



Département d'Orthophonie  
Gabriel DECROIX

# MEMOIRE

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

**Virginie WALLE**

soutenu publiquement en juin 2018 :

## **Développement des habiletés numériques précoces chez l'enfant Evaluation des outils numériques**

MEMOIRE dirigé par :

**Sandrine MEJIAS**, Maître de Conférences, Université de Lille, Lille

Lille – 2018

## Remerciements

Je souhaite remercier ici les personnes ayant contribué à la réalisation de cette étude et m'ayant soutenue durant l'apprentissage de mon futur métier.

Tout d'abord, j'exprime toute ma reconnaissance à Mme Mejias, qui par une grande détermination, a permis à ce projet de naître et de se développer. Je remercie encore Mme Mejias ainsi que Mme Mahé, pour leurs conseils judicieux qui ont permis la réalisation de cet écrit.

J'adresse également des remerciements à Mme Cornu dont le travail a grandement inspiré cette étude et qui a eu la gentillesse de nous fournir le matériel.

Je souhaite également exprimer toute ma reconnaissance aux enseignants qui se sont joints au projet et qui ont offert leur participation lors de l'intervention. Je remercie les parents et les enfants qui ont accepté de participer à l'étude et sans qui rien n'aurait été possible.

Je remercie l'équipe Kids e-stim avec laquelle j'ai eu le plaisir de travailler, tout particulièrement Chloé Bourdon, Hélène Lemaire et Marine Fuchs avec qui les échanges ont été enrichissants.

Je tiens à exprimer toute ma reconnaissance envers mes maîtres de stage qui m'ont accueillie et soutenue dans l'apprentissage de mon métier, tout particulièrement Aude Govart, Odile Ferand, Myriam Bodelet et Jennifer Cagnoncle-Billoir.

Enfin, je remercie toute ma famille ainsi que mes amis pour leur soutien tout au long de cette année, tout particulièrement le Dr Sylvie Walle, le Dr Thierry Walle, Florence Walle, Laurane Verloo, Laure Constantial, Laura Colli-Vaast, Marianne Hurtrez, Louise Lebel, Marine Isigkeit et Clémentine Keromen.

---

## **Résumé :**

Cette étude porte sur le développement des habiletés numériques précoces chez des enfants âgés de 3 à 7 ans par l'usage de tablettes numériques visuelles et tactiles. L'objectif est de démontrer que les outils numériques sont des supports d'apprentissage possibles mais que leur usage doit être limité et complété par des jeux favorisant la manipulation. Un design pré-tests/entraînements/post-tests comportant 16 sessions d'entraînements de 20 minutes sur 8 semaines a été utilisé. 170 enfants participants ont été répartis dans trois groupes. Deux groupes ont reçu un entraînement de leurs habiletés numériques précoces, un par le biais du support tablette numérique tactile, l'autre par le biais de jeux « papier-crayon ». L'entraînement ciblait les domaines de traitement numérique à la fois analogique et symbolique. Le troisième groupe a reçu un entraînement des capacités visuo-spatiales. Les résultats permettront d'accroître nos connaissances sur le type de support mais également sur le type d'activité à privilégier selon l'habileté numérique que l'on souhaite développer. Ces nouvelles connaissances permettront la mise en place d'une action de prévention orthophonique ciblant les retards d'acquisition dans le domaine numérique.

## **Mots-clés :**

Cognition mathématique, programme d'entraînement, âge préscolaire, tablettes numériques tactiles, jeux de société

## **Abstract :**

This study focuses on the development of early digital skills in 3 to 7 years olds children through the use of touch-screen digital tablets. The goal is to demonstrate that digital tablets are possible learning supports but that their use should be limited and complemented by board games that promote manipulation. A pre-test / practice / post-test design with 16 sessions of 20 minutes, over 8 week training sessions was used. 170 participating children were divided into three groups. Two groups received training of their early numerical skills, one through touch-screen digital tablets and the other through board games. The training targeted the areas of early numerical processing, both analog and symbolic. The third group received training in visuospatial skills. The analysis of the results will allow us to widen our knowledge about the kind of support and activity to favor according to the type of numerical skill we want to develop. This new knowledge will enable the implementation of a prevention intervention targeting acquisition delays in the numerical domain.

