



*Département d'Orthophonie
Gabriel DECROIX*



MEMOIRE

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

Chloé Bourdon

soutenu publiquement en juin 2018 :

Développement de la Cognition Mathématique et Médias L'entraînement des compétences visuo-spatiales

MEMOIRE dirigé par :
Sandrine MEJIAS, Maître de conférence, Université Lille 2

Lille – 2018

Remerciements

D'abord, je tiens à remercier Madame Méjias, ma directrice de mémoire pour sa disponibilité et ses précieux conseils tout au long de ces deux années.

Je remercie également ma famille, mes amis et mes maîtres de stage pour leur soutien.

Merci à toute notre équipe de travail et particulièrement Hélène et Virginie pour le plaisir d'avoir mené ce travail ensemble. Merci pour votre soutien et votre bonne humeur.

Un immense merci à tous les enfants qui ont participé et permis à cette étude de se réaliser, à leurs parents et aux enseignants pour leur disponibilité et leur accueil chaleureux.

Enfin, je tiens à remercier d'avance les membres du jury pour le temps consacré à la lecture de ce mémoire.

Résumé :

La prévention et la rééducation de la dyscalculie appartiennent au champ de compétences des orthophonistes. Dans la littérature, il n'existe pas de consensus concernant les stimulations à proposer en cas de difficultés mathématiques précoces. Nous proposons donc une étude comparative des trois types d'entraînement qui seraient les plus efficaces selon la littérature. Une forte association existerait entre les compétences spatiales et le développement mathématique. Nous avons donc mis en place une intervention dans les établissements préscolaires publics afin d'entraîner les compétences numériques précoces. Un échantillon de 170 enfants a été inclus, nous avons formé trois groupes d'intervention. Les deux premiers groupes étaient constitués de 115 enfants stimulés par un entraînement des compétences prénumériques. L'un des groupes utilisait des supports « papier-crayon », l'autre utilisait un support tablette numérique (N = 55). Le dernier groupe a reçu une formation visuo-spatiale. Tous les enfants ont été testés avant et après l'entraînement. Ils ont participé à 14 séances d'entraînement de 20 minutes sur une période de 8 semaines. Les résultats du post-test permettront d'objectiver les progrès des enfants.

Mots-clés :

Compétences mathématiques précoces, visuo-spatial, entraînement

Abstract :

The prevention and the therapy of dyscalculia belong to the area of competence of the speech therapists. In the literature, there is no consensus concerning the stimulations to be proposed to the children in trouble before the entry to the school. Thus, we proposed a comparative study of three trainings that would be the most effective according to the literature. A strong association between spatial skills and mathematical development has been demonstrated in the literature. In the present study, we implemented an intervention in public preschools to promote the early numeracy skills. A sample of 170 children was included, we formed three intervention groups. 115 children were part of two pre-mathematic intervention groups. First group played on board games (N = 60), the second group worked on digital tablet (N=55). The last group received a visuo-spatial training. All children were tested before and after training. They participated in 14 training sessions of 20 min over a 8-week period. The post-test results will allow to objectivize the children's progress.

Keywords :

early math skills, spatial skills, training

Sommaire

Introduction	1
Contexte théorique, buts et hypothèses	2
.1. Bases théoriques générales	2
.2. Apprentissages mathématiques : l'intérêt d'une stimulation précoce.	4
.2.1. Les compétences mathématiques précoces.....	4
.2.2. L'effet d'un entraînement des compétences pré-numériques	5
.2.3. Quels supports et quelles tâches utiliser ?	6
.3. Synthèse des supports d'entraînement relevés dans la littérature	7
.3.1. L'apport des jeux de société type jeux de plateaux	7
.3.2. L'effet d'un entraînement sur support informatique.....	8
.3.3. Les compétences visuo-spatiales	9
.3.3.1. Lien entre compétences visuo-spatiales et habiletés numériques	9
.3.3.2. L'effet d'un entraînement visuo-spatial.....	11
.4. Objectifs et hypothèses	13
Méthodologie.....	14
.1. Participants	14
.2. Procédure et matériel	15
.2.1. Tests utilisés pour les phases de Pré-test et de Post-test.....	16
.2.2. L'entraînement	16
.2.2.1. Constitution des groupes d'entraînement.....	16
.2.2.2. Groupe « papier-crayon ».....	17
.2.2.3. Groupe « pré-maths ».....	17
.2.2.4. Groupe « capacités visuo-spatiales »	18
Résultats	18
.1. Le pré-test: analyse de deux protocoles.....	18
.1.1. Evaluation des compétences visuo-spatiales	19
.1.2. Evaluation des compétences numériques analogiques	19
.1.3. Evaluation des compétences numériques symboliques	20
.1.4. Sensibilité du Pré-Test	20
.2. Les questionnaires parentaux: analyse de 3 données.....	20
.3. Nombre de sessions d'entraînements	21
.4. Recueil de données et analyses.....	22
.4.1. Données issues du questionnaire	22
.4.2. Données issues du pré-test	23
Discussion.....	23
.1. Population.....	23

.1.1.	Effectifs, sexe, niveau socio-économique	23
.1.2.	Stimulations mathématiques externes, niveau global des enfants.....	23
.1.3.	Constitution des groupes	24
.2.	Questionnaires	24
.3.	Les entrainements	25
.3.1.	Durée et déroulement des entrainements.....	25
.3.2.	Supports d'entraînement des activités « pré-maths » sur tablette	25
.3.3.	Supports d'entraînement des activités « papier-crayon »	26
.3.4.	Supports d'entraînement des activités tablette « visuo-spatiales»	26
.4.	L'expérimentateur.....	27
.5.	Variables parasites, extérieures à l'intervention	27
.6.	L'évaluation	28
.6.1.	Les épreuves	28
.6.2.	Les attentes concernant le groupe visuo-spatial	28
.7.	Intérêt orthophonique de l'étude	29
	Conclusion.....	30
	Bibliographie	31
	Liste des annexes	34
	Annexe n°1 : Lettre d'information	34
	Annexe n°2 : Formulaire de consentement parental.....	34
	Annexe n°3 : Questionnaire parental.....	34
	Annexe n°4 : Epreuves du Pré-test et du Post-test	34
	Annexe n°5 : Descriptif de l'entraînement « papier-crayon ».....	34
	Annexe n°6 : Descriptif de l'entraînement « prémaths»	34
	Annexe n°7 : Descriptif de l'entraînement « visuo-spatial»	34
	Annexe n°8 : Moyenne du nombre de séances suivies par groupe et par classe.....	34

Introduction

Tout au long de leur parcours scolaire, il est demandé aux enfants d'acquérir des compétences fondamentales nécessaires à leur future réussite professionnelle. Les principales sont les compétences linguistiques, à l'oral et à l'écrit, et les compétences numériques et arithmétiques. Ces compétences sont transmises en premier lieu par l'école mais en cas de trouble d'apprentissage avéré, c'est aux orthophonistes d'y remédier par la rééducation.

Dans ce mémoire, nous nous intéresserons aux compétences numériques précoces chez des enfants sans difficulté particulière. En effet, c'est une étape nécessaire pour pouvoir identifier les compétences impliquées dans les troubles d'apprentissage mathématique. Nous verrons également différents moyens d'entraîner ces compétences numériques précoces. Ces connaissances seront dans de futurs mémoires testées auprès d'enfants souffrant de troubles d'apprentissages en mathématiques.

Il a été démontré que les capacités mathématiques précoces sont fortement prédictives des performances ultérieures (Hornung, Schiltz, Brunner, & Martin, 2014). Actuellement, il existe beaucoup d'études qui décrivent précisément quelles stimulations proposer aux enfants pour favoriser leur entrée dans le langage écrit. (H.S. Scarborough, 1998, Boutreux, 2002, in Van Hout, 2001, Sprenger-Charolles et Khomsi, 1989). Ces études ont permis notamment de démontrer que les enfants ayant un bon niveau de langage oral avaient davantage de facilités pour acquérir la lecture et il est aujourd'hui connu de tous que lire des histoires aux enfants favorise leur accès à la lecture (Duursma, Augustyn & Zuckerman, 2008). Pour favoriser l'émergence des mathématiques, les études du même ordre sont aujourd'hui plus rares. Il n'y a pas encore de consensus concernant les stimulations à proposer. Il est pourtant capital que les enfants bénéficient d'apprentissages adaptés dès le plus jeune âge.

En 2017, Cornu et ses collaborateurs ont entrepris de proposer différentes stimulations à des enfants de maternelle. Leurs recherches n'ont pas été publiées mais nous avons choisi de continuer leur travail, avec leur collaboration. Cette équipe a accepté de nous transmettre son matériel de testing et d'entraînement auquel nous avons apporté des remaniements.

Pour notre étude, nous avons constitué trois groupes d'entraînement stimulés à l'aide des supports qui seraient les plus efficaces, au vu des données de la littérature. Des testings effectués avant et après les entraînements nous permettront d'objectiver leurs résultats. Les effets de chacun des entraînements pourront ensuite être observés.

Les deux premiers groupes recevront un entraînement stimulant les pré-requis numériques. L'un sur support « papier-crayon » avec du matériel concret et l'autre sur tablette numérique. Le troisième groupe recevra une stimulation de type visuo-spatiale. Les habiletés visuo-spatiales seraient une base cognitive importante pour le développement des habiletés numériques. (Delgado & Prieto, 2004; McLean & Hitch, 1999). Quelques auteurs ont déjà testé si un entraînement intensif des capacités visuo-spatiales permettait d'améliorer les performances mathématiques. Certains avec succès, (Mix et Cheng, 2014), d'autres ont uniquement noté une amélioration des capacités visuo-spatiales (Cornu et al, 2017).

Nous allons donc tenter de répondre à la question suivante dans ce mémoire :

Une stimulation de type visuo-spatiale permet-elle d'augmenter les compétences mathématiques? Les progrès ainsi obtenus sont-ils comparables à ceux obtenus grâce à une stimulation numérique plus directe ? Permettent-ils de justifier ce type d'entraînement auprès d'enfants en difficulté?

Contexte théorique, buts et hypothèses

.1. Bases théoriques générales

Certaines compétences mathématiques sont innées. Les bébés auraient ainsi la possibilité de discriminer de petites quantités d'objets dès les premières semaines de vie (Strauss et Curtis, 1980) ou d'effectuer des additions de type $1+1$ (Wynn, 1992). Dans ces études, les réactions de surprise des nourrissons sont évaluées grâce à leur temps de fixation des cibles proposées. Le temps d'observation est ainsi prolongé en cas de présentation d'un résultat erroné.

Selon le modèle proposé par Dehaene en 1992 (figure 1), ces compétences innées correspondraient aux compétences analogiques : la comparaison, l'estimation, le subitizing et le calcul approximatif. La comparaison est la capacité à désigner la plus grande ou la plus petite quantité parmi plusieurs. L'estimation correspond à la capacité à se représenter de manière approximative de grandes quantités (supérieures à trois éléments). Le subitizing correspond à la capacité à identifier immédiatement et précisément de petites quantités (jusqu'à trois éléments). Le calcul approximatif correspond à la capacité à estimer le résultat d'une opération arithmétique. Les deux autres types de représentations sont la représentation numérique orale et la représentation visuelle arabe.

Le système numérique verbal comporte le comptage et le dénombrement. On retrouve également la capacité à énoncer verbalement des numérosités, la capacité à les lire et ou à les écrire sous forme de mots. Enfin, dans ce système numérique verbal, on retrouve les faits arithmétiques qui correspondent aux calculs engrammés en mémoire à long terme.

Dans le système numérique arabe, on retrouve la capacité à lire et écrire les nombres sous forme arabe. On retrouve également la capacité à effectuer des opérations arithmétiques en les calculant.

Le code auditif verbal et le code visuel arabe ne sont pas innés. Ils se développeraient grâce aux apprentissages (Fayol, 2008). Ils permettent de donner une correspondance symbolique et précise aux quantités, la manipulation des nombres via les calculs et la transmission d'informations numériques. L'enfant acquiert la comptine ou chaîne numérique verbale via un apprentissage formel. La chaîne numérique correspond à la suite ordonnée des nombres. Elle permet ensuite la mise en place du comptage. Elle est en base dix et obéit à des règles de syntaxe. L'enfant acquiert ensuite les nombres arabes correspondant à la chaîne numérique apprise, généralement via les apprentissages scolaires. Le code visuel arabe obéit lui aussi à des règles syntaxiques et à la base dix. L'enfant devient peu à peu capable de manipuler des quantités, de mettre en relation les représentations symboliques avec la quantité analogique correspondante. Il a ensuite accès au comptage, au dénombrement ainsi qu'à l'arithmétique et aux opérations arithmétiques.

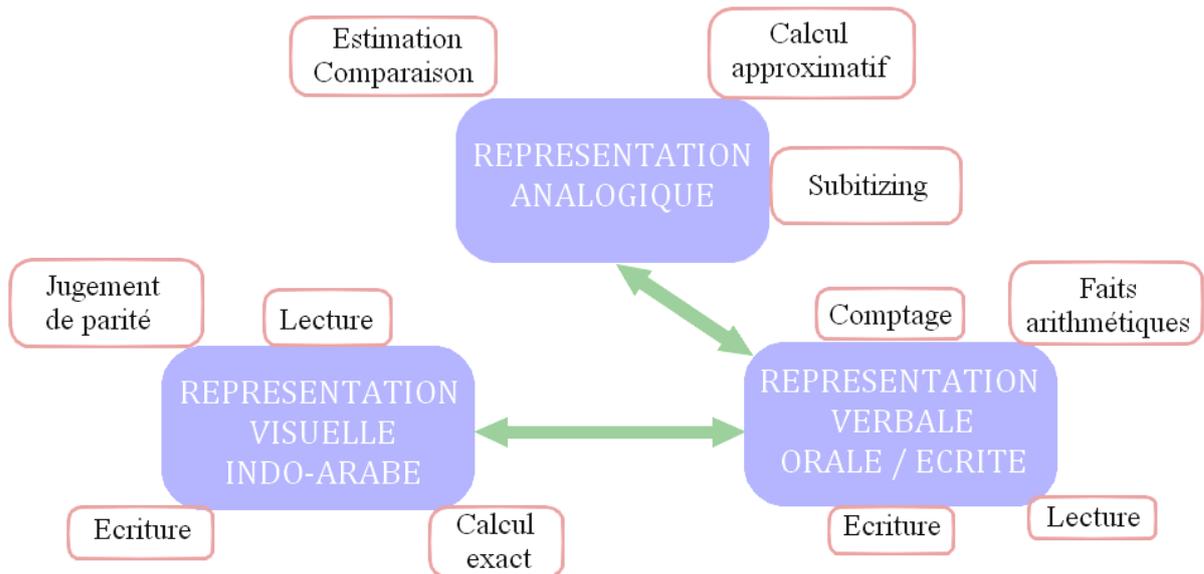


Figure 1: Modèle de Dehaene (d'après Dehaene, 1992; page 31).

