., & Reynvoet, B. (2012). Predictors for Mathematics Achievement? Evidence From a Longitudinal Study. *Mind Brain and Education*, 6. <https://doi.org/10.1111/j.1751-228X.2012.01147.x>
- Sella, F., Tressoldi, P., Lucangeli, D., & Zorzi, M. (2016). Training numerical skills with the adaptive videogame "The Number Race": A randomized controlled trial on preschoolers. *Trends in Neuroscience and Education*, 5(1), 20-29. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tine.2016.02.002>
- Siegler, R. S., & Shrager, J. (1984). Strategy choices in addition and subtraction: How do children know what to do? In C. Sophian (Ed.), *Origins of cognitive skills*. Erlbaum.
- Silva, E., Baldin, M., & Santos, F. H. (2017). Cognitive effects of numeracy musical training in Brazilian preschool children: A prospective pilot study. *Psychology & Neuroscience*, 10, 281-296. <https://doi.org/10.1037/pne0000098>

- 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. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.ecresq.2004.01.002>
- Stock, P., Desoete, A., & Roeyers, H. (2009). Predicting Arithmetic Abilities: The Role of Preparatory Arithmetic Markers and Intelligence. *Journal of Psychoeducational Assessment - J PSYCHOEDUC ASSESS, 27*, 237-251. <https://doi.org/10.1177/0734282908330587>
- Vellutino, F. R., & Scanlon, D. M. (2002). The Interactive Strategies approach to reading intervention. *Contemporary Educational Psychology, 27*(4), 573-635. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0361-476X\(02\)00002-4](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0361-476X(02)00002-4)
- Wang, A. H., Firmender, J. M., Power, J. R., & Byrnes, J. P. (2016). Understanding the Program Effectiveness of Early Mathematics Interventions for Prekindergarten and Kindergarten Environments: A Meta-Analytic Review. *Early Education and Development, 27*(5), 692-713. <https://doi.org/10.1080/10409289.2016.1116343>
- Watts, T. W., Duncan, G. J., Siegler, R. S., & Davis-Kean, P. E. (2014). What's Past Is Prologue. *Educational Researcher, 43*(7), 352-360. <https://doi.org/10.3102/0013189x14553660>
- Wiese, H. (2003). Iconic and non-iconic stages in number development : the role of language. [réflexion]. *Trends in Cognitive Sciences, 7*, 385-390.
- Wilson, A. J., Dehaene, S., Dubois, O., & Fayol, M. (2009). Effects of an Adaptive Game Intervention on Accessing Number Sense in Low-Socioeconomic-Status Kindergarten Children [Etude de groupe]. *Mind, Brain, and Education, 3*(4), 224-234. <https://doi.org/10.1111/j.1751-228X.2009.01075.x>
- Wynn, K. (1990). Children's understanding of counting [étude de groupe]. *Cognition, 36*, 155-193.
- Wynn, K. (1992). Children's acquisition of the number words and the counting system. [étude de groupe]. *Cognitive Psychology, 24*, 220-251.
- Xenidou-Dervou, I., Molenaar, D., Ansari, D., Schoot, M., & Van Lieshout, E. (2017). Nonsymbolic and symbolic magnitude comparison skills as longitudinal predictors of mathematical achievement. *Learning and Instruction, 50*, 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2016.11.001>
- Xenidou-Dervou, I., Van Luit, J. E. H., Kroesbergen, E. H., Friso-Van Den Bos, I., Jonkman, L. M., Van Der Schoot, M., & Van Lieshout, E. C. D. M. (2018). Cognitive predictors of children's development in mathematics achievement: A latent growth modeling approach. *Developmental Science, 21*(6), e12671. <https://doi.org/10.1111/desc.12671>