## **Keywords :**

Cognition mathematical, preschool intervention, numerical tablets, board games

---

# Table des matières

<b>Introduction.....</b>	<b>1</b>
<b>Contexte théorique, buts et hypothèses.....</b>	<b>2</b>
1. Une action de prévention: les cibles.....	2
1.1. Les facteurs cognitifs généraux.....	2
1.2. Les facteurs cognitifs spécifiques.....	3
1.3. Les facteurs contextuels.....	3
2. Le développement des représentations numériques.....	4
2.1. Modèle du triple code de Dehaene.....	4
2.1.1. Les représentations analogiques.....	4
2.1.1.1. La ligne numérique mentale.....	4
2.1.1.2. Le subitizing.....	5
2.1.1.3. L'estimation.....	5
2.1.2. Les représentations symboliques.....	5
2.1.2.1. Les représentations auditives verbales.....	6
2.1.2.2. Les représentations visuelles arabes.....	6
3. La stimulation des habiletés numériques précoces.....	6
3.1. Le système numérique exact.....	6
3.2. Le système numérique approximatif.....	7
3.3. Les jeux de société.....	8
3.4. Les tablettes numériques visuelles et tactiles.....	9
3.4.1. Equipement des foyers.....	9
3.4.2. Les enfants et les écrans (Bach, Oudé, Léna & Tisseron, 2013).....	9
3.4.3. Usage des tablettes tactiles dans la littérature.....	10
<b>Méthode.....</b>	<b>11</b>
1. Les participants.....	12
2. Procédure et matériel.....	13
2.1. Tests utilisés pour les phases de pré-test et de post-test.....	13
2.2. L'entraînement : généralités.....	15
2.2.1. Constitution des groupes d'entraînement.....	15
2.2.2. Groupe "papier-crayon".....	15
2.2.3. Groupe "pré-maths".....	16
2.2.4. Groupe "capacités visuo-spatiales".....	16
<b>Résultats.....</b>	<b>17</b>
1. Le pré-test : analyse de deux protocoles.....	17
1.1. Evaluation des compétences visuo-spatiales.....	17
1.2. Evaluation des compétences numériques analogiques.....	18
1.3. Evaluation des compétences numériques symboliques.....	18
1.4. Sensibilité du pré-test.....	19
2. Les questionnaires parentaux: analyse de trois données.....	19
3. Nombre de sessions administrées lors des entraînements.....	20
4. Recueil de données et analyse.....	21
4.1. Données issues du questionnaire.....	21
4.2. Données issues du pré-test.....	21
<b>Discussion.....</b>	<b>22</b>
1. Retours sur les procédés méthodologiques.....	22
1.1. Description de l'échantillon.....	22
1.2. Retours sur le questionnaire parental.....	23
1.2.1. Constats sur la fréquence d'usage des jeux de société.....	23
1.2.1. Constats sur la fréquence d'usage des tablettes numériques.....	23
1.3. Retours sur le pré-test.....	24

---

1.3.1.Etablissement de trois profils.....	24
1.3.2.Marges de progression possibles.....	24
1.4.Retours sur la cible de l'entraînement : les habiletés numériques précoces.....	25
1.4.1.Constats sur les représentations numériques analogiques.....	25
1.4.2.Constats sur les représentations numériques symboliques.....	25
1.4.2.1.Constats sur le code verbal.....	25
1.4.2.2.Constats sur le code arabe.....	26
1.5.Retours sur le déroulement des entraînements.....	26
1.5.1.L'entraînement "pré-maths".....	26
1.5.2.L'entraînement "papier-crayon".....	27
2.Prédictions des résultats.....	27
2.1.Variables parasites.....	27
2.2.Concordance des hypothèses au regard de la littérature.....	28
3.Intérêt orthophonique.....	29
<b>Conclusion.....</b>	<b>29</b>
<b>Bibliographie.....</b>	<b>31</b>
<b>Liste des annexes.....</b>	<b>35</b>
Annexe n°1 : Description des activités "papier-crayon".....	A2
Annexe n°2 : Description des activités "pré-maths".....	A3
Annexe n°3 : Description des activités "CVS".....	A4
Annexe n°4 : Moyenne du nombre de sessions suivies par classe .....	A5
Annexe n°5 : Nombre de sessions suivies et taux de participation par classe .....	A5
Annexe n°6 : Lettre d'information, autorisation parentale et questionnaire parental.....	A6

# Introduction

L'objectif principal de cette étude est d'évaluer l'efficacité des tablettes numériques visuelles et tactiles comme support d'apprentissage des habiletés numériques précoces.

Dès la naissance, l'homme est capable de traiter les informations numériques qui l'entourent. Un déterminisme neurobiologique serait à l'origine de cette capacité. Elle a en effet pu être observée à travers différentes cultures humaines (Izard, Sann, Spelke, & Streri, 2009; Pica, Lemer, Izard, & Dehaene, 2004; Xu & Spelke, 2000) et même chez certains animaux (Church & Meck, 1984; Thomas, Fowlkes, & Vickery, 1980).

Pourtant on constate que dès l'entrée à l'école, les enfants ne possèdent pas tous les mêmes connaissances numériques. Cela peut s'expliquer en partie par le fait que certaines de ces connaissances résultent d'un apprentissage formel. Ainsi, de nombreuses études ont mis en évidence que les performances mathématiques seraient partiellement dépendantes des stimulations précoces reçues dans l'environnement familial (Anders et al., 2012; Benavides-Varela et al., 2016; LeFevre et al., 2009).

En plus de ces facteurs environnementaux, certains aspects propres aux enfants peuvent expliquer ces différences. Parmi les enfants scolarisés, 3 à 8% présentent une dyscalculie développementale (Desoete, Roeyers, & De Clercq, 2004; Kosci, 1974). Ce trouble affecte les compétences numériques de base ainsi que les compétences arithmétiques (Stanislas Dehaene, Molko, & Wilson, 2004; Inserm, n.d.).

Compte tenu de ces éléments, nous pensons qu'une action de prévention orthophonique pourrait permettre de réduire les inégalités scolaires dans le domaine des mathématiques et de limiter l'apparition de troubles des apprentissages mathématiques.

Face au constat de l'apparition des nouveaux outils numériques comme support de jeu au sein des foyers, nous avons voulu évaluer la pertinence de l'usage des tablettes numériques tactiles comme outil de prévention ciblant la stimulation des habiletés numériques précoces.

Afin d'évaluer l'efficacité de cet outil, nous proposons de comparer les effets d'un entraînement sur tablettes numériques avec les effets d'un entraînement sur un autre support, à savoir les jeux de société. Les jeux de société sont en effet reconnus dans la littérature comme étant un support efficace de stimulation des habiletés numériques précoces (Benavides-Varela et al., 2016; LeFevre et al., 2009) et se révèlent donc être un point de comparaison fiable.