Par ailleurs, en 2004, Feigenson, Dehaene et Spelke ont distingué deux systèmes à l'intérieur du système analogique. Le système numérique analogique (SNA) et le système numérique exact (SNE).

Le SNA traite les grandes quantités. Il permet d'effectuer des tâches d'estimation, de comparaison et des calculs approximatifs.

En 1997, Dehaene a décrit la ligne numérique mentale, une représentation linéaire des numérosités qui se développerait vers 5-6 ans. Ce système illustre l'organisation du SNA et permet de représenter le « sens du nombre ». Ainsi, les quantités sont représentées mentalement de gauche à droite. La précision de cette estimation décroît au fur à mesure que la numérosité à traiter augmente.

Le SNP a pour fonction de traiter des petites quantités de manière exacte, rapide et précise. Il est notamment à l'origine du subitizing.

Par ailleurs, si certaines compétences du système numérique approximatif sont innées, il existe néanmoins des différences inter-individuelles. Le système numérique approximatif serait ainsi plus ou moins performant et cela déterminerait les futures capacités arithmétiques (Halberda, Mazocco, Feigenson, 2011). On peut donc se demander si ces variations inter-individuelles pourraient être compensées grâce à un entraînement (Hyde, Khanum et Spelke, 2014; Honoré et Noël, 2016). Nous verrons plus tard les études réalisées en ce sens.

Nous allons maintenant voir dans quelle mesure une intervention précoce se justifie afin de prévenir les troubles de la cognition mathématique.

.2. Apprentissages mathématiques : l'intérêt d'une stimulation précoce.

Selon différentes études détaillées dans les prochains paragraphes, les compétences mathématiques précoces seraient fortement prédictives de la réussite scolaire et professionnelle.

.2.1. Les compétences mathématiques précoces

Les compétences mathématiques précoces seraient le meilleur prédicteur de la réussite scolaire selon une méta-analyse de Duncan et ses collaborateurs. Ces auteurs ont mis en évidence qu'elles auraient davantage d'impact que les compétences attentionnelles ou de lecture. Ils ont étudié six études longitudinales regroupant des cohortes d'enfants venant des Etats-Unis, du Canada et de Grande-Bretagne. Leurs compétences précoces étaient mesurées à l'entrée à l'école, vers 5-6 ans et leur réussite scolaire était évaluée aux alentours de 10 ans. (Duncan et al., 2007). En 2010, d'autres auteurs ont répliqué ces résultats en incluant d'autres cohortes d'enfants. (Romano, Babchishin, Pagani, & Kohen, 2010).

D'autres auteurs ont étudié l'évolution d'enfants possédant de faibles compétences mathématiques précoces. Ils ont montré que ces enfants souffraient par la suite d'un retard dans les apprentissages formels. Ce retard s'accumulait tout au long de la scolarité. (Hornung, Schiltz, Brunner, & Martin, 2014; Jordan, Kaplan, Ramineni, & Locuniak, 2009; Krajewski & Schneider, 2009; Ramani & Siegler, 2015).

Desoete et Gregoire en 2006, ont réalisé une autre étude longitudinale dont les résultats sont congruents avec les données présentées auparavant. Ils ont testé les enfants grâce à différents tests comme la TEDI-MATH, utilisée de manière courante en évaluation orthophonique. La première évaluation consistait à mesurer les compétences pré-numériques alors que les enfants étaient en moyenne section de maternelle. La deuxième évaluation survenait en CE2. Elle consistait à évaluer leurs compétences mathématiques (les enfants avaient alors reçu un apprentissage scolaire formel). Lors de la deuxième évaluation, ils ont constaté que ceux qui obtenaient les plus faibles performances aux tests numériques avaient également obtenu des résultats faibles lors de l'évaluation des compétences pré-numériques. Parmi ces compétences pré-numériques, on retrouvait : la connaissance de la chaîne numérique, le dénombrement, l'identification de nombres, les structures logiques, l'estimation, la comparaison, le subitizing, les problèmes verbaux et le placement de nombres sur la ligne numérique mentale.

On peut donc en conclure que les compétences mathématiques précoces sont des prédicteurs importants de la réussite scolaire. Les enfants en difficulté de manière précoce garderaient ce retard tout au long de leur scolarité (Hornung, Schiltz, Brunner, & Martin, 2014; Jordan, Kaplan, Ramineni, & Locuniak, 2009; Krajewski & Schneider, 2009; Ramani & Siegler, 2015). Il paraît donc essentiel de leur permettre de rattraper ce retard avant l'entrée dans les apprentissages formels.

C'est pourquoi des chercheurs ont mis en place des programmes d'entraînement des compétences mathématiques précoces. Ils avaient pour objectif de réduire les inégalités déjà existantes en maternelle.

.2.2. L'effet d'un entraînement des compétences pré-numériques

Les compétences mathématiques précoces constitueraient un prédicteur important de la réussite scolaire future. En cas de difficulté, la solution serait de proposer aux enfants un entraînement afin de leur permettre de rattraper leur retard. Il s'agit maintenant d'identifier quelles activités proposer pour favoriser le développement des compétences mathématiques précoces. Nous allons donc parcourir la littérature existante à ce sujet. Cela nous permettra d'identifier quels types d'entraînement ont permis une amélioration des compétences mathématiques précoces.

Comme nous l'avons vu un peu plus haut, le système numérique approximatif est inné. A l'heure actuelle, on pense que c'est ce système approximatif qui va servir de base au développement du système symbolique précis (Dehaene, 1992; Gallistel and Gelman, 1992; Dehaene and Cohen, 1995, 1997). Ce dernier se construit via l'apprentissage formel des mathématiques. Il est constitué du code verbal et du code arabe. L'enfant apprend d'abord la comptine numérique et les représentations arabes des nombres. Ensuite, il les met en lien avec la quantité correspondante (Noël et Rousselle, 2011).

L'altération du système numérique approximatif serait une des hypothèses à l'origine de la dyscalculie (Halberda, Mazzocco, Feigenson, 2011). Une autre cause de la dyscalculie serait l'incapacité à faire le lien entre la représentation symbolique et la quantité correspondante (Noël et Rousselle, 2011). C'est pourquoi, ces deux compétences sont importantes à évaluer de manière précoce afin de pouvoir proposer une remédiation.

Hyde et ses collaborateurs (2014) ont ainsi émis l'hypothèse que le système numérique approximatif pouvait être amélioré à l'aide d'un entraînement. Cette étude intégrait une centaine d'enfants de 6-7 ans. Ils ont constitué deux groupes : un groupe cible et un groupe contrôle. Le groupe cible était entraîné à des tâches d'addition et de comparaison de patterns de points. Le groupe contrôle s'est vu proposer des tâches de stimulations visuelles dans lesquelles les enfants devaient apprécier des changements de luminosités. Les auteurs ont ensuite présenté aux deux groupes des tâches d'additions symboliques. Ils ont noté que les enfants ayant bénéficié d'un entraînement du système numérique approximatif étaient plus performants que le groupe contrôle. Ces auteurs en ont conclu que stimuler le système numérique approximatif chez les enfants facilitait le développement du système numérique symbolique et précis ultérieurement.

En 2016, Honoré et Noël ont souhaité comparer l'efficacité d'un entraînement du système numérique approximatif par rapport à un entraînement du système numérique précis. Elles ont constitué deux groupes d'enfants. Le premier groupe recevait un entraînement avec des activités symboliques et l'autre recevait un entraînement non symbolique. Les entraînements symboliques étaient constitués de nombres, soit sous support verbal, soit en code arabe. Les entraînements non symboliques mettaient les enfants face à du matériel analogique : des patterns de points par exemple. Les tâches des deux groupes étaient appariées. Ainsi, les activités étaient de difficulté similaire et mettaient en jeu les mêmes processus cognitifs. La seule différence entre ces deux types d'entraînements était la forme du matériel : soit du matériel symbolique, soit du matériel analogique. Les enfants ont donc dû effectuer les tâches suivantes : comparaison de nombres et positionnement sur une ligne numérique. Elles ont observé que le groupe « non symbolique » ne progressait que pour les tâches non symboliques. Le groupe « symbolique » quant à lui avait progressé à la fois pour les tâches symboliques mais

aussi pour les tâches non symboliques. Elles ont conclu que l'entraînement du système symbolique permettait également d'affiner les compétences non symboliques par généralisation.

Il est donc important de stimuler le système symbolique de manière précoce. La mise en correspondance des quantités avec leur représentation symbolique semble d'une importance capitale également. Enfin, la stimulation du système approximatif seule ne suffit pas puisqu'elle ne permet pas d'améliorer le système numérique précis.

En conclusion, les données de la recherche concernant la stimulation du système numérique approximatif sont contradictoires. Les deux études ont tout de même relevé des effets positifs suite à son entraînement. L'étude d'Honoré et Noël indique que pour obtenir des résultats optimaux, l'entraînement du système numérique approximatif doit être accompagné d'un entraînement du système symbolique.

.2.3. Quels supports et quelles tâches utiliser ?

Nous avons maintenant une idée du type d'entraînement à proposer pour stimuler les compétences mathématiques précoces. Il reste encore à déterminer quels sont les supports et les tâches à utiliser.

En 2014, Mononen et ses collaborateurs ont entrepris de faire la synthèse des 19 études parues jusqu'alors concernant des entraînements des compétences mathématiques précoces. Ces interventions étaient dispensées à des enfants entre 4 et 7 ans pendant un minimum de douze semaines. Ils n'ont inclus que les études comportant un pré-test et un post test objectivant les résultats des entraînements proposés. Les études intégrées comportaient nécessairement un ou plusieurs groupes « cibles » et un groupe contrôle. Tous les groupes recevaient un enseignement mathématique classique, dispensé par la scolarisation. Les groupes cibles recevaient des stimulations spécifiques, dispensées par les expérimentateurs de l'étude. Ils ont ainsi comparé l'efficacité de différents entraînements.

On retrouvait des stimulations mathématiques explicites concrètes : le comptage le dénombrement, la confrontation aux codes numériques arabe, verbal. Les numérosités proposées aux enfants allaient généralement de 1 à 20. Certaines études offraient la possibilité de manipuler le matériel. On retrouvait également des stimulations sur support informatique. D'autres études utilisaient des jeux de société.

Leurs résultats ont permis d'extraire les types d'entraînements les plus efficaces. Parmi eux, on retrouve les stimulations numériques explicites : les enfants devaient manipuler des quantités de manière concrète ou sur support informatique. Les stimulations mobilisaient à la fois le système symbolique et analogique. On retrouvait notamment des tâches de comparaison, de comptage, de subitizing, d'additions, de soustractions et de manipulations logiques. Ils ont noté que les entraînements les plus longs avaient apporté les meilleurs résultats. Une étude proposant un entraînement d'une durée de 25 semaines a ainsi obtenu des progrès très importants de la part des enfants.

Cette méta-analyse nous ayant donné un large choix de supports efficaces, il convient maintenant de nous intéresser plus en détail aux études les ayant mis en pratique.

.3. Synthèse des supports d'entraînement relevés dans la littérature

.3.1. L'apport des jeux de société type jeux de plateaux

Pour commencer, nous allons nous intéresser aux jeux de société type jeux de plateaux. C'est un format d'entraînement attrayant pour les enfants. Il convient cependant de connaître les caractéristiques qui doivent être présentes pour rendre cet entraînement efficace.

Ainsi, Ramani et Siegler en 2008 ont démontré l'efficacité de proposer des jeux de plateaux à des enfants de 4,5 ans issus de familles de faible niveau socio-économique. Ils ont choisi ce support car les jeux de plateaux stimulent différentes compétences. La ligne numérique mentale est matérialisée par la suite linéaire et croissante des numéros des cases. Quand l'enfant se déplace sur le plateau, il utilise la comptine numérique. Il se voit également progresser dans le plateau au fur à mesure. Cela favorise la perception de la magnitude. Le décodage du dé mobilise le dénombrement puisque l'enfant doit compter les points. Il doit également acquérir la correspondance terme-à-terme pour avancer d'une case à la fois. C'est donc une activité de stimulation précoce très intéressante pour les enfants qui y ont accès. Elle est corrélée positivement avec le développement numérique d'après les auteurs. Ramani et Siegler ont commencé par prétester les enfants à l'aide d'une tâche de ligne numérique. Cette tâche est reproposée à la fin des entraînements.

Ils ont créé le jeu de l'oie « The Great Race » et ont fait jouer les enfants durant 4 séances de 15 minutes. A chaque tour, le participant peut avancer d'une ou deux cases. Deux conditions sont possibles. Dans le premier cas, l'enfant utilise les nombres inscrits sur le plateau pour se déplacer. Dans le deuxième cas, le participant se réfère uniquement aux couleurs des cases. Leurs résultats montrent une amélioration des estimations sur la ligne numérique pour les enfants ayant joué avec les nombres. Ils ne notent pas d'amélioration chez les enfants qui se sont entraînés avec des couleurs. Cela nous indique que pour améliorer la ligne numérique mentale, le fait de progresser sur une ligne ne suffit pas. Il faut impérativement que des nombres soient associés.

Ramani et Siegler ont réalisé une autre étude similaire en 2011. Ils ont comparé un groupe d'enfants venant de milieux favorisés et un groupe d'enfants venant de milieux défavorisés. Les auteurs ont d'abord testé les enfants à l'aide de 6 épreuves : estimation sur ligne numérique, comparaison de nombres, comptage, identification numérique et problèmes avec additions. Ils ont ensuite stimulé les deux groupes avec des jeux de plateaux linéaires, des jeux de plateaux circulaires et des activités numériques. L'entraînement comportait 5 séances de 20 minutes réparties sur 3 semaines. A la fin, les enfants ont été retestés avec les mêmes épreuves qu'au pré-test. Pour les résultats, ils ont apparié chaque enfant du groupe favorisé avec un enfant du groupe défavorisé de niveau similaire au début de l'étude. Tous les enfants ont progressé pour 4 compétences: la comparaison de la grandeur numérique, l'estimation de la ligne numérique, le comptage et l'identification numérique. On remarque par ailleurs que les enfants du groupe défavorisé ont progressé de manière beaucoup plus importante. On note aussi que les groupes stimulés avec des jeux de plateaux linéaires ont davantage progressé que ceux stimulés avec les jeux de plateaux circulaires. Ce type de plateau sera donc à favoriser.

Il semblerait donc que proposer des jeux de plateaux à ces enfants permettrait de compenser un retard de stimulation avant l'entrée à l'école.

.3.2. L'effet d'un entraînement sur support informatique

Quelques études ont déjà proposé un entraînement sur support informatique aux enfants présentant de faibles compétences numériques précoces. (Räsänen, Salminen, Wilson, Aunio & Dehaene, 2009).

Ces auteurs ont choisi un support informatique car à leurs yeux, ce mode de stimulation serait aujourd'hui plus efficace qu'une stimulation de type « papier-crayon ». Ils citent différentes études définissant les écrans comme plus attrayants pour les enfants. Ils passeraient davantage de temps à manipuler des téléphones ou des tablettes numériques qu'à jouer à des jeux classiques (Christakis, Ebel, Rivara, & Zimmerman, 2004). Les écrans permettraient également une stimulation plus dynamique grâce aux animations graphiques, aux feed backs procurés par les logiciels et applications (Hayes, Chemelski, & Birnbaum, 1981, Pezdek & Stevens, 1984). Ces supports permettraient également d'allonger le temps de concentration (Clements, 1994).

Dans leur étude, Räsänen et ses collaborateurs (2009) voulaient permettre à des enfants ayant de faibles compétences numériques précoces avant l'entrée en primaire de rattraper leur retard. Cela pourrait ainsi permettre que tous les enfants entrent dans les apprentissages mathématiques formels avec les mêmes bases pré-numériques. Pour construire leur entraînement, les auteurs se sont basés sur les récentes études définissant les processus neuropsychologiques de base qui supportent ensuite les apprentissages numériques et arithmétiques. Ils ont donc inclus des enfants en difficulté avant l'entrée à l'école primaire et les ont testés pour objectiver leurs compétences numériques avant l'entraînement. Ils leur ont ensuite proposé d'intégrer un des deux types d'entraînements intensifs. Ceux-ci étaient réalisés grâce à des logiciels sur ordinateur. Le premier groupe d'entraînement était stimulé grâce à un logiciel mobilisant le sens du nombre et la comparaison (The Number Race). Le deuxième groupe recevait une stimulation des correspondances entre quantité analogique et représentation symbolique verbale ou arabe (Graphogame). Les auteurs ont noté une amélioration pour les tâches de comparaison entre le pré-test et le post-test mais ils n'ont pas noté de généralisation aux autres compétences.

La même année, Wilson, Dehaene, Dubois et Fayol ont également effectué un entraînement avec le logiciel « The Number Race » auprès d'enfants en difficulté. Leurs résultats ont montré un renforcement du lien entre les représentations symboliques et non symboliques. Le logiciel The Number Race avait déjà été utilisé dans le but d'entraîner les compétences numériques des enfants (Wilson, Revkin, Cohen et Dehaene, 2006).

En 2006, l'objectif de Wilson et ses collaborateurs était de remédier à la dyscalculie. Ils avaient pour hypothèse que celle-ci était due à un défaut de perception des quantités ou de sens du nombre. Les enfants dyscalculiques ne parviendraient pas à établir la relation entre les nombres et la quantité correspondante. Les auteurs ont donc intégré à l'étude des enfants de 7-9 ans atteints de dyscalculie. Ils les ont testés dans les différentes habiletés mathématiques de base : le comptage, le transcodage, la compréhension du système en base 10, l'addition, la soustraction et la comparaison numérique non symbolique et symbolique. Les enfants ont ensuite été entraînés quotidiennement pendant cinq semaines. Le post-test révèle des progrès en comparaison, en subitizing et en soustraction. Cependant, la compréhension du système en base 10 n'a pas évolué. On remarque tout de même des progrès notables pour l'acquisition du sens du nombre en général.

En 2016, Sella et ses collaborateurs ont proposé un entraînement grâce à la version italienne du logiciel The Number Race auprès d'enfants en difficultés pré-numériques. Le logiciel est construit selon quatre objectifs. Le premier est de faire correspondre les représentations symboliques et la magnitude. Le deuxième et le troisième sont de comprendre et automatiser l'arithmétique et le calcul. Le dernier est de maintenir la motivation de l'enfant grâce au feed-back offert par le support informatique. Les résultats montrent que l'entraînement a permis une amélioration du subitizing et de meilleures capacités de comparaison numérique. Ils ont également noté de meilleures performances aux tâches de soustraction.

Ces études montrent donc qu'un entraînement ciblé des compétences pré-numériques permettrait d'améliorer les performances précoces en mathématiques chez les enfants en difficultés. Ces entraînements visaient à améliorer les compétences directement engagées dans les mathématiques : la perception des quantités, de la relation entre les nombres et les quantités, stimuler le système numérique approximatif, le subitizing, la comparaison et proposer les premières opérations arithmétiques : additions, soustractions.

D'autres auteurs ont par ailleurs cherché à évaluer les effets d'un entraînement non mathématique, notamment les effets d'un entraînement de type visuo-spatial. En effet, les habiletés visuo-spatiales feraient elles aussi partie des fonctions cognitives nécessaires au développement des habiletés mathématiques (Wai, Lubinski, et Benbow en 2009). Nous les présenterons ci-dessous.

.3.3. Les compétences visuo-spatiales

Il convient d'abord de définir ce que sont les habiletés visuo-spatiales. Linn et Petersen (1985) désignent par ce terme trois compétences qui sont la perception de l'espace (la relation des formes entre elles, leur orientation), la rotation mentale et la mentalisation de l'espace.

.3.3.1. Lien entre compétences visuo-spatiales et habiletés numériques

De nombreuses études ont montré que les sujets ayant de bonnes habiletés visuo-spatiales obtenaient des performances supérieures en mathématiques (Lubinski & Benbow, 1992; McLean & Hitch, 1999; Robinson, Abbott, Berninger, & Busse, 1996, Delgado & Prieto, 2004). Les compétences visuo-spatiales seraient ainsi des prédicteurs importants des futures compétences scientifiques, mathématiques ou techniques (Wai, Lubinski, et Benbow en 2009). Ces auteurs ont réalisé une revue de la littérature existante et ont suivi des étudiants pendant onze ans de façon longitudinale. Ils leur ont proposé des tests et des questionnaires lorsqu'ils étaient au lycée pour mesurer leurs compétences dans les différents domaines (incluant les mathématiques, les habiletés visuo-spatiales, les langues...). Ils ont ensuite étudié quelles étaient leurs études supérieures, leur parcours professionnel. Ils ont ainsi observé que les étudiants disposant de bonnes compétences visuo-spatiales ont mieux réussi les études scientifiques ou d'ingénierie.

L'implication des compétences visuo-spatiales est également très importante pour la construction de la ligne numérique mentale. En effet, ce système appartenant au SNA permet de se représenter mentalement les quantités de gauche à droite. Cela pourrait s'expliquer par des raisons anatomiques. En effet, les compétences spatiales et numériques seraient toutes deux localisées dans le cortex pariétal postérieur. Ceci expliquerait leurs interactions

(Hubbard et al., 2005). Le syndrome de Gerstmann, conséquence d'une lésion pariétale, confirmerait également ce lien en induisant chez les patients à la fois une agnosie digitale, une indistinction droite gauche et une acalculie (Dehaene & Cohen, 1997). Ainsi, Dehaene et ses collaborateurs ont défini en 2003 trois processus pour traiter les nombres : un système verbal (noms des nombres et faits arithmétiques, et deux systèmes non-verbaux : la ligne numérique mentale et un système permettant de traiter la grandeur et la distance entre les nombres. La ligne numérique mentale serait à l'origine de l'effet SNARC. L'effet SNARC se définit ainsi par un lien entre nombre et espace. Le premier à avoir démontré cet effet est Dehaene en 1993. Dans son étude, il avait intégré des adultes à qui il proposait une tâche de comparaison de nombres. Pour ce faire, les sujets devaient répondre en appuyant sur un bouton. Parfois, celui-ci était situé à droite, parfois il était situé à gauche. Ses résultats montrent une réponse plus rapide du côté gauche pour un petit nombre et du côté droit pour un grand nombre.

Noël et Crollen ont confirmé ce lien entre capacités visuo-spatiales et ligne numérique mentale dans une étude publiée en 2015. Elles ont étudié les conséquences d'une faiblesse des capacités visuo-spatiales. Elles ont intégré 70 enfants tout-venants à leur étude et leur ont proposé la NEPSY et la Figure de Rey pour évaluer leurs capacités visuo-spatiales. Ces enfants étaient scolarisés en CM1, cela correspond à un âge de 9 à 10 ans. L'analyse des Z-scores leur a permis de constituer deux groupes de niveau. Un groupe présentant un bon niveau d'habiletés visuo-spatiales et un groupe plus faible. Elles leur ont ensuite proposé différentes tâches. Les enfants se sont vus proposer des bisections de lignes. Ils ont aussi dû placer des nombres sur des lignes non graduées. Enfin, ils ont dû comparer des nombres le plus rapidement possible. Les résultats montrent que tous les enfants disposent de la ligne numérique mentale. Cependant, les enfants qui avaient obtenu les scores les plus faibles aux tests visuo-spatiaux ont été moins précis pour les tâches proposées ensuite. Cela confirme le lien entre les habiletés numériques et les habiletés visuo-spatiales.

Mix et Cheng ont démontré l'implication des compétences visuo-spatiales dans le développement des apprentissages mathématiques en 2012. Ainsi, de bonnes compétences visuo-spatiales chez les enfants d'âge pré-scolaire leur permettraient d'acquérir plus facilement le sens du nombre, d'être plus performants aux tâches de problèmes et de géométrie. Ils ont également identifié que les habiletés visuo-spatiales pourraient permettre une meilleure réussite aux tâches de problèmes. Elles permettraient ainsi une meilleure perception de la magnitude impliquée par les nombres arabes et elles faciliteraient la représentation mentale du problème.

Plus récemment, en 2016, ces auteurs ont publié une étude transversale à grande échelle englobant 854 enfants de 5 à 13 ans. Ils les ont soumis à des tests mathématiques et visuo-spatiaux et ont réalisé des analyses pour connaître les mécanismes engagés dans chacune de ces tâches. Les enfants ont dû effectuer des constructions à l'aide de blocs manipulables. Ils ont également dû opérer des manipulations mentales de figures géométriques impliquant la mémoire de travail visuo-spatiale (déplacements, rotation mentale, fusions...). Enfin, les enfants ont dû lire et effectuer des trajets sur des cartes. Les auteurs ont ainsi pu dégager des facteurs prédictifs de meilleures performances arithmétiques. Les capacités de rotation mentale constitueraient donc le meilleur prédicteur chez les enfants de maternelle. Chez les enfants plus âgés, ce serait plutôt la mémoire de travail visuo-spatiale qui se révélerait être le meilleur prédicteur. Ils soulignent d'ailleurs que les capacités visuo-spatiales seraient particulièrement importantes quand les enfants sont

confrontés à de nouvelles notions. Leur participation se réduirait ensuite avec l'automatisation des apprentissages. Elles seraient donc capitales les premières années, quand les enfants abordent les nouvelles notions numériques.

En conclusion, les habiletés visuo-spatiales sembleraient influencer certains aspects du développement numérique. Elles supporteraient certains aspects du système numérique approximatif, notamment la ligne numérique mentale. Le système numérique approximatif permettant lui-même le développement des capacités mathématiques, les capacités visuo-spatiales constitueraient une base cognitive essentielle.

Il est donc justifié d'étudier si les capacités visuo-spatiales peuvent être améliorées par un entraînement. Nous nous intéresserons ensuite aux effets d'un tel entraînement sur le système numérique approximatif et par extension, sur les capacités mathématiques précoces en général.

.3.3.2. L'effet d'un entraînement visuo-spatial

Une métaanalyse a été réalisée en 2013 concernant l'effet d'un entraînement des compétences visuo-spatiales (Uttal, Meadow, Tipton, Hand, Alden et Warren, 2013). Ils ont classé les différents entraînements en trois catégories : les jeux vidéos, les parcours déductifs et les jeux de stratégies. Tous entraînaient les compétences visuo-spatiales. Ils ont noté l'efficacité de ces entraînements sur les compétences visuo-spatiales. De plus, ils ont examiné la durabilité des effets de ces entraînements. En effet, les post-tests étaient pour certains administrés immédiatement après les entraînements et pour d'autres administrés avec un délai d'une semaine à un mois. Ils ont ainsi pu constater les effets de ces entraînements jusqu'à un mois après. Ils ont également observé le transfert à d'autres tâches non entraînées. Les auteurs ont observé une amélioration générale des compétences visuo-spatiales. Ils n'ont pas noté de supériorité d'un type d'entraînement sur un autre. Cela signifie que les compétences visuo-spatiales peuvent être entraînées de diverses façons. Enfin, ils ont relevé l'influence du sexe des participants, les garçons se sont montrés plus performants lors du post-test.