Cette étude s'inscrit dans la continuité d'une recherche luxembourgeoise menée par Cornu, Schiltz, Pazouki, & Martin, (2017). Nous avons suivi les mêmes procédés méthodologiques, dont le design pré-tests/entraînements/post-tests. 170 enfants scolarisés en classe de moyenne section et de grande section de maternelle ont participé à notre étude. Le critère de jugement principal était le taux de progression en acquisition numérique des enfants suite à l'entraînement sur tablette ou sur jeux de type « papier-crayon ».

Nous avons bénéficié 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.

Nous espérons pouvoir inscrire ce projet dans une plus vaste recherche avec la mise en place d'un suivi longitudinal des enfants ayant participé à l'étude. Il pourrait être intéressant d'évaluer les effets de notre intervention à plus long terme, notamment en classe de CP lorsque les premiers apprentissages mathématiques formels sont dispensés.

Le début de l'intervention ayant été retardé suite à des problèmes administratifs, nous ne pourrions dévoiler les résultats de nos recherches cette année. Ce mémoire se centrera donc

sur la pertinence théorique du projet ainsi que sur la présentation de la méthodologie employée. Quelques données pourront déjà être présentées mais l'analyse des résultats fera l'objet de travaux futurs.

## **Contexte théorique, buts et hypothèses**

Dans un premier temps, nous chercherons à définir les cibles de notre action. Dans un second temps, nous présenterons le modèle conceptuel sur lequel nous allons nous appuyer pour la mise en place de notre méthodologie. Dans un troisième temps, nous nous intéresserons aux données actuelles concernant la stimulation des habiletés numériques précoces.

### **1 Une action de prévention : les cibles**

Les mathématiques font aujourd'hui partie intégrante de notre vie. Que ce soit dans notre vie quotidienne ou dans notre vie professionnelle, les mathématiques sont partout. Cette discipline fait partie des savoirs fondamentaux qui sont enseignés dès le plus jeune âge et jusque dans les enseignements supérieurs.

Des chercheurs ont identifié trois facteurs qui influencent les performances dans le domaine des mathématiques : les facteurs cognitifs généraux, tels que l'intelligence ou la mémoire (Geary, 2011; Passolunghi & Lanfranchi, 2012), les facteurs cognitifs spécifiques qui font référence aux aires cérébrales spécifiques du traitement du nombre (Aunola, Leskinen, Lerkkanen, & Nurmi, 2004; Reeve, Reynolds, Humberstone, & Butterworth, 2012), et les facteurs contextuels, tels que les influences sociales, économiques et parentales (Benavides-Varela et al., 2016). Dans notre étude, nous nous intéressons particulièrement aux facteurs cognitifs spécifiques et aux facteurs contextuels.

#### **1.1 Les facteurs cognitifs généraux**

Une étude a montré qu'il existe une corrélation entre les facteurs cognitifs généraux et les compétences en mathématiques (Bull, Espy, & Wiebe, 2008). Les auteurs de cette étude ont mesuré les capacités en mémoire à court terme, en mémoire de travail et celles reliées aux fonctions exécutives chez des enfants d'âge préscolaire (âge moyen = 4;6 ans). Ces mêmes enfants ont été suivis et de nouveau testés en première année puis en dernière année d'école primaire. Leurs performances en mathématiques et la lecture ont alors été évaluées. Les résultats ont révélé que la mémoire à court terme visuo-spatiale s'avérait être un excellent prédicteur de réussite dans le domaine des mathématiques. La mémoire à court terme et la mémoire de travail prédisaient de manière spécifique les réussites en mathématiques tandis que les fonctions exécutives prédisaient une réussite dans l'apprentissage en général.

Dans notre étude, nous ne cherchons pas à stimuler ces facteurs cognitifs généraux. Toutefois, il nous semble pertinent de les intégrer lors de l'évaluation initiale des enfants. Nous pourrions ainsi confirmer une corrélation éventuelle entre les performances numériques initiales des enfants et leurs capacités cognitives. De même il pourra être intéressant d'étudier le lien entre les compétences cognitives de base des enfants et leur degré de réponse aux stimulations reçues.

## **1.2 Les facteurs cognitifs spécifiques**

Certains enfants présentent un dysfonctionnement dans les aires cérébrales spécifiques du traitement de la numérosité. Ce trouble spécifique est communément nommé dyscalculie développementale. Dehaene, S. et collaborateurs (2004) la définissent comme étant un trouble primaire de la perception des nombres lié à une désorganisation neuronale de la région intrapariétale du cortex cérébral.

L'imagerie cérébrale a en effet permis d'identifier une anomalie fonctionnelle et structurelle du sillon intrapariétal chez des enfants présentant une dyscalculie développementale (Molko et al., 2003). Cette région du cerveau serait à l'origine de notre capacité innée à se représenter le sens des nombres (Stanislas Dehaene et al., 2004). Aussi on remarque que chez des enfants présentant un déficit de calcul et possédant une intelligence normale, des compétences innées telles que l'estimation, la comparaison ou le subitizing ne seraient pas efficaces (Mazzocco, Feigenson, & Halberda, 2011).

Chez ces enfants, des difficultés liées à l'apprentissage des mathématiques sont objectivables sur le plan comportemental. D'une manière générale, il leur est difficile d'acquérir la chaîne numérique verbale, ils ne maîtrisent pas les procédures opératoires, mémorisent difficilement les faits arithmétiques et éprouvent également des difficultés à se représenter les nombres et les opérations dans l'espace (M. von Aster, 2000; Hécaen, Angelergues, & Houillier, 1961; Inserm, n.d.; Rourke, 1993; Temple, 1991).

Si ces difficultés sont la résultante d'une désorganisation cérébrale, les données actuelles concernant la plasticité cérébrale sont prometteuses quant aux possibilités de modifier notre structure cérébrale grâce à notre environnement (Boyd, 2009). En d'autres termes, une stimulation précoce de ces enfants pourrait permettre de limiter l'apparition de troubles des apprentissages mathématiques.