Levine et ses collaborateurs s'étaient déjà attachés à étudier les inégalités sexuelles concernant les performances spatiales en 1999. Ainsi, les garçons présenteraient davantage de facilités, en particulier lorsqu'il s'agit d'opérer une rotation mentale. Les tâches consistaient à retrouver une figure cible correspondant à l'assemblage de deux figures modèles. C'est dans les tâches où une rotation avait été appliquée entre le modèle et les cibles que les garçons présentaient une compétence d'analyse supérieure. Cette tendance a été retrouvée dans d'autres études (Linn & Petersen, 1985, Voyer, & Bryden, 1995). Une méta-analyse a également été réalisée par Voyer et Bryden. Ils ont repris 286 études. La majorité montrait de meilleures performances spatiales chez les garçons. Là encore, cela dépend de la tâche utilisée. Les tâches demandant une rotation mentale ont favorisé les garçons. Cette « supériorité » serait due à des facteurs biologiques mais aussi à l'expérience (Linn & Petersen, 1985). En effet, les jeux de construction type Lego et les puzzles seraient davantage manipulés par les garçons. Ces activités favoriseraient le développement des habiletés spatiales (Brosnan, 1998; Caldera et al., 1999, Levine, Ratliff, Huttenlocher, & Cannon, 2012). L'utilisation des jeux seraient également différente selon le sexe. Les garçons utiliseraient les blocs de construction pour fabriquer des structures plus complexes alors que les filles les utiliseraient seuls. Il serait intéressant de voir si nous retrouvons cette inégalité dans notre étude. De plus, nous pourrions observer si l'entraînement proposé permet de réduire ces inégalités entre le pré-test et le post-test.

Ainsi, de façon globale, les entraînements proposés ont permis d'augmenter les compétences visuo-spatiales. Nous allons maintenant nous intéresser aux entraînements visuo-spatiaux qui permettraient par transfert d'améliorer les compétences mathématiques.

Une étude de 2014 a été réalisée en ce sens par Mix et Cheng. Ils ont intégré des enfants de 6-8 ans qu'ils ont d'abord testés grâce à des épreuves visuo-spatiales (une épreuve de rotation mentale et une épreuve de relations spatiales). Les enfants ont ensuite été confrontés à une épreuve mathématique les mettant en situation de problèmes type « opérations à trous ». Deux groupes d'entraînement ont été constitués, tous deux entraînant les compétences visuo-spatiales. Le premier groupe d'entraînement « contrôle » était entraîné à l'aide de puzzles. Le deuxième groupe « rotation mentale » était stimulé avec des figures géométriques sur lesquelles des rotations avaient été appliquées. L'enfant devait alors reconnaître des figures cibles en faisant abstraction des rotations. La rotation est dite « mentale » car il ne peut pas faire pivoter les figures matériellement. L'enfant est obligé de mentaliser ces rotations pour répondre aux items proposés. A la fin des entraînements, les enfants ont été re-testés. Les auteurs ont constaté que les enfants des deux groupes ont progressé aux tâches visuo-spatiales (relations spatiales et rotation mentale). Cependant, seuls les enfants ayant bénéficié de l'entraînement « rotation mentale » ont progressé à la tâche mathématique de problèmes type « opérations à trous ».

Un entraînement visuo-spatial pourrait donc permettre d'augmenter les performances mathématiques mais toutes les tâches visuo-spatiales ne pourraient pas remplir ce rôle.

De façon plus récente, en 2017, Cornu et ses collaborateurs ont proposé un entraînement visuo-spatial à des enfants de maternelle entre 4 et 7 ans. Cet entraînement été dispensé sur des tablettes numériques. Les enfants ont été testés au début et à la fin des entraînements pour évaluer objectivement leurs progrès. Les entraînements ont eu lieu deux fois par semaine durant dix semaines. Chaque entraînement avait une durée approximative de 20 minutes. Les enfants étaient confrontés à des tâches visuo-spatiales très diverses : des tangrams, des copies et des complétions de figures, des tâches de symétrie, de rotation... Cela dans le but de stimuler au maximum toutes les habiletés visuo-spatiales. Leurs résultats montrent que les habiletés visuo-spatiales des enfants ont progressé entre le pré-test et le post-test. Toutefois, les auteurs n'ont pas pu objectiver de progrès de ce groupe aux subtests de mathématiques. Différentes hypothèses ont été avancées par les auteurs pour expliquer cela. Tout d'abord, ils supposent une possible influence du niveau socio-économique des enfants car il n'a pas été analysé précisément dans leur étude. Or, d'autres études ont montré une influence du niveau socio-économique et des activités pratiquées à la maison sur les compétences visuo-spatiales, notamment celles des filles (Dearing et al., 2012; Melhuish et al., 2008). Cornu et ses collaborateurs rappellent également que dans l'étude de Mix et Cheng en 2014, les tests étaient plus complexes car les enfants étaient plus âgés. Ils proposaient notamment des problèmes à trous. Cornu et ses collaborateurs supposent donc que les tâches mathématiques proposées ne mobilisaient pas suffisamment les compétences visuo-spatiales. Les effets de leur entraînement n'ont donc pas pu être démontrés par leurs résultats. Les auteurs ont également observé que leurs entraînements ne comportaient pas de tâches rotation mentale. Or, cette habileté visuo-spatiale avait été entraînée spécifiquement par Mix et Cheng en 2014. Par ailleurs, ils supposent que la tablette numérique, malgré ses qualités dynamiques ne proposait pas de représentation en 3D « manipulable ». Les effets sont donc différents d'une stimulation type « papier crayon » où les supports sont concrets.

Cornu et ses collaborateurs soulignent également que les entraînements étaient dispensés de manière identique, dans le même ordre pour tous les enfants. Ils supposent que les effets auraient pu être différents si les entraînements avaient été adaptés au profil de chaque enfant. Enfin, les auteurs rappellent que peu d'études ont jusqu'alors observé les effets d'un entraînement visuo-spatial sur les compétences mathématiques précoces.

Ainsi, à ce jour, la littérature scientifique ne permet pas de conclure sur la pertinence de proposer un entraînement visuo-spatial. Certaines études ont montré une généralisation aux mathématiques (Mix et Cheng, 2014), d'autres n'ont pas pu la mettre en évidence (Cornu, Schiltz, Pazouki, & Martin, 2017). Il est donc tout à fait justifié de proposer à nouveau ce type d'entraînement en tenant compte des points de discussion de ces études. Nous proposerons donc des tâches de rotation mentale. Nous ferons également en sorte que l'évaluation que nous proposerons en pré-test et en post-test soit suffisamment précise pour apprécier les effets d'un entraînement visuo-spatial. Ainsi, les aptitudes visuo-spatiales seront évaluées. Le transfert aux mathématiques sera testé grâce à une épreuve de complétion de ligne numérique et de comparaison de nombres symboliques (mettant également en jeu la ligne numérique mentale). La population de notre étude est cependant trop jeune pour se voir proposer une tâche de problèmes.

.4. Objectifs et hypothèses

L'objectif de cette étude est d'identifier les compétences permettant de favoriser l'apprentissage des mathématiques afin de savoir comment les stimuler. A long terme et probablement grâce à de futurs mémoires, cela permettra d'améliorer la rééducation précoce des troubles de la cognition mathématique. En effet, aujourd'hui, beaucoup d'orthophonistes se trouvent démunies par rapport à cette prise en charge.

Cette étude étant la première d'un long travail, nous nous intéressons au développement normal des apprentissages mathématiques. Le domaine de la pathologie sera également étudié dans de futurs mémoires.

Il s'agit pour le moment d'examiner si une stimulation précoce permettrait d'améliorer les compétences numériques et de remédier à un éventuel retard chez des enfants en difficulté.

Dans ce mémoire, nous nous intéressons plus précisément à l'entraînement des compétences visuo-spatiales. Le contexte théorique exposé ci-dessus nous fait supposer qu'elles constitueraient une base cognitive importante pour les apprentissages mathématiques.

Par ailleurs, leur entraînement ne permet pas toujours de transfert aux apprentissages mathématiques (Mix et Cheng, 2014 ; Cornu et al. 2017). Les études sur le sujet sont cependant peu nombreuses et les points de discussion de l'étude de Cornu et ses collaborateurs ont été pris en compte dans notre étude. Les enfants du groupe « visuo-spatial » bénéficieront ainsi d'un entraînement de rotation mentale.

L'hypothèse serait donc qu'un entraînement visuo-spatial permettrait d'améliorer les compétences mathématiques précoces de manière comparable à un entraînement numérique.

Méthodologie

Le présent projet a été évalué par le Comité d'Éthique d'Établissement de l'Université de Lille 3. Le Comité a émis un avis favorable (2017-1-S55) à la mise en place du projet. La CNIL a autorisé le traitement des données sous couvert du respect de l'anonymat des participants (traitement n° SC20171127-001).

Nous avons pu bénéficier de la collaboration de multiples partenaires, à savoir l'Université de Lille (SCALab), l'Université du Luxembourg, l'ESPE (Ecoles Supérieures du Professorat et de l'Education) et l'Education nationale. Cette collaboration a fait l'objet d'une convention de partenariat.

Les parents des enfants participants ont fourni leur consentement libre et éclairé par écrit et les enfants ont consenti verbalement à participer aux activités. Une lettre d'information (Annexe 1) présentant l'étude accompagnée du formulaire de consentement (Annexe 2) ont été distribués à chaque parent par les enseignants afin de recueillir les autorisations parentales.

Des questionnaires parentaux (Annexe 3) étaient également joints afin de recueillir des données sur les habitudes de vie relatives à l'usage des supports de jeux (i.e, tablette numérique; jeux de société) que nous souhaitions étudier.

Nous étions six étudiantes en dernière année d'orthophonie à tenir le rôle d'expérimentateur. Pour les prétests et les post-tests, nous avons reçu l'aide d'étudiantes de quatrième année qui poursuivront ensuite cette étude pour leur mémoire respectif.

.1. Participants

Au total, 195 enfants ont été recrutés dans 5 écoles de la circonscription d'Arras, dans la région des Hauts de France. Ils sont issus de 8 classes différentes. Les enfants étaient âgés de 3 à 7 ans (âge moyen = 5,17 ans) et étaient scolarisés en classe de moyenne (MS) et grande section (GS) de maternelle. La figure 2 présente le suivi des effectifs.

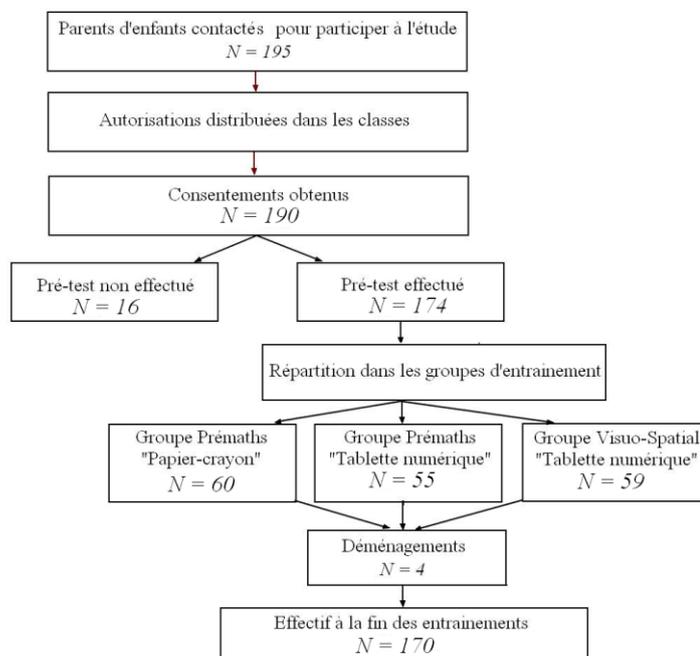


Figure 2. Suivi et répartition des effectifs

Le critère d'inclusion pour participer à l'étude était le niveau scolaire. Les enfants étaient scolarisés soit en classe de MS, soit en classe de GS. Ainsi ils n'avaient pas reçu les premiers apprentissages mathématiques formels à l'école. Ont été exclus de l'étude les enfants possédant un dossier MDPH ou n'ayant pas d'autorisation parentale. A la demande des établissements scolaires et pour faciliter l'organisation de la classe, ceux-ci ont tout de même participé aux ateliers de stimulation mais n'ont pas été testés et aucune donnée les concernant n'a été enregistrée et/ou traitée.

Chaque enfant a été réparti dans un groupe et a reçu un des 3 types d'entraînements.

Afin que les entraînements soient comparables, la répartition des enfants participants à l'étude a été équilibrée dans chaque groupe en nombre de filles et de garçons, en niveaux scolaires (MS/GS), et en niveaux de performance scolaire.

La mise en place de l'intervention ayant pris du retard, le traitement statistique des données issues des pré-tests n'a pu être effectué avant la répartition des enfants dans les différents groupes. Nous avons donc pu compter sur la connaissance des enseignants de leurs élèves et leur avons confié la charge de cette répartition.

Tableau 1. Description des effectifs par groupe d'entraînement

<u>Effectifs</u>	MS	GS	Garçons	Filles	Age Minimum	Age Moyen	Age Maximum	Total
Pré-maths	21	34	33	22	3,1	5,14	7,2	55
CVS	21	34	34	21	4,1	5,17	6	55
Papier- crayon	18	42	36	24	4,1	5,22	6	60
Total	60	110	103	67	3,1	5,17	7,2	N=170

Le tableau 1 présente la répartition des enfants participants à l'étude par groupe d'entraînement. Celle-ci est équilibrée en terme de sexe et de niveau scolaire. Un traitement statistique des facteurs cognitifs généraux mesuré chez les enfants nous apprendra si la répartition est également équilibrée en terme de niveau cognitif général et numérique.

.2. Procédure et matériel

Le design pré-tests/entraînements/post-tests a été repris de l'étude effectuée par Cornu et collaborateurs en 2017. Les pré-tests ont servi à mesurer les performances numériques des enfants avant l'entraînement.

L'entraînement ciblait le développement des compétences numériques par l'utilisation d'un support tablette numérique et et d'un support de type « papier-crayon ». Les post-tests permettront de mesurer les progrès effectués suite à l'entraînement pour chaque support. Nous pourrons ainsi comparer leur efficacité respective.

L'intervention s'est déroulée entre le mois de janvier 2018 et le mois de juin 2018. Les pré-tests se sont étalés sur trois semaines. Les entraînements ont duré 8 semaines, à raison de deux sessions de 20 minutes par semaine. Nous avons prévu un total de 16 sessions d'entraînement par enfant. Les post-tests ont été programmés sur une durée de trois semaines.

.2.1. Tests utilisés pour les phases de Pré-test et de Post-test

Le matériel pour le pré-test se composait d'un protocole papier ainsi que d'un livret de passation sous format papier. Aucun test n'était effectué par informatique. Une grande partie des tests proposés sont inspirés du protocole de l'équipe luxembourgeoise ayant développé les entraînements sur outils numériques (Cornu et al., 2017). L'annexe 4 présente les différentes épreuves administrées lors de la phase des pré-tests et des post-tests ainsi qu'un descriptif de chaque tâche.