## **1.3 Les facteurs contextuels**

Plusieurs études se sont penchées sur la question des performances numériques dans les premiers apprentissages chez des enfants issus de différents milieux. Elles ont révélé que les enfants issus de milieux défavorisés possédaient des capacités numériques plus faibles que les enfants issus de milieux favorisés. Ils étaient moins performants notamment dans des tâches telles que le comptage, l'addition, la soustraction et la comparaison de grandeurs (Jordan, Kaplan, Nabors Oláh, & Locuniak, 2006; Jordan, Levine, & Huttenlocher, 1994).

Selon Benavides-Varela et collaborateurs (2016) les performances numériques des enfants d'âge préscolaire étaient liées au nombre et au type de stimulations reçues à la maison. Ils ont évalué les performances mathématiques de 110 enfants (âge moyen = 5;11 ans) et ont recueilli des informations auprès des parents sur les activités quotidiennes des enfants. Les résultats ont révélé que la quantité d'informations numériques apprises à la maison était un prédicteur important des habiletés numériques des enfants, plus précisément du développement de leurs représentations numériques exactes. La nature de l'expérience avait notamment son importance quant au type de compétence numérique développée. Ils ont ainsi pu constater que certaines activités particulières, telles que les jeux de société, étaient en corrélation avec les compétences de comptage.

Dès l'entrée à l'école, les enfants ne présentent donc pas tous les mêmes habiletés numériques. Ces différences pourraient être liées à un déficit des compétences innées ou à un défaut de stimulation avant l'entrée dans les apprentissages mathématiques formels. De plus



les différences interindividuelles ne se résorbent pas lors de la scolarisation mais persistent dans le temps à travers les différents âges scolaires (Aunola, Leskinen, & Nurmi, 2006; Reeve, Reynolds, Humberstone, & Butterworth, 2012). Il en résulte des trajectoires de progression différentes dans le domaine des mathématiques.

Selon LeFevre (2009) les parents déclarent consacrer plus de temps à développer les habiletés de leurs enfants dans le domaine de la lecture que dans le domaine numérique. Or de nombreuses études ont révélé l'importance de l'enseignement numérique à la maison (Anders et al., 2012; Benavides-Varela et al., 2016; LeFevre et al., 2009).

Suite à ces différents constats, il nous semble pertinent de valoriser les pratiques liées à l'éducation précoce de la numératie, c'est-à-dire l'usage des nombres au quotidien. Pour cela, la mise en place d'une action de prévention ciblerait préférentiellement les facteurs cognitifs spécifiques dans l'environnement familial.

## **2 Le développement des représentations numériques**

Afin de définir de manière précise les facteurs cognitifs spécifiques, c'est-à-dire les habiletés numériques précoces que l'on cherchera à stimuler lors des entraînements, nous allons développer les différents concepts liés au développement des représentations numériques chez l'enfant. Nous prendrons pour référence l'un des modèles théoriques qui fait actuellement consensus dans la communauté scientifique : le modèle du triple code de Dehaene.

### **2.1 Modèle du triple code de Dehaene**

Ce modèle s'appuie sur l'étude de l'imagerie cérébrale de deux patients atteints de lésions cérébrales. Dehaene, S. (1992 ; 2010) a ainsi fait la découverte de trois zones cérébrales impliquées dans le traitement du nombre : le sillon intrapariétal, zone de traitement de l'information spatiale qui serait à l'origine du "sens du nombre", le gyrus fusiforme, zone de traitement des chiffres arabes, et le gyrus angulaire gauche, zone de traitement du langage relatif au nombre.

#### **2.1.1 Les représentations analogiques**

Comme il est représenté ci-dessous (cf. Figure 1), le traitement des représentations analogiques, c'est-à-dire non symboliques, fait appel à deux compétences: le subitizing et l'estimation. Dehaene S. (1992 ; 2010) émet l'hypothèse que nous possédons ces compétences de manière précoce. Par un déterminisme neurobiologique, nous possédons tous une zone cérébrale dédiée au traitement du nombre, Dehaene S. métaphorise le fonctionnement de ce traitement du nombre sous la forme d'une ligne numérique mentale.

##### **2.1.1.1 La ligne numérique mentale**

Dehaene, S. (1992; 2010) postule l'existence d'une ligne numérique mentale supposée indépendante du langage et présente dès la naissance. Les quantités numériques seraient mentalement représentées sur cette ligne par ordre croissant de gauche à droite. Cette ligne serait à l'origine de nos capacités de traitement des représentations analogiques (i.e, estimation, comparaison, subitizing). Elle conférerait le « sens du nombre ». Les nourrissons posséderaient donc déjà, avant tout apprentissage, une représentation abstraite du nombre. Les

études portant sur les différentes capacités de traitement des représentations analogiques vont dans le sens de cette hypothèse.