La mesure portait sur les facteurs cognitifs généraux (i.e, intelligence non verbale, mémoire de travail, mémoire à court terme, mémoire visuo-spatiale) et les facteurs cognitifs spécifiques (i.e, SNE & SNA). Concernant la mesure des compétences mathématiques, certains subtests évaluaient les habiletés numériques précoces. D'autres subtests évaluaient des compétences numériques plus avancées, telles que la capacité à faire des additions avec des chiffres arabes, ou encore la connaissance des chiffres arabes jusqu'à 99.

Les compétences visuo-spatiales et les gnosies digitales ont été intégrées au testing car on sait qu'elles sont corrélées avec le développement des compétences mathématiques.

Chaque enfant a été testé individuellement sur le temps de la classe, dans une salle à part. La durée d'un test était de 40 à 60 minutes par enfant. Les consignes à donner à l'oral étaient spécifiées sur le protocole afin de limiter les biais relatifs au testeur.

Les post-tests se dérouleront au mois de mai. Le même protocole sera utilisé, excepté le subtest « Matrices non verbales de la WNV » (1) évaluant l'intelligence non verbale.

.2.2. L'entraînement

Les entraînements ont eu lieu sur le temps de la classe, les enseignants ont pu participer avec nous à l'administration des entraînements.

Sur les 16 sessions prévues initialement, au total 14 sessions ont réellement été effectuées. En moyenne, les enfants ont participé à 12 sessions d'entraînement de 20 minutes chacune. Les deux sessions prévues chaque semaine étaient administrées sur deux jours différents. Le nombre de séances suivies par chaque enfant a été comptabilisé et cette donnée sera intégrée aux analyses statistiques.

.2.2.1. Constitution des groupes d'entraînement

Trois types d'entraînement ont été constitués comme variables indépendantes:

- ✦ Un entraînement des habiletés numériques précoces utilisant un support type jeux de société, nous l'appellerons « papier-crayon ».
- ✦ Un entraînement ciblant les mêmes habiletés mais utilisant le support tablette numérique, nous l'appellerons « pré-maths ».
- ✦ Un entraînement ciblant les capacités visuo-spatiales, également sur tablette numérique, il sera nommé « CVS ».

Les groupes de travail « papier-crayon » étaient généralement constitués de 4 enfants. Le support tablette offrant une plus grande autonomie, les groupes de travail « pré-maths » et « CVS » comportaient 6 enfants. Le nombre d'enfants a été réparti équitablement par type d'entraînement (tableau 1).

Les activités des entraînements se complexifiaient progressivement. Les entraînements « pré-maths » et « papier-crayon » ont été appariés en difficulté et en type de tâches. Ceci permettra

de comparer l'efficacité d'une stimulation concrète versus une stimulation sous format numérique.

Un entraînement spécifique des CVS permettra, dans la poursuite des travaux de Cornu et ses collaborateurs (2017), d'objectiver et d'évaluer les progrès dans le domaine des mathématiques d'enfants recevant une stimulation de type visuo-spatiale.

.2.2.2. Groupe « papier-crayon »

Pour le groupe « papier-crayon » des stimulations concrètes type jeux de société ont été proposées. La manipulation de dés, de jetons et/ou de cartes était possible de même qu'un format de jeu individuel ou collectif. Des plateaux de jeux linéaires ont été proposés en accord avec les données issues de la littérature.

Le but de cet entraînement était de favoriser le développement des compétences numériques. La cible de l'entraînement étaient les compétences numériques précoces favorables au développement ultérieur des compétences mathématiques. Les activités ont été élaborées de manière à stimuler les trois types de représentations numériques décrites dans le modèle du triple code de Dehaene (i.e, analogique, auditivo-verbale, visuelle arabe).

La chaîne numérique travaillée allait de 1 jusqu'à 10.

La plupart des activités étaient proposées de manière redondante, afin de favoriser les apprentissages avec une progression de la difficulté par augmentation de la numérosité. Les premières numérosités, que ce soit dans le domaine analogique ou symbolique, allaient jusqu'à 3. Puis de semaine en semaine, la numérosité augmentait pour atteindre la numérosité cible de 10 dès la quatrième semaine.

Afin de compléter le matériel déjà existant, quelques activités supplémentaires ont été fabriquées par les étudiantes participant à ce projet, toujours en conformité avec la littérature et de manière appariée avec les activités « pré-maths ». Le détail des activités « papier-crayon » se trouve à l'Annexe 5.

.2.2.3. Groupe « pré-maths »

Les activités sur tablette « pré-maths » étaient constituées par des activités mobilisant des compétences mathématiques similaires aux activités « papier-crayon ». La progression et le type de tâche étaient appariés entre les deux groupes. Les activités ont été dispensées grâce à l'application « MaGrid » développée par l'équipe luxembourgeoise de Cornu et ses collaborateurs. Les tablettes numériques tactiles (I-Pads) nous ont été prêtées par l'ESPE.

Chaque enfant disposait d'une tablette. Il s'identifiait grâce à un QR code, garantissant l'anonymisation des données. Chaque activité était également associée à un QR code.

Les tablettes proposaient un support exclusivement visuel et non verbal (code arabe ou analogique). Toutefois, pour certaines activités, un livret modèle devait être présenté aux enfants pour leur permettre d'accomplir l'activité. Cette présentation était accompagnée de consignes verbales, d'une lecture de numérosités (code verbal). Les trois codes (i.e, analogique; verbal; arabe) ont donc été entraînés.

Les performances des enfants lors des activités ont été enregistrées sur le logiciel et pourront faire l'objet d'une étude future.

Tout comme pour les activités « papier-crayon », les tâches proposées étaient redondantes afin de consolider les acquisitions de l'enfant. Certaines activités étaient réalisées de manière individuelle, avec une aide possible de l'adulte. D'autres activités se déroulaient en

interaction constante avec l'expérimentateur. Le détail des activités « pré-maths » se trouve à l'Annexe 6.

.2.2.4. Groupe « capacités visuo-spatiales »

Ici encore, le logiciel MaGrid développé par l'équipe luxembourgeoise a été proposé avec le même type de fonctionnement. La tablette se transformait en ardoise électronique, permettant à l'enfant de reproduire les modèles. L'identification des enfants et le lancement des activités se faisait également grâce à des QR Codes. Certaines activités étaient aussi dépendantes d'un livret papier. Le détail des activités « CVS » se trouve à l'Annexe 7.

La cible de cet entraînement était la stimulation des capacités visuo-spatiales. L'objectif était d'observer les effets d'un entraînement des CVS sur le développement des capacités mathématiques. Ceci dans la poursuite de l'étude réalisée par Cornu et collaborateurs (2017).

Pour des raisons pratiques, les stimulations visuo-spatiales ont uniquement été proposées sur tablette et non sur support « papier-crayon ». Les activités n'ont donc pas été appariées avec un autre groupe. Nous avons veillé à ce que les tâches soient redondantes, à l'image des stimulations mathématiques pour favoriser les apprentissages.

Résultats

L'analyse statistique des données issues du pré-test fera l'objet de travaux futurs. Nous proposons de présenter les scores bruts et de fournir une analyse qualitative des protocoles de deux enfants. L'un d'eux est scolarisé en moyenne section, l'autre en grande section. L'analyse statistique des données issues des questionnaires fera également l'objet d'une étude future. Toutefois, trois données ont déjà pu être recueillies et traitées et sont ici présentées. Nous présentons également l'analyse du nombre de sessions administrées par entraînement. Dans l'anticipation de travaux futurs, nous détaillerons l'ensemble des analyses possibles suite au recueil des données de notre étude.

.1. Le pré-test: analyse de deux protocoles

Cette analyse préliminaire permettra de fournir une indication du niveau de compétence initial des enfants. Pour ce faire, nous avons sélectionné des protocoles d'enfants sans particularité. Ils n'ont pas présenté de difficultés attentionnelles lors du testing et leurs performances semblent se situer dans la moyenne de ce que nous avons généralement observé. Les scores bruts sont fournis à titre indicatif, ils ne sont pas destinés à être comparés à une norme mais permettront de mesurer une évolution entre deux instants t (le pré-test et le post-test).

Les tableaux 3 et 4 présentent les scores bruts obtenus aux subtests mesurant les compétences numériques dites analogiques et symboliques. Les subtests évaluant le traitement visuo-spatial ont été intégrés dans le tableau 3 car on sait qu'il est corrélé aux compétences numériques de base.

Tableau 3. Subtests mesurant les facteurs cognitifs spécifiques reliés aux compétences analogiques (SNA)

Subtest Classe	Aptitudes visuo-spatiales (2a; 2b)	Relations spatiales (2c)	Comparaisons non symboliques (5d) (*)	Additions avec support digital (8a)
MS	8/20	7/44	5/11	0/6
GS	15/20	21/44	13/13	0/6

(*)nombre de bonnes réponses/nombre d'éléments désignés

.1.1. Evaluation des compétences visuo-spatiales

Les deux enfants ont partiellement échoué aux épreuves relations spatiales (2c) et aptitudes visuo-spatiales (2a et 2b). En effet, les enfants ont eu des difficultés à reproduire les différentes figures et la discrimination de l'orientation spatiale des figures ne semblait pas encore acquise.

Dans l'épreuve relations spatiales (2c), la reproduction de figures simples est généralement réussie mais les enfants ont rencontré des difficultés pour les figures complexes (avec davantage de points ou comportant des traits à réaliser en diagonale). Les enfants ont également eu des difficultés à se repérer sur la grille, certains points ont en effet été touchés par erreur. Le tracé manquait parfois de précision avec des points non touchés.

Les capacités de traitement visuo-spatial n'étaient pas identiques chez tous les enfants testés, étant donné l'hétérogénéité des résultats. Certains enfants réussissant totalement les tâches alors que la majorité des autres étaient davantage en difficulté.

.1.2. Evaluation des compétences numériques analogiques

La tâche de comparaison de nombres de points est réussie chez l'enfant de GS mais échouée chez l'enfant de MS. Le subtest addition avec support digital a été complètement échoué pour les deux enfants. Concernant ces compétences analogiques, une minorité d'enfants a réussi totalement la tâche mais la majorité semble avoir rencontré des difficultés. Nous avons noté des stratégies diverses à la tâche "addition avec support digital" (8a). Certains enfants comptaient sur leurs doigts, d'autres à voix haute. La stratégie était parfois non observable (comptage mental ou récupération en mémoire).

Tableau 4. Subtests mesurant les facteurs cognitifs spécifiques reliés aux compétences symboliques (SNE)

Subtest Classe	Comptage libre jusque (3a)	Manipulation de la chaîne numérique (3b; 3c)	Dénombrement (3d)	Lecture de nombres (4)	Comparaison de nombres 1-9 (5b) (*)	Additions avec chiffres (8b)	Quel est le chiffre manquant? (10)
MS	18	3/10	3/3	5/18	6/15	1/6	3/10
GS	25	4/10	3/3	5/18	5/9	1/6	5/10

(*)nombre de bonnes réponses/nombre d'éléments désignés

.1.3. Evaluation des compétences numériques symboliques

La comptine numérique jusqu'à 10 est acquise chez les deux enfants. Toutefois, on observe que le comptage à l'envers est difficile (3c), la manipulation de la chaîne n'est donc pas encore acquise. Le dénombrement et la lecture de nombres jusqu'à 8 est réussie pour les deux enfants. La comparaison de chiffres arabes entre 1 et 9 ou la complétion de la chaîne numérique arabe engendrent quelques difficultés. Les additions (code arabe) sont échouées.

Ces observations concernant les compétences symboliques sont applicables à la plupart des enfants testés. Cependant, une grande hétérogénéité des performances était également constatée. Certains enfants ne connaissent qu'un ou deux chiffres arabes. D'autres les reconnaissent tous (jusqu'à 29). La comptine numérique jusqu'à 10 n'était pas toujours acquise. Certains enfants ont obtenu des scores maximaux à l'épreuve « Comparaison de nombres » (5b), montrant déjà une bonne connaissance du code arabe jusqu'à 9.

.1.4. Sensibilité du Pré-Test

D'une manière générale les épreuves administrées lors du testing ont montré une bonne sensibilité, on remarque peu «d'effet plafond». Des progrès pourront donc être objectivés lors de la phase post-test.

L'épreuve la moins sensible, c'est-à-dire la plus fréquemment réussie, était l'épreuve « Dénombrement »(3d). Celle-ci ne comptait que trois items.

L'épreuve « Comparaisons non symboliques » (5d), souvent réussie, présente un nombre d'items suffisant pour mesurer une progression chez l'ensemble des participants.

Les épreuves qui ont semblé plus difficiles étaient celles évaluant la manipulation de la chaîne numérique verbale (3b et 3c), la lecture de nombres (4), les additions symboliques et non symboliques (8a et 8b) et la complétion de la chaîne arabe (10).

Certaines des épreuves évaluaient des compétences numériques plus avancées, notamment les subtests « Comparaison de nombres à deux chiffres » (5c) et « Addition avec chiffres » (8b). Peu de progression devrait donc être constatée pour ces dernières épreuves, car les compétences numériques qu'elles évaluent ne seront pas entraînées.

.2. Les questionnaires parentaux: analyse de 3 données

Nous avons récolté des informations concernant l'usage des supports utilisés dans notre étude au sein de l'environnement familial.

Tableau 5. Pourcentage d'utilisation des supports tablette numérique et jeux de société dans l'environnement familial par groupe.

	Pourcentage d'enfants jouant aux jeux de société	Pourcentage d'enfants jouant aux tablettes	Pourcentage d'enfants possédant une tablette
Groupe "Pré-maths"	92,7 %	61,8 %	29 %
Groupe "CVS"	100 %	56,4 %	30,9 %
Groupe "Papier-Crayon"	91,6 %	65 %	46,6 %

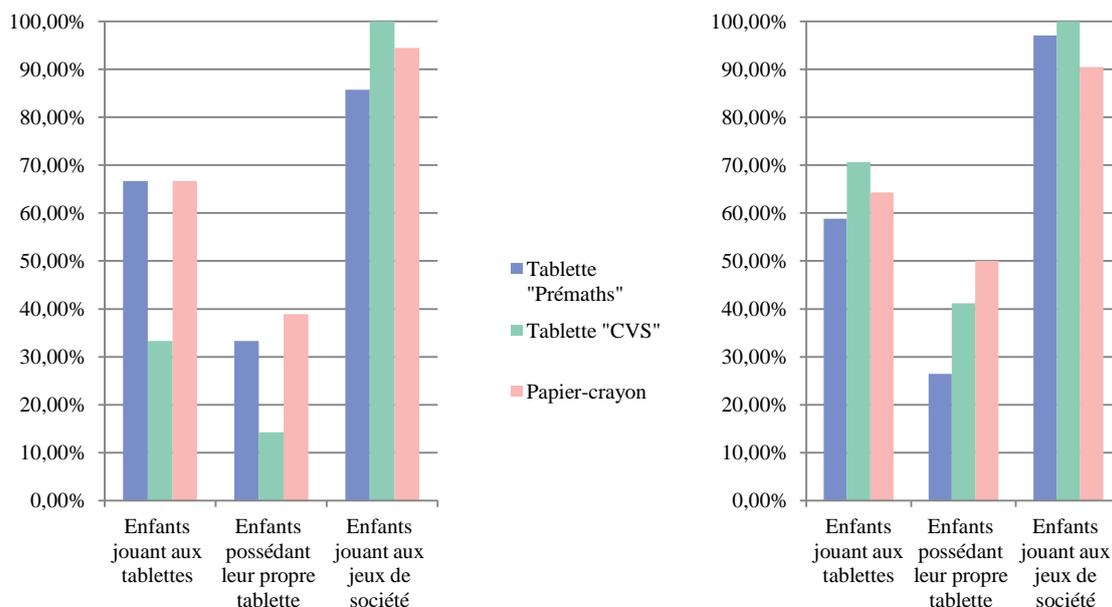


Figure 3: Utilisation des supports tablettes et jeux de société dans l'environnement familial des enfants de MS (à gauche) et de GS (à droite).

Le tableau 5 et la figure 3 présentent les pourcentages des trois données récoltées sur l'ensemble des questionnaires distribués auprès des parents. Il sera également intéressant d'examiner si la possession de sa propre tablette entraîne un usage plus important de celle-ci. Un peu plus de la moitié des enfants utilisent la tablette numérique à la maison. Environ un quart des enfants possèdent leur propre tablette numérique. La quasi-totalité de notre effectif joue régulièrement aux jeux de société. Ce serait le support le plus fréquemment utilisé. La fréquence d'usage des deux supports semble être équitablement répartie entre les MS et les GS. On remarque cependant que les enfants en MS du groupe « CVS » utiliseraient beaucoup moins le support tablette numérique, c'est d'ailleurs une tendance globale du groupe « CVS ». Enfin, on observe que les enfants du groupe « papier-crayon » seraient plus nombreux à posséder leur propre tablette.

.3. Nombre de sessions d'entraînements

Initialement, nous avons prévu de réaliser 16 sessions d'entraînement. Cependant, les écoles ayant été parfois indisponibles, certaines sessions ont été annulées. Pour la majorité des classes, nous avons administré 14 sessions d'entraînement. Il existe cependant une variabilité du nombre de sessions administrées entre les classes. Celle-ci devra être prise en compte lors des futurs calculs. Vous trouverez en Annexe 8 la moyenne du nombre de sessions suivies par type d'entraînement et par classe. Le tableau 6 présente le nombre moyen de sessions administrées par groupe.

Tableau 6. Moyenne du nombre de sessions administrées par enfant pour chaque entraînement

Groupe d'entraînement	Tablette « Prémaths »	Tablette « CVS »	Papier-Crayon	Min/max
Nombre moyen de séances d'entraînements suivies	12,4	12,5	12,8	11/14

Le nombre de sessions est équilibré entre les différents types d'entraînement avec une moyenne de 12 sessions d'entraînement effectuées. Cette moyenne a été calculée à partir du recueil du nombre de sessions suivies par chaque enfant.

La figure 4 montre que le nombre de sessions d'entraînement a été globalement équilibré entre tous les groupes d'entraînement et pour toutes les classes. On constate que la classe 6 a bénéficié d'un nombre inférieur d'entraînements.

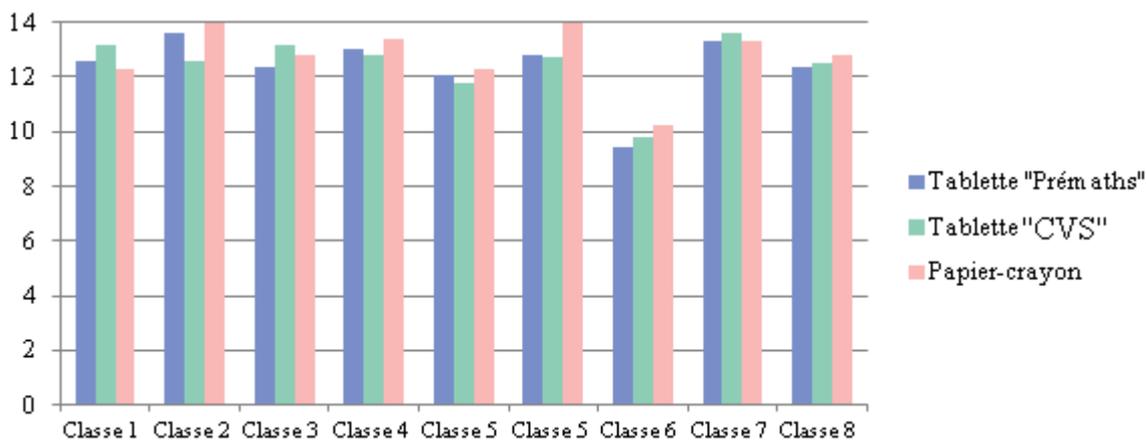


Figure 4: Moyenne du nombre de séances effectuées par classe et par groupe d'entraînement

.4. Recueil de données et analyses

Notre recueil de données permettra d'effectuer des analyses statistiques objectivant la progression des enfants au regard des entraînements. Ces analyses permettront de répondre à des questions spécifiques.

.4.1. Données issues du questionnaire

Des analyses corrélationnelles seront effectuées. Celles-ci nous permettront d'établir ou non un lien entre la fréquence d'usage de chaque support (i.e, tablette numérique, jeux de société) et les habiletés cognitives et numériques précoces mesurées lors du pré-test. Nous pourrions également mesurer l'influence de la fréquence d'usage de chaque support sur certains facteurs cognitifs généraux (i.e, QI, mémoire à court terme, mémoire de travail).

De plus, nous pourrions approfondir nos connaissances sur le type de jeux susceptibles de favoriser le développement des habiletés numériques précoces. Des corrélations entre les compétences numériques précoces et les jeux pratiqués pourront être recherchées. Ainsi, les réponses concernant les types de jeux et les résultats aux prétests seront croisées. Trois questions permettaient d'établir ces corrélations: les types de jeux sur tablette (action et aventure, éducatif, jeux de société), les types de jeux de société (i.e, jeux de cartes, jeux de plateau, jeux de chiffres et lettres) et les autres types de supports que ceux étudiés (i.e télévision, jeux vidéo, jeux manuels).

Il sera également possible d'examiner le lien entre la possession d'une tablette par l'enfant et la fréquence d'utilisation de celle-ci.

Enfin, nous pourrions examiner la fréquence d'utilisation de tous les supports virtuels (i.e, tablette numérique, télévision, jeux vidéo) et de tous les supports « concrets » (i.e, jeux de société, jeux manuels). Ainsi, nous pourrions observer si utiliser plus souvent des supports concrets ou virtuels influence les performances numériques des enfants de façon significative.

.4.2. Données issues du pré-test

Les mesures effectuées lors des pré-tests nous permettront de nous positionner par rapport au lien entretenu entre « habiletés numériques précoces » et « facteurs cognitifs généraux » (i.e., QI, mémoire de travail) par le biais d'analyses corrélationnelles.

Des liens pourraient également être établis entre les capacités visuo-spatiales et les capacités de traitement numérique, à la fois dans le domaine analogique et le domaine symbolique.

Le lien existant entre les performances numériques analogiques et les performances numériques symboliques (i.e, SNA & SNE) pourra être examiné.

Une analyse appliquée à l'âge des enfants permettrait de décrire un éventuel effet lié à l'âge sur le développement des compétences numériques.

De même, lors de la récolte des données issues des post-tests, nous pourrions nous positionner quant à l'existence d'un effet relié au type de support utilisé (i.e, tablette numérique, jeux de société) sur le développement des habiletés numériques précoces.

Enfin il sera possible de comparer l'efficacité d'un entraînement des capacités visuo-spatiales avec l'efficacité d'un entraînement des habiletés numériques précoces.

Discussion

.1. Population

.1.1. Effectifs, sexe, niveau socio-économique

Dans cette étude, nous avons obtenu la participation de 170 enfants. Un échantillon égal sera recruté sur l'année 2018-2019. Cela devrait représenter un total d'environ 300 enfants. Les résultats seront donc potentiellement généralisables aux enfants de cette classe d'âge. Nous obtiendrons ainsi des conclusions sur les moyens de stimulations efficaces des compétences mathématiques précoces.

Notre effectif comportait 103 garçons et 67 filles. Le fait d'avoir intégré 8 classes différentes n'a donc pas suffi à équilibrer les deux sexes. Par ailleurs, on remarque dans chacune des classes un plus grand nombre de garçons que de filles. Cette variable aurait donc été difficile à équilibrer, quelle que soit la taille de l'échantillon inclus. Nous avons cherché à compenser cette différence en équilibrant le nombre de garçons et de filles dans chacun des groupes. Ainsi, tous les groupes comptent environ la même proportion de garçons que de filles.

Les enfants ont été recrutés dans différentes écoles de la circonscription d'Arras. Ces écoles sont pour certaines dans un milieu rural, d'autres dans un milieu urbain. L'objectif était de balayer des milieux socio-économiques variés. Nous n'avons cependant intégré aucune classe classée ZEP (zone d'éducation prioritaire).

.1.2. Stimulations mathématiques externes, niveau global des enfants

Ces enfants recevaient tous une stimulation aux compétences mathématiques précoces via les programmes scolaires suivis par les enseignants de l'Education Nationale. Les stimulations proposées à la maison ont été observées grâce à la distribution des questionnaires.

La passation des prétests nous a montré que les enfants inclus à notre étude étaient globalement d'un niveau varié. Cela sera confirmé par les futures analyses statistiques. Par ailleurs, une minorité d'enfants a obtenu d'excellents résultats, provoquant un effet plafond dès le prétest. Notre objectif étant d'entraîner les compétences numériques précoces chez les enfants en difficulté, ces enfants n'étaient pas la cible de notre étude. Cet effet plafond ne devrait donc pas poser de problème.

.1.3. Constitution des groupes

Comme vu précédemment, les groupes ont été constitués de manière pseudo-aléatoire. Ils ont été équilibrés en terme de classe, de sexe et de niveau scolaire avec la collaboration des enseignants.

Pour déterminer les effectifs par groupe de travail, deux paramètres ont été pris en compte. Le premier était la demande des enseignants de voir les entraînements occuper le minimum de temps scolaire possible. Le deuxième était la faisabilité du groupe avec N = nombre d'enfants pour un adulte. De ce fait, nous avons défini que les groupes « papier-crayon » comporteraient chacun 4 enfants. En effet, pour ce groupe, la participation de l'adulte était omniprésente pour accompagner les enfants et leur donner un feed-back. Pour les deux groupes tablette, nous avons constitué des groupes de 6 enfants. En effet, la tablette fournissant déjà un feed-back, les enfants pouvaient être plus autonomes.

.2. Questionnaires

Les questionnaires nous permettaient d'étudier la familiarité des enfants vis-à-vis des différents supports d'entraînement. Une première question globale proposait aux parents de noter différentes activités selon la fréquence à laquelle y participaient les enfants (télévision, tablette numérique, jeux de société, jeux manuels et jeux vidéos).

Ensuite, 5 questions étaient dédiées à la tablette numérique tactile : la possession de sa propre tablette par l'enfant, la fréquence et la durée d'utilisation, les types de jeux utilisés et les jeux préférés. Les parents ayant globalement répondu à l'ensemble du questionnaire, les questions semblaient pertinentes.

Par ailleurs, la question sur la fréquence d'utilisation des tablettes devrait peut-être comporter une fréquence moins élevée qu'une fois par semaine. En effet, la majorité des parents ont coché cette case désignant la fréquence minimum. Nous avons donc un effet plafond. Certains parents ont même rajouté manuellement d'autres fréquences telles qu'une fois toutes les deux semaines ou une fois par mois. On retrouve le même phénomène pour la fréquence d'utilisation des jeux de société.

De plus, la question sur la durée d'utilisation des jeux de société devrait proposer des durées inférieures à « 5h par semaine ». En effet, la majorité des parents ont coché cette case. Cela ne nous permet pas d'être précis quant à la durée de jeu exact. Un étalonnage allant progressivement d'1 à 5h par semaine aurait sans doute été plus pertinent.

L'analyse des questionnaires nous a permis de constater que l'ensemble des enfants jouaient régulièrement aux jeux de société. Cependant, ces réponses ont pu être biaisées par les campagnes de prévention actuelles. En effet, celles-ci encouragent les parents à jouer aux jeux de société avec leur enfant. On suppose donc un biais de désirabilité sociale, d'autant

plus que les questionnaires étaient rendus aux enseignants avant de nous être transmis. Certains parents ont sans doute voulu faire bonne impression.

Concernant l'utilisation des tablettes, nous avons observé que la plupart des enfants y avaient accès. De plus, l'accès aux tablettes était globalement équilibré entre nos trois groupes d'entraînement. On peut seulement relever une utilisation moindre de ce support pour les enfants de moyenne section du groupe tablette visuo-spatial. Il conviendra donc d'être attentif à cet élément lors de l'analyse des résultats.

Par ailleurs, les écoles intégrées disposaient pour certaines d'un accès au support informatique. Ce n'était pas le cas pour toutes. Les écoles avaient également chacune leur propre fréquence d'utilisation des jeux de société. Nous ne nous sommes aperçus de cette variabilité qu'une fois rendus dans les écoles pour débiter l'intervention. Nous n'avons donc pas pu intégrer cette donnée au questionnaire. Celui-ci ayant été distribué avant notre arrivée. Cette mesure devra cependant être ajoutée par la suite.