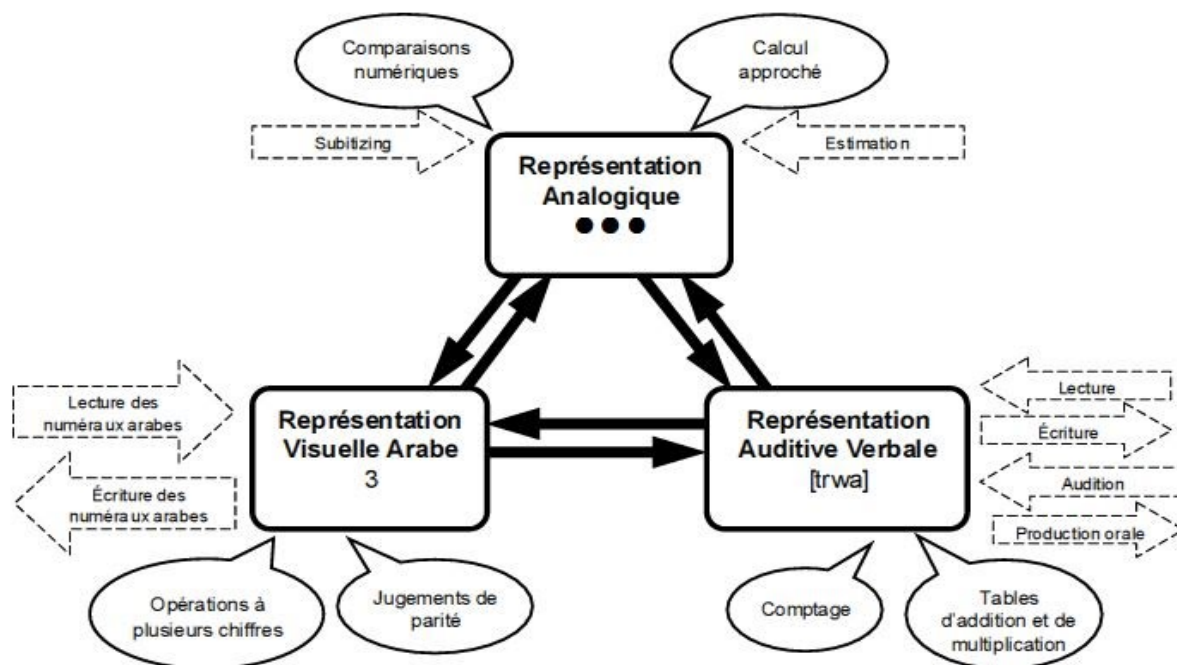


Figure 1. Modèle du triple code (S. Dehaene, 1992 ; 2010)

### 2.1.1.2 Le subitizing

Le subitizing permet de percevoir de manière exacte et immédiate de petites quantités sans passer par le comptage. Il permet d'appréhender des petites collections allant jusqu'à trois, voire quatre éléments (Mandler & Shebo, 1982). Cette compétence est présente de manière précoce, bien avant les premiers apprentissages (Antell & Keating, 1983).

### 2.1.1.3 L'estimation

L'estimation est notre capacité à quantifier de manière approximative et rapide, des collections supérieures à trois éléments. Tout comme le subitizing, elle s'appuie sur notre sens inné du nombre.

Une étude a en effet démontré que des nourrissons de six mois sont capables de discriminer deux ensembles d'items différents possédant un ratio de 1:2 (Xu & Spelke, 2000). De nombreux auteurs ont corroboré l'existence de cette capacité innée par des études incluant des nourrissons. Izard et collaborateurs (2009) ont d'ailleurs révélé que dès les premières heures de vie, des nourrissons sont capables d'associer des représentations visuelles et auditives comportant entre 4 et 18 stimuli sur la base du nombre.

## 2.1.2 Les représentations symboliques

Dehaene, S. (1992 ; 2010) décrit dans son modèle (cf. Figure 1) deux autres types de représentations : la représentation auditive verbale et la représentation visuelle arabe. Elles sont dites symboliques, car elles dépendent de l'apprentissage de deux codes, le code verbal et le code arabe.

Ces représentations symboliques permettent d'accéder à une représentation exacte de la numérosité, quelle que soit sa grandeur. Chaque symbole est en effet associé à une numérosité précise.

Les codes symboliques numériques constituent la base du langage des mathématiques. La représentation auditive verbale (ex: « trois » prononcé /trwa/) est utilisée principalement pour le comptage et l'utilisation des tables de multiplication. La représentation visuelle arabe, définie comme la reconnaissance de la forme visuelle des chiffres arabes (ex: « 3 »), permet de réaliser des activités de calculs précis, des calculs mentaux complexes et de juger de la parité des nombres (pair ou impair).

### **2.1.2.1 Les représentations auditives verbales**

Les représentations auditives verbales s'acquièrent par l'apprentissage d'un lexique composé de mots-nombres et de sa syntaxe. Elles forment une chaîne numérique verbale stable et conventionnelle. Cette chaîne est dite stable car chaque mot-nombre possède un rang dans la chaîne et à chaque rang correspond une numérosité précise.

Fuson, Richards, & Briars (1982) ont étudié les différentes étapes de l'apprentissage de cette chaîne numérique verbale. Les premiers mots-nombres apparaissent vers l'âge de deux ans, la chaîne numérique verbale se constitue et s'accroît progressivement jusqu'à environ l'âge de 8 ans, période où l'enfant acquiert la maîtrise de sa syntaxe.

### **2.1.2.2 Les représentations visuelles arabes**

Comme la représentation auditive verbale, le code indo-arabe résulte d'un apprentissage explicite d'un système numérique écrit. Il apparaît après l'enseignement de la forme verbale. Afin de maîtriser ce code, l'enfant doit apprendre le lexique qui le compose et comprendre sa syntaxe. Son lexique est plus restreint et comprend les chiffres arabes allant de 0 à 9. Sa syntaxe se compose d'une notation positionnelle, la position du chiffre dans la séquence indiquant sa classe (unité, dizaine, centaine...).

Nous pouvons résumer les précédentes théories par le fait que l'homme possède deux systèmes de traitement du nombre : le système numérique approximatif (SNA) qui permet le traitement des représentations analogiques et le système numérique exact (SNE) qui s'appuie sur l'apprentissage des représentations symboliques.