Enfin, il convient de relever que le questionnaire ne comportait aucune question sur les domaines mathématiques et les compétences visuo-spatiales. En effet, nous pensions au départ intégrer des questions sur les activités mobilisant les nombres (la réalisation de recettes par exemple) ou mobilisant les compétences visuo-spatiales (les jeux de construction ou les puzzles). Toutefois, nous avons décidé de ne garder que les questions globales concernant l'usage des supports d'entraînement (tablettes et jeux de société). Ceci dans le but de ne pas alourdir le questionnaire et d'obtenir un maximum de réponses.

.3. Les entraînements

.3.1. Durée et déroulement des entraînements

Les séances d'entraînement avaient une durée effective de 20 minutes. La durée nous a semblé adaptée aux capacités de concentration d'enfants de cet âge. Les activités sur tablette occupaient généralement le temps imparti. Elles se réalisaient par groupe, cela créait un climat d'émulation et d'entraide qui a semblé profitable aux enfants.

Par ailleurs, nous désirions procurer une stimulation équivalente à tous les enfants. Nous avons pour cela veillé à équilibrer et calibrer la durée des activités des trois groupes. Le temps a parfois été une contrainte chez les enfants très en difficulté. Toutefois, les enfants ont généralement réussi à terminer les activités dans leur intégralité.

.3.2. Supports d'entraînement des activités « pré-maths » sur tablette

Pour les activités tablettes, nous avons réutilisé les supports fournis par une équipe de l'Université du Luxembourg (Cornu et al., 2017). Ces auteurs se sont appuyés sur les données de la littérature pour les construire. Ces applications nous ont semblé adaptées aux capacités des enfants. Elles ont aussi l'avantage d'être dynamiques, d'un design séduisant, et elles proposent un feed back immédiat à l'enfant. Les activités étaient de type analytique. Cependant, les enfants ont par eux-mêmes créé un climat de jeu et de compétition pour terminer les activités. Cela les a motivés tout au long des entraînements. Nous avons classé les activités de manière à ce que la complexité soit croissante. Les différents items des activités avaient déjà été ordonnés par l'équipe luxembourgeoise. Nous avons globalement trouvé cette progression adaptée. Par ailleurs, nous regrettons de ne pas avoir eu la possibilité d'apporter quelques modifications à l'application « Magrid ». En effet, nous n'avons pas pu

utiliser les activités mobilisant uniquement le code verbal car ces activités étaient enregistrées en langue allemande. Le code verbal a quand même été stimulé mais toujours accompagné du code arabe ou analogique. Le code verbal était alors énoncé par l'expérimentateur.

.3.3. Supports d'entraînement des activités « papier-crayon »

Pour les groupes « papier-crayon », nous avons à la fois réutilisé du matériel nous venant de l'équipe du Luxembourg et à la fois du matériel de notre propre création. Nous avons toujours veillé à appairer les activités « papier-crayon » avec les activités tablettes « prémaths ». Ainsi, les enfants étaient stimulés avec les mêmes numérosités, à l'aide de tâches de même type. Par exemple, si des activités transcodage étaient proposées entre du matériel analogique et des nombres arabes au groupe tablette « prémaths », le même type de stimulation devait être proposé au sein du groupe « papier-crayon ». La seule différence étant que les enfants du groupe « papier-crayon » manipulaient les quantités au travers de jeux concrets alors que les groupes tablettes manipulaient les quantités sur un écran. En effet, nous cherchions à analyser lequel de ces supports se révélerait plus efficace. Certaines études supposent la supériorité des supports « papier-crayon » car ils permettent de matérialiser les quantités et la ligne numérique mentale via les déplacements (Ramani et Siegler, 2008,2011). D'autres études supposent que le support dynamique offert par la tablette se révélerait plus efficace (Christakis, Ebel, Rivara, & Zimmerman, 2004 ; Hayes, Chemelski, & Birnbaum, 1981, Pezdek & Stevens, 1984).

De plus, nous avons veillé à rendre ces activités les plus ludiques possibles. Ceci afin de maintenir la motivation des enfants. En effet, certains ont très tôt manifesté leur désir de manipuler les tablettes. Nous avons donc dû rendre cette activité tout aussi attrayante. Pour cela, nous avons utilisé du matériel esthétique, agréable à manipuler. Nous avons également choisi des activités permettant aux enfants de « gagner ». Globalement, nos stratégies ont payé tout au long des entraînements et les enfants se sont toujours montrés investis.

.3.4. Supports d'entraînement des activités tablette « visuo-spatiales»

Ici encore, nous avons repris le matériel fourni par l'équipe luxembourgeoise. Les entraînements permettaient aux enfants de manipuler des formes géométriques. Ainsi, les tâches à réaliser étaient diverses : reconnaissance, fusion, reproduction, symétrie, tangrams, rotation mentale... La tablette offrait un support dynamique, l'enfant pouvait ainsi, selon la tâche, faire des essais de traits, faire pivoter la figure... Tout comme pour les activités « prémaths », l'interaction avec l'adulte était généralement maintenue. La complexité était progressive du début à la fin des entraînements. Nous avons globalement trouvé cette progression adaptée. Cependant, pour certaines activités, certains items trop compliqués « bloquaient » les enfants et les empêchaient d'accéder aux items suivant. Cela a été compensé par une guidance plus importante de l'expérimentateur.

Par ailleurs, il est regrettable que nous n'ayons pas eu la possibilité de proposer une stimulation visuo-spatiale sur support « papier-crayon ». En effet, Mix et Cheng (2016) avaient obtenu de bons résultats en entraînant les enfants à manipuler des blocs de construction. Sur la tablette, les enfants ne peuvent pas avoir un aperçu du matériel en trois dimensions.

Les données théoriques concernant les activités visuo-spatiales favorisant les compétences mathématiques ont été prises en compte. Ainsi, notre entraînement comportait

des tâches de rotation mentale. La rotation mentale avait été décrite comme le meilleur facteur prédictif de l'acquisition des mathématiques (Mix et Cheng, 2016). De plus, Cornu et ses collaborateurs, en 2017, avaient souligné que leur entraînement n'en comportait pas. Ce serait en partie pour cette raison que leur entraînement ne s'est pas généralisé aux mathématiques. A l'issue des analyses nous pourrions donc nous positionner quant à l'effet de ce type d'entraînement sur les compétences numériques précoces.

.4. L'expérimentateur

Pour maîtriser le biais de l'expérimentateur, nous avons veillé à changer de groupe d'entraînement à chaque séance. De plus, l'importance de notre effectif permet de réduire l'impact de ce biais. Pour des raisons pratiques, nous avons parfois intégré les enseignants à nos entraînements. Ceux-ci ont généralement dirigé des groupes « papier-crayon ». L'installation des tablettes nécessitant une procédure complexe (flashes de QR Codes pour les enfants et pour l'activité).

Nous avons pris soin de former les enseignants aux activités qui leur étaient confiées afin qu'elles soient effectuées dans les mêmes conditions pour tous les enfants. Toutefois, on peut relever chez eux une démarche d'aide différente de la nôtre. Ainsi, les enseignants faisaient en sorte que chaque activité soit acquise par l'ensemble des enfants. Ils prenaient pour cela davantage de temps, quitte parfois à ne réaliser qu'une activité sur les deux prévues. En tant qu'étudiantes, nous essayions plutôt de terminer les activités durant le temps imparti par souci d'équité entre tous les enfants.

.5. Variables parasites, extérieures à l'intervention

Nous avons relevé des variables qui n'ont pas pu être contrôlées. La première étant que nous entraînions les compétences mathématiques précoces. Or, les mathématiques précoces sont par ailleurs travaillées à l'école ou à la maison. A l'école, l'équité entre tous les enfants de l'étude était relativement préservée par le programme scolaire de l'éducation nationale. A la maison, nous avons constaté grâce aux questionnaires que tous les enfants ne recevaient pas une stimulation identique. Cela n'est pas un réel problème puisque notre étude avait pour objectif de combler un éventuel retard, y compris s'il était dû à un défaut de stimulation. Cependant, cela signifie que même durant l'entraînement, les enfants ont bénéficié de stimulations inégales.

Un autre paramètre à soulever ici est que seules les activités mathématiques étaient proposées dans d'autres contextes que le nôtre. Les enfants n'étaient généralement pas familiarisés avec les activités visuo-spatiales qui étaient de ce fait totalement nouvelles. On peut donc supposer une adaptation plus longue aux tâches d'entraînement pour les enfants du groupe « CVS ». De plus, les activités visuo-spatiales étaient beaucoup plus fréquemment décrites comme difficiles par les enfants. Cette inégalité a été compensée par l'insertion de quelques activités « de familiarisation » durant les premières séances d'entraînement. De plus, les activités « papier-crayon » proposaient des jeux de société connus de certains enfants (loto, domino, jeu de plateau) alors que d'autres ne maîtrisaient pas les règles. Ces enfants étaient en situation de double tâche: comprendre les règles et manipuler les numérosités. On peut donc supposer que l'acquisition des numérosités était plus difficile. Pour les groupes sur tablette, nous avons rencontré le même type de variable. Les

questionnaires distribués aux familles ont montré une inégalité d'utilisation entre les enfants.

Enfin, certaines écoles possédaient quelques tablettes et proposaient régulièrement des activités sur tablettes numériques alors que ce n'était pas le cas des autres. Ainsi, les enfants qui avaient l'habitude d'utiliser les tablettes ont pu être à l'aise avec son utilisation beaucoup plus rapidement. Quelques activités très faciles au début des sessions d'entraînement ont cependant permis aux enfants de comprendre très vite l'utilisation des tablettes.

.6. L'évaluation

.6.1. Les épreuves

L'évaluation était globale, testant à la fois les facultés cognitives générales des enfants, les compétences mathématiques précoces, les capacités visuo-spatiales et les gnosies digitales. Les facultés cognitives générales étaient évaluées grâce aux gnosies visuelles non verbales et aux épreuves mnésiques. Les facultés visuo-spatiales étaient évaluées grâce à une épreuve d'aptitudes visuo-spatiales et une épreuve de relations spatiales (relier les points pour reproduire une figure).

L'évaluation comportait également des tâches ciblant les compétences mathématiques précoces : identification de chiffres arabes, comptage, dénombrement, additions de doigts, de chiffres arabes, complétion d'une ligne numérique à trous, comparaisons de chiffres, bissection de lignes numériques en fonction d'une numérosité donnée. Les compétences numériques de base étaient donc évaluées de manière effective.

Toutefois, les tâches de problèmes étaient peu présentes dans l'évaluation. On ne retrouvait ainsi qu'une tâche de complétion de ligne numérique à trous. Or, les compétences visuo-spatiales permettraient l'amélioration de la ligne numérique mentale et des performances en résolution de problèmes (Noel et Crollen, 2015 ; Mix et Cheng, 2012).

L'évaluation devrait donc permettre de mettre en évidence les progrès effectués par les deux groupes entraînés aux activités mathématiques. Concernant les progrès du groupe d'entraînement visuo-spatial, les tâches mathématiques susceptibles de s'améliorer selon la littérature sont présentes mais peu nombreuses (bissection de ligne numérique, complétion de ligne numérique à trous). L'analyse des résultats devra donc en tenir compte pour évaluer les progrès de manière plus précise.

.6.2. Les attentes concernant le groupe visuo-spatial

Les subtests d'aptitudes spatiales permettront d'évaluer les progrès réalisés par les enfants concernant les compétences visuo-spatiales. En effet, les deux tâches d'aptitudes visuo-spatiales (trouver la forme identique, la forme différente) mobilisent la reconnaissance de formes, la prise en compte de l'orientation et la rotation mentale.

Dans la tâche de reproduction de figures, l'enfant doit recopier une figure selon le modèle, il dispose de points, disposés tel un quadrillage pour l'aider. Cette épreuve nécessite une bonne organisation spatiale et la planification des traits qu'il devra réaliser. Cette tâche étant entraînée, l'évaluation post-test permettra d'objectiver les progrès effectués.

Nous allons maintenant nous intéresser aux épreuves susceptibles de montrer un éventuel transfert aux mathématiques. Les données de la recherche amènent à prévoir des progrès à la tâche de ligne numérique à trous (ligne numérique dans laquelle il manque des nombres), à la tâche de bissection de ligne et à la tâche de comparaison de chiffres. En effet, les capacités

visuo-spatiales permettraient particulièrement d'aider la construction de la ligne numérique mentale (Noël et Crollen, 2015).

Par ailleurs, il serait intéressant de réévaluer ces enfants quand ils seront rentrés dans les apprentissages formels. En effet, comme vu par Mix et Cheng (2012), de bonnes capacités visuo-spatiales permettraient de mieux résoudre les problèmes et de faciliter l'acquisition du sens du nombre. Les enfants que nous avons vus ne sont encore qu'en classe de maternelle donc ne peuvent être confrontés à des tâches si complexes. Mix et Cheng (2016) ont ajouté que ces capacités visuo-spatiales permettraient de mieux appréhender les notions mathématiques nouvelles. Cette étude devrait donc être prolongée de façon longitudinale.

Enfin, comme vu précédemment, quelques études évoquent une éventuelle supériorité des garçons concernant les compétences visuo-spatiales (Brosnan, 1998; Caldera et al., 1999, Levine, Ratliff, Huttenlocher, & Cannon, 2012). Il serait donc intéressant de mesurer si nous retrouvons cette inégalité dans notre étude.

.7. Intérêt orthophonique de l'étude

La dyscalculie est un trouble du raisonnement logico-mathématique. Sa remédiation appartient au champ de compétence des orthophonistes au même titre que les autres troubles « dys » comme la dyslexie ou la dysphasie. Cependant, durant nos stages, nous avons pu constater que peu d'orthophonistes prennent en charge ce type de troubles. Cela conduit même certaines orthophonistes à se « spécialiser » dans la rééducation des troubles de la cognition mathématique. Cependant, ces formations différentes indiquent l'absence de consensus.

Pour toute prise en charge, il a été démontré que la précocité de la rééducation est essentielle (Halpern, 2000). Cela permettant d'éviter l'accumulation d'un retard dans les apprentissages qui va souvent de pair avec une baisse de l'estime de soi (Bariot et Bourcet, 1994). Par ailleurs, la prévention appartient au champ de compétence des orthophonistes. Pour proposer une prise en charge précoce, il est nécessaire de rééduquer les pré-requis nécessaires aux futurs apprentissages.

De nombreuses études nous ont permis de connaître les pré-requis au langage écrit avant l'entrée en CP (Scarborough, 1998, Boutreux, 2002, in Van Hout, 2001, Sprenger-Charolles et Khomsi, 1989). Ainsi, en tant que futures orthophonistes, nous connaissons quel type de stimulation proposer aux enfants d'âge pré-scolaire pour prévenir d'éventuelles difficultés de lecture. Ainsi, il est connu de tous que lire des histoires aux enfants favorise leur accès à la lecture (Duursma, Augustyn & Zuckerman, 2008). Cela au même titre qu'un bain de langage suffisant. Aucun conseil de cet ordre n'existe pour prédisposer l'acquisition des nombres et de l'arithmétique. Les interventions et stimulations proposées jusqu'alors dans la littérature font débat et il n'y a pas encore de consensus.

Ainsi, notre étude comparative a permis de proposer à nos groupes d'entraînement trois types de stimulations différentes. Les résultats quantitatifs du post-test nous permettront de juger l'efficacité de chacun des entraînements. Si ces résultats sont reproduits l'année prochaine, ces entraînements pourront prochainement être proposés dans notre pratique clinique. De plus, ce panel de supports et de types d'entraînements permettra de s'adapter au mieux aux besoins de chaque enfant mis en évidence par le bilan orthophonique. La même tâche pourra ainsi être répétée sans susciter d'ennui car elle pourra à la fois être proposée sur tablette puis sur support papier crayon. Les tâches visuo-spatiales qui serviraient de bases cognitives au développement mathématique permettront également de varier les supports.

Conclusion

Notre étude avait pour objectif de comparer différentes stimulations des compétences mathématiques précoces auprès d'enfants tout-venants. L'analyse des pré-tests et des post-tests permettra d'objectiver les progrès de notre entraînement. Nous espérons confirmer que les compétences numériques précoces peuvent être améliorées grâce à un entraînement pré-mathématique ciblé (Hyde, Khanum, Spelke, 2014; Ramani et Siegler, 2008, 2011; Räsänen, Salminen, Wilson, Aunio et Dehaene, 2009; Sella, Tressoldi, Lucangeli, Zorzi, 2016; Wilson, Revkin, Cohen et Dehaene, 2006)

Nous pourrions également comparer l'efficacité des deux supports utilisés : la tablette numérique et le matériel concret « papier-crayon ».

Par ailleurs, nous mesurerons les progrès obtenus grâce à un entraînement des compétences visuo-spatiales. Celles-ci permettraient de favoriser le développement de certaines compétences numériques, notamment le système numérique approximatif (Cornu, Schiltz, Pazouki & Martin, 2017; Mix et Cheng, 2014 ; Uttal, Meadow, Tipton, Hand, Alden et Warren, 2013). Ce dernier supportant le développement des habiletés mathématiques (Dehaene, 1992; Gallistel and Gelman, 1992; Dehaene and Cohen, 1995, 1997). Une stimulation des compétences visuo-spatiales devrait donc améliorer les compétences mathématiques précoces.

Tout cela nous permettra d'enrichir les connaissances actuelles sur les stimulations mathématiques précoces. Ces données pourront ensuite être appliquées en rééducation orthophonique auprès d'enfants souffrant de troubles de la cognition mathématique.

Bibliographie

- Bariaud, F., & Bourcet, C. (1994). Le sentiment de la valeur de soi. *L'orientation scolaire et professionnelle*, 3, 271-290.
- Brosnan, M. J. (1998). Spatial ability in children's play with Lego blocks. *Perceptual and Motor Skills*, 87, 19–28. Available online at: <http://doi.org/10.2466/pms.1998.87.1.19>
- Caldera, Y. M., McDonald Culp, A., O'Brien, M., Truglio, R. T., Alvarez, M., & Huston, A. C. (1999). Children's play preferences, construction play with blocks, and visual-spatial skills: Are they related? *International Journal of Behavioral Development*, 23, 855–872. Available online at: <http://doi.org/10.1080/016502599383577>
- Cannon, J., and Ginsburg, H. P. (2008). Doing the math: maternal beliefs about early mathematics versus language learning. *Early Educ. Dev.* 19, 238–260. doi: 10.1080/10409280801963913
- Chabani, E., & Hommel, B. (2014). Effectiveness of visual and verbal prompts in training visuospatial processing skills in school age children. *Instructional Science*, 42, 995–1012. doi:10.1007/s11251-014-9316-7
- 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.
- Cornu, V., Schiltz, C., Pazouki, T., & Martin, R. (2017). Training early visuo-spatial abilities: A controlled classroom-based intervention study. *Applied Developmental Science*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1080/10888691.2016.1276835>.
- Cornu, V., Pazouki, T., Schiltz, C., Fischbach, A., & Martin, R. (2018). Surmonter les barrières linguistiques avec « MaGrid » - un outil de formation de pré-mathématiques pour un contexte scolaire multilingue. *En preparation de publication*.
- Crollen, V., & Noël, M. P. (2015). Spatial and numerical processing in children with high and low visuospatial abilities. *Journal of Experimental Child Psychology*, 132, 84–98.
- Dearing, E., Casey, B. M., Ganley, C. M., Tillinger, M., Laski, E., & Montecillo, C. (2012). Young girls' arithmetic and spatial skills: The distal and proximal roles of family socioeconomic and home learning experiences. *Early Childhood Research Quarterly*, 27(3), 458–470. doi:10.1016/j.ecresq.2012.01.002
- Dehaene, S. (1992). Varieties of numerical abilities. *Cognition* 44, 1–42.
- Dehaene S., Bossini S., and Giraux P. (1993) The mental representation of parity and number magnitude. *Journal of Experimental Psychology: General*, 122: 371–396.
- Dehaene, S., Cohen, L. (1995). Towards an anatomical and functional model of number processing. *Math. Cogn.* 1, 83–120.
- Dehaene, S. (1997). La bosse des maths. *Editions Odile Jacob, Paris*
- Dehaene, S., & Cohen, L. (1997). Cerebral pathways for calculation: Double dissociation between rote verbal and quantitative knowledge of arithmetic. *Cortex*, 33(2), 219-250.
- Delgado, A. R., & Prieto, G. (2004). Cognitive mediators and sex-related differences in mathematics. *Intelligence*, 32(1), 25–32.
- Desoete, A., & Grégoire, J. (2006). Numerical competence in young children and in children with mathematics learning disabilities. *Learning and individual differences*, 16(4), 351-367.
- Duncan, G. J., Dowsett, C. J., Claessens, A., Magnuson, K., Huston, A. C., Klebanov, P., Japel, C. (2007). School readiness and later achievement. *Dev Psychol*, 43(6), 1428-1446. doi:10.1037/0012-1649.43.6.1428
- Duursma, E., Augustyn, M., Zuckerman, B. (2008). Reading aloud to children: the evidence. *Arch Dis Child*, 93, 554–557
- Fayol, M. (2008). L'acquisition de l'arithmétique élémentaire. *Médecine/Sciences*, 24, 87-90.

- Feigenson, L., Dehaene, S. et Spelke, E. S. (2004). Core systems of number. *Trends in Cognitive Sciences*, 8(7), 307-314.
- Galifret-Granjon, N. (1964). Tests des gnosies digitales. In R. Zazzo, N. Galifret-Granjon, & M. Stambak (Eds.), *Manuel pour l'examen psychologique de l'enfant* (pp. 57-85). Neuchatel: Delachaux Niestlé
- Gallistel, C. R., Gelman, R. (1992). Preverbal and verbal counting and computation. *Cognition* 44, 43–74.
- Halpern, R. (2000). Early intervention for low income children and families. In J.P. Shonkoff & S.J. Meisels (Eds.), *Handbook of early childhood intervention (2ème éd.)* (p.361-386). New-York : Cambridge University Press.
doi : <http://dx.doi.org/10.1017/cbo9780511529320.019>.
- Hayes, D. S., Chemelski, B. E., & Birnbaum, D. W. (1981). Young children's incidental and intentional re- tention of televised events. *Developmental Psychology*, 17, 230–232.
- Honoré, N. et Noël, M.P. (2016). Improving preschoolers arithmetic through number magnitude training: the impact of non-symbolic and symbolic training.
- Hornung, C., Schiltz, C., Brunner, M., & Martin, R. (2014). Predicting first-grade mathematics achievement: The contributions of domain-general cognitive abilities, nonverbal number sense, and early number competence. *Frontiers in Psychology*, 5, 1–18. doi:10.3389/fpsyg.2014.00272
- Hubbard E.M., Piazza M., Pinel P., and Dehaene S. (2005) Interactions between number and space in parietal cortex. *Nature Review Neuroscience*, 6: 435–448, 2005.
- Hyde, D.C., Khanum, S, Spelke, E.S. (2014) Brief non-symbolic, approximate number practice enhances subsequent exact symbolic arithmetic in children. *Cognition*, 131 92–107
- Krajewski, K., & Schneider, W. (2009). Early development of quantity to number-word linkage as a precursor of mathematical school achievement and mathematical difficulties: Findings from a four-year longitudinal study. *Learning and Instruction*, 19(6), 513–526. doi:10.1016/j.learninstruc.2008.10.002
- Levine, S.C., Huttenlocher, J., Taylor, A., Langrock, A. Early Sex Differences in Spatial Skill. *Developmental Psychology*, Vol. 35, No. 4, 940-949
- Levine, S. C., Ratliff, K. R., Huttenlocher, J., & Cannon, J. (2012). Early puzzle play: A predictor of preschoolers' spatial transformation skill. *Developmental Psychology*, 48, 530–542. Available online at: <http://doi.org/10.1037/a0025913>
- Linn, M. C., & Petersen, A. C. (1985). Emergence and characterization of sex differences in spatial ability: A meta-analysis. *Child Development*, 56,1479–1498.
<http://doi.org/10.2307/1130467>
- Lubinski, D., & Benbow, C. P. (1992). Gender differences in abilities and preferences among the gifted: Implications for the math/science pipeline. *Current Directions in Psychological Science*, 1(2), 61–66
- Mazzocco, M.M., Feigenson, L., Halberda, J. (2011). Impaired acuity of the approximate number system underlies mathematical learning disability (dyscalculia). *Child development*, 82(4), 1224-1237
- McLean, J. F., & Hitch, G. J. (1999). Working memory impairments in children with specific arithmetic learning difficulties. *Journal of Experimental Child Psychology*, 74, 240–260.
- Melhuish, E., Phan, M., Sylva, K., Sammons, P., Siraj-Blatchford, I., & Taggart, B. (2008). Effects of the home learning environment and preschool center experience upon literacy and numeracy development in early primary school. *Journal of Social Issues*, 64(1), 95–114. doi:10.1111/j.1540-4560.2008.00550.x
- Mix, K. S., & Cheng, Y.-L. (2012). Space and math: The developmental and educational implications. In J. Benson (Ed.), *Advances in child development and behavior* (pp. 179–243). New York, NY: Elsevier.

- Mix, K. S., & Cheng, Y.-L. (2014). Spatial Training Improves Children's Mathematics Ability. *Journal of cognition and development*, 15(1):2–11.
DOI:10.1080/15248372.2012.725186
- Noël, M.P. et Rousselle, L. (2011). Developmental changes in the profiles of dyscalculia: an explanation based on a double exact-and-approximate number representation model. *Frontiers in human neuroscience*. 5, 165.
- Pezdek, K., & Stevens, E. (1984). Children's memory for auditory and visual information on television. *Developmental Psychology*, 20, 212–218.
- Ramani, G. B. et 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. et Siegler, R. S. (2011). Reducing the gap in numerical knowledge between low- and middle-income preschoolers. *Journal of Applied Developmental Psychology*, 32, 146–159.
- Ramani, G. B., & Siegler, R. S. (2015). How informal learning activities can promote children's numerical knowledge. In R. Cohen Kadosh & A. Dowker (Eds.), *Oxford handbook of numerical cognition* (pp. 1135–1153). Oxford, UK: Oxford University Press.
- 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.
- Robinson, N., Abbott, R., Berninger, V. W., & Busse, J. (1996). The structure of abilities in math-precocious young children: Gender similarities and differences. *Journal of Educational Psychology*, 88, 341–352.
- 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.
- Scarborough, H. S. (1998). Connecting early language and literacy to later reading (dis)abilities: evidence, theory and practice. *Guilford Press*
- 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.
- Sprenger-Charolles, L. et Khomsi, A. (1988). Le rôle du contexte dans la lecture : comparaisons entre lecteurs plus ou moins compétents. *Langue française* (vol. 80). France : Masson
- Strauss, MS., Curtis, LE. (1981). Infant perception of numerosity. *Child Development*. 52, 1146-1152
- Van Hout, A. et Estienne F. (2001). Les dyslexies: décrire, évaluer, expliquer, traiter. Paris, France : Masson
- Voyer, D., Voyer, S., & Bryden, M. P. (1995). Magnitude of sex differences in spatial abilities: A meta-analysis and consideration of critical variables. *Psychological Bulletin*, 117, 250–270. Available online at: <http://doi.org/10.1037/0033-2909.117.2.250>
- Wilson, A.J., Revkin, S.K., Cohen, D., Cohen, L., Dehaene, S. (2006) An open trial assessment of "The Number Race", an adaptive computer game for remediation of dyscalculia. *Behavioral and brain function*, 2(20).
- 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. *Mind, Brain, and Education*. 3(4), 224-34.
- Wynn, K. (1992). Addition and subtraction in human infants. *Nature* 358, 748-750

Liste des annexes

Annexe n°1 : Lettre d'information

Annexe n°2 : Formulaire de consentement parental

Annexe n°3 : Questionnaire parental

Annexe n°4 : Epreuves du Pré-test et du Post-test

Annexe n°5 : Descriptif de l'entraînement « papier-crayon »

Annexe n°6 : Descriptif de l'entraînement « prémaths»

Annexe n°7 : Descriptif de l'entraînement « visuo-spatial»

Annexe n°8 : Moyenne du nombre de séances suivies par groupe et par classe