Dans notre étude, nous nous appuyerons pour la mise en place de notre méthodologie sur le modèle du triple code de Dehaene et sur l'existence de ces deux systèmes afin de déterminer ce que nous chercherons à évaluer en phase de testing et de définir les compétences que nous chercherons à stimuler en phase d'entraînement.

## **3 La stimulation des habiletés numériques précoces**

De nombreuses études se sont déjà intéressées à la stimulation des habiletés numériques précoces à travers différents types de questionnements. La nature du système à entraîner fait notamment l'objet de débats : le développement des compétences mathématiques sont-elles ou non dépendantes de la stimulation du SNA, ou du SNE ?

### **3.1 Le système numérique exact**

Le SNE constitue la base du langage des mathématiques. Il est d'ailleurs un excellent prédicteur de réussite dans ce domaine. En effet, une étude longitudinale a identifié la capacité de comptage avant l'entrée en maternelle comme prédicteur fiable de la réussite scolaire (Aunola et al., 2006). Une autre étude longitudinale plus récente démontre que la capacité à

dénombrer des ensembles en maternelle prédit de bonnes performances en arithmétique jusqu'à l'âge de 11 ans (Reeve et al., 2012).

Une étude plus récente a d'ailleurs montré qu'un entraînement conjoint du SNE et du SNA permet d'améliorer les performances en arithmétique chez des élèves scolarisés en CP (Obersteiner et al., 2013). Toutefois, si cette étude a inclus le SNE dans son programme d'entraînement, elle n'a pas permis de l'évaluer spécifiquement. En effet, Obersteiner (2013) entraîne le SNE et le SNA de manière conjointe ; il n'est donc pas possible d'isoler les effets liés à l'entraînement de chacun des deux systèmes.

Afin de pouvoir évaluer de manière spécifique l'effet du SNE sur les performances en arithmétique, Honoré & Noël (2016) proposent de comparer les effets de deux entraînements comportant les mêmes tâches, mais l'un s'appuyant spécifiquement sur des représentations symboliques (i.e., SNE), et l'autre sur des représentations analogiques (i.e., SNA). Leurs résultats montrent que seul un entraînement des représentations symboliques a permis d'augmenter les capacités en calcul chez des enfants scolarisés en classe de maternelle en grande section.

Suite à ces différents constats, il nous paraît donc plus que pertinent d'inclure le SNE dans nos programmes de stimulation.

### **3.2 Le système numérique approximatif**

En revanche, la pertinence d'un entraînement du SNA porte à débat. En effet, deux visions s'opposent dans la littérature quant à son implication dans le développement des performances en mathématiques.

La vision d'une représentation unique postule l'idée que le SNA serait la racine des compétences numériques et arithmétiques (Bugden, DeWind, & Brannon, 2016; Feigenson, Libertus, & Halberda, 2013).

Une étude portant sur un échantillon de 10 000 participants âgés de 11 à 85 ans a montré que la précision du sens du nombre évolue tout au long de la vie. Il est donc possible que deux personnes du même âge présentent des différences de précision de leur sens du nombre en fonction de leur éducation. Les résultats de cette étude nous apprennent également que ces différences de précision concernant le sens du nombre sont corrélées aux performances mathématiques de l'individu tout au long de sa vie (Halberda, Ly, Wilmer, Naiman, & Germine, 2012a). La théorie d'une représentation unique, incluant le SNA et le SNE dans un même système, suggère qu'un entraînement visant à développer le sens du nombre aurait un effet sur les performances en mathématiques.

Toutefois, une théorie postulant l'existence d'une double représentation remet en question cette hypothèse. Pour Halberda et collaborateurs (2012), les nombres symboliques activent des représentations différentes de celles activées par les nombres non symboliques. En effet, une récente étude utilisant l'imagerie cérébrale a montré que le traitement des représentations incluant soit des points, soit des chiffres, stimulent des régions cérébrales distinctes (Bulthé, De Smedt, & Op de Beeck, 2014). Cette étude remet en question l'existence d'une représentation abstraite du nombre liée au SNA.

D'ailleurs, Honoré & Noël (2016) ne trouvent pas de bénéfices de l'entraînement des représentations non symboliques sur les compétences en calcul chez les enfants âgés de 5 à 6 ans.

Une autre étude défendant la vision d'une double représentation, c'est-à-dire de l'existence d'une distinction anatomique et fonctionnelle entre le SNE et le SNA, ne rejette

cependant pas le rôle du SNA dans l'apprentissage du comptage. Elle soutient l'hypothèse que les enfants construisent dans un premier temps des représentations exactes des nombres symboliques, puis établissent un lien entre ces nouvelles représentations et le SNA (Le Corre & Carey, 2007). Cela signifierait que si les deux systèmes sont initialement distincts, ils pourraient au final se renforcer mutuellement dans le développement des compétences arithmétiques.

Une étude interventionnelle récente menée sur 151 enfants (âge moyen = 5 ans) a démontré que la stimulation de la capacité à comparer et à estimer des quantités non symboliques a eu un effet positif sur le développement de la performance en arithmétique (Maertens, De Smedt, Sasanguie, Elen, & Reynvoet, 2016). Dans cette étude, les auteurs ont voulu comparer les effets de deux types d'entraînement : un entraînement de la capacité à comparer et un entraînement de la capacité à estimer. Ces capacités sont toutes deux reliées au sens du nombre et sont dépendantes du SNA. L'objectif était de comparer, chez des enfants âgés de 5 ans, l'efficacité de chaque entraînement sur le développement des compétences numériques. Les résultats montrent que les deux types d'entraînement ont eu un effet positif sur le développement des performances en arithmétique.

Il n'existe donc pas de consensus sur l'implication du SNA dans le développement du SNE. Dans notre étude, nous faisons toutefois le choix de l'intégrer dans nos programmes de stimulation car nous ne cherchons pas à valider ni à invalider l'une de ces hypothèses. Nous partons donc du principe qu'un entraînement conjoint des deux systèmes (i.e, SNA & SNE) est efficace. Du reste, l'analyse des résultats de notre étude nous permettra peut-être de nous positionner quant à l'existence d'un lien entre les deux systèmes.

Maintenant que nous avons défini le contenu de nos entraînements, la question se pose de savoir quel support serait le mieux adapté à la mise en place de notre projet. Pour cela, nous ciblons des supports présents dans l'environnement familial et vecteurs d'apprentissages dans le domaine numérique, à savoir les jeux de société et les tablettes numériques tactiles.

### **3.3 Les jeux de société**

Les données scientifiques actuelles s'accordent sur le fait que la pratique des jeux de société soutient les apprentissages numériques. Des études observationnelles (Benavides-Varela et al., 2016; LeFevre et al., 2009) ont en effet révélé une corrélation positive entre les pratiques de jeux de société à la maison et les performances mathématiques.

Une étude interventionnelle montre que l'utilisation de jeux de société linéaires par rapport à l'utilisation de jeux de société circulaires permet d'améliorer de manière plus importante les performances numériques sur des tâches impliquant à la fois les représentations approximatives et les représentations exactes. Les jeux de société linéaires sont plus appropriés du fait de leur concordance avec la formation de la ligne numérique mentale soutenant ainsi son développement. Dans cette étude, les enfants devaient déplacer leur pion sur la ligne d'un plateau de gauche à droite en associant les cases à un mot-nombre. Les expérimentateurs ont veillé à ce que les enfants ne commettent pas d'erreurs dans l'énonciation de la chaîne numérique verbale (Ramani & Siegler, 2008). Cette étude montre également qu'une heure de jeu seulement a permis d'améliorer les capacités analogiques et symboliques d'enfants d'âges préscolaires (âge moyen = 5;4 ans) et que les gains se sont maintenus pendant 9 semaines. Ces résultats témoignent d'une grande efficacité de l'usage des jeux de société comme support de stimulation.

Ces données ont été intégrées dans notre méthodologie lors du choix du type d'activités et des formats linéaires ont été proposés.

Dans son étude Benavides-Varela (2016) souhaite également identifier les différents facteurs contextuels qui influencent les apprentissages numériques avant l'entrée à l'école. La performance mathématique de 110 enfants d'âge préscolaire (âge moyen = 5;11 ans) a été évalué à l'aide d'une batterie testant à la fois le SNA et le SNE. Les résultats ont ensuite été corrélés à des données issues d'un questionnaire parental. Benavides-Varela identifie alors plusieurs types d'activités permettant l'apprentissage d'informations numériques telles que les jeux de société, l'évocation des dates d'anniversaire, de l'âge, etc., et conclut que nous ne connaissons pas encore toutes les activités impliquées dans le domaine des apprentissages numériques.

Si les jeux de société constituent un support d'apprentissage reconnu, d'autres supports de jeu pourraient également soutenir les apprentissages numériques.

### **3.4 Les tablettes numériques visuelles et tactiles**

#### **3.4.1 Equipement des foyers**

Un sondage réalisé par le CREDOC (Centre de Recherche pour l'Etude et l'Observation des Conditions de vie) pour le Conseil général de l'Economie révèle un accroissement constant du taux d'équipement en tablettes tactiles dans les foyers depuis l'année 2011. Ce taux a notamment augmenté de 5 points entre l'année 2015 et l'année 2016. Un tiers des familles possédant de faibles revenus et la moitié des familles possédant un haut revenu en étaient équipées en 2016 (« baromètre-du-numérique 2016, » n.d.)

Devant le constat d'une augmentation de l'usage des tablettes numériques tactiles chez les enfants, il nous a paru pertinent d'évaluer celui-ci en tant que support de stimulation dans le cadre du développement de la numératie.

#### **3.4.2 Les enfants et les écrans (Bach, Oudé, Léna, & Tisseron, 2013)**

Suite au constat de l'évolution rapide de l'utilisation des écrans chez des enfants de tous âges, l'Académie des Sciences a récemment publié un avis sur ce sujet destiné au ministère. L'objectif était de regrouper les données scientifiques les plus récentes de la neurobiologie, de la psychologie, des sciences cognitives, de la psychiatrie et de la médecine sur la place du numérique dans l'éducation des enfants (Bach, Oudé, Léna, & Tisseron, 2013) afin de guider parents et enseignants pour tirer le meilleur profit de cette nouvelle forme de culture.

Face aux nombreuses critiques concernant les effets négatifs de l'utilisation des écrans sur les apprentissages, les auteurs répondent qu'au contraire ils peuvent être bénéfiques pour le développement cognitif, culturel et social de l'enfant. Les outils numériques stimuleraient les mêmes mécanismes de plasticité cérébrale que les autres vecteurs d'apprentissage.

Toutefois, cet avis de l'Académie des Sciences met en garde contre les dérives liées à une utilisation trop intensive des écrans. Une série de recommandations destinées aux parents et aux enseignants définit les bonnes pratiques d'usage des outils numériques afin d'en éviter les effets négatifs potentiels sur le développement. Les enfants doivent être éduqués de manière précoce à avoir une attitude réflexive sur leur propre usage de l'écran, à gérer leur temps d'utilisation et à comprendre la dissociation entre le virtuel et le non virtuel.

Concernant les tablettes numériques, les recommandations nous indiquent qu'elles peuvent être utilisées dès la naissance pour stimuler le développement sensori-moteur. Ces

outils présentent l'avantage, par rapport aux autres types d'écrans étudiés, d'être interactifs et de respecter le fonctionnement cognitif de l'enfant.

L'usage des tablettes numériques doit cependant être très encadré : il est préconisé de ne pas laisser l'enfant jouer tout seul avant l'âge de deux ans. Le jeu sur tablette doit rester interactif, avec une présence parentale, et limité dans le temps. Toujours dans l'objectif de lui apprendre à contrôler son temps d'utilisation, l'enfant ne doit pas posséder de tablette personnelle avant l'âge de six ans.

Si les outils numériques s'avèrent être un support efficace pour les apprentissages, les actions de prévention basées sur l'utilisation de ces outils devront être définies par un cadre précis en suivant les recommandations pré-citées.

### **3.4.3 Usage des tablettes tactiles dans la littérature**

Certaines études ont déjà utilisé ce support comme outil de stimulation dans le domaine de la cognition mathématique.

Honoré & Noël (2016) proposent de comparer les effets d'un entraînement spécifique du SNA et du SNE sur le développement des compétences arithmétiques par l'usage de tablettes numériques. 56 enfants ont été répartis dans trois groupes, un premier groupe recevant une stimulation du SNA, un deuxième groupe une stimulation du SNE et le troisième groupe a constitué un groupe témoin. Les auteurs ont testé les enfants avant et après les entraînements afin de pouvoir objectiver leurs progressions. Les pré-tests et les post-tests se sont déroulés sur une durée de deux semaines chacun. Dix sessions d'entraînements de 30 minutes ont été proposées aux enfants sur une durée de six semaines. Une évolution significative du groupe ayant reçu un entraînement du SNE a été objectivée. Toutefois on ne note pas d'évolution significative en ce qui concerne les enfants dont le SNA était la cible de l'entraînement. Se pose donc la question de la possibilité de stimuler le SNA par l'emploi d'un support numérique.

Une étude portant spécifiquement sur l'efficacité du support numérique dans l'apprentissage précoce des mathématiques chez des enfants âgés de 4 à 6 ans a évalué les effets d'un entraînement spécifique de la ligne numérique mentale. La méthodologie employée dans cette étude était la même que celle employée par Honoré & Noël (2016) à savoir l'emploi d'un design pré-tests/entraînements/post-tests. 179 enfants ont joué pendant 4 séances de 15 minutes. L'évaluation et l'entraînement portaient sur la même tâche : une estimation sur ligne numérique (de 0 à 10). Les auteurs ont notamment contrôlé le paramètre du mouvement de la main (sauter du doigt, montrer...) en tant que variable dépendante. Les résultats ont révélé un accroissement des performances en estimation après seulement 4 séances ainsi qu'un effet lié au type de comportement (Dejonckheere & Desoete, 2015). Les tablettes numériques tactiles peuvent donc avoir un effet sur le développement du SNA.

Dans notre étude, nous reprenons le matériel (I-Pads et Logiciels) constitué et utilisé lors de la réalisation d'une étude publiée en 2017 par Véronique Cornu. L'objectif de cette étude était d'évaluer la pertinence d'un entraînement des capacités visuo-spatiales pour le développement des performances mathématiques précoces. Le design pré-tests/entraînements/post-tests était utilisé. Sur 125 enfants recrutés (scolarisés en classe de maternelle), 68 ont reçu un entraînement des capacités visuo-spatiales comportant 20 sessions de 20 minutes sur 10 semaines, les autres ont constitué un groupe contrôle. Les résultats ont montré une amélioration des capacités visuo-spatiales chez les enfants ayant reçu l'entraînement, sans transfert de cette amélioration sur leurs compétences numériques (Cornu et al., 2017). La

question du manque de transfert imputable au choix du support se pose. En effet la tablette numérique ne permettant pas un traitement visuo-spatial sur trois dimensions, on peut se demander si les supports impliquant une manipulation d'objet dans l'espace ne se révéleraient pas plus efficaces.

Les études pré-citées ayant utilisé des tablettes numériques tactiles comme support de stimulation dans le domaine des mathématiques ont toutes révélé des résultats encourageants. Les tablettes tactiles semblent être un support d'apprentissage efficace et leur utilisation a déjà démontré des effets après un temps relativement court. En effet Dejonckheere & Desoete (2015) ont obtenu des résultats après seulement 4 séances de 15 minutes.

Toutefois, pour définir notre action de prévention, nous souhaitons identifier le meilleur support à proposer aux parents qui désirent accompagner leur(s) enfant(s) dans les premiers apprentissages mathématiques.

Si plusieurs études ont déjà montré que les jeux de société sont un support efficace pour le développement des habiletés numériques chez l'enfant (Benavides-Varela et al., 2016; LeFevre et al., 2009), d'autres études ont montré que les tablettes numériques sont également un support d'apprentissage possible dans le domaine des mathématiques (Cornu et al., 2017; Dejonckheere & Desoete, 2015; Honoré & Noël, 2016). Cependant, aucune étude ne propose de comparer directement ces deux supports afin de déterminer lequel est le plus adapté à l'apprentissage des mathématiques.

Nous proposons donc, dans cette étude, d'évaluer l'efficacité d'un entraînement mathématique sur tablettes numériques et sur jeux de société.

Notre hypothèse principale est que les deux types de support permettent un développement des habiletés numériques précoces mais que les jeux de société se révèlent être un support plus adapté à un projet de prévention. En effet nous supposons que la manipulation induite par les jeux de société constitue une stimulation plus efficace car l'amplitude des mouvements du corps aurait son importance dans le développement des représentations numériques.

## **Méthode**

Le présent projet a été évalué par le Comité d'Ethique d'Etablissement de l'Université de Lille3. 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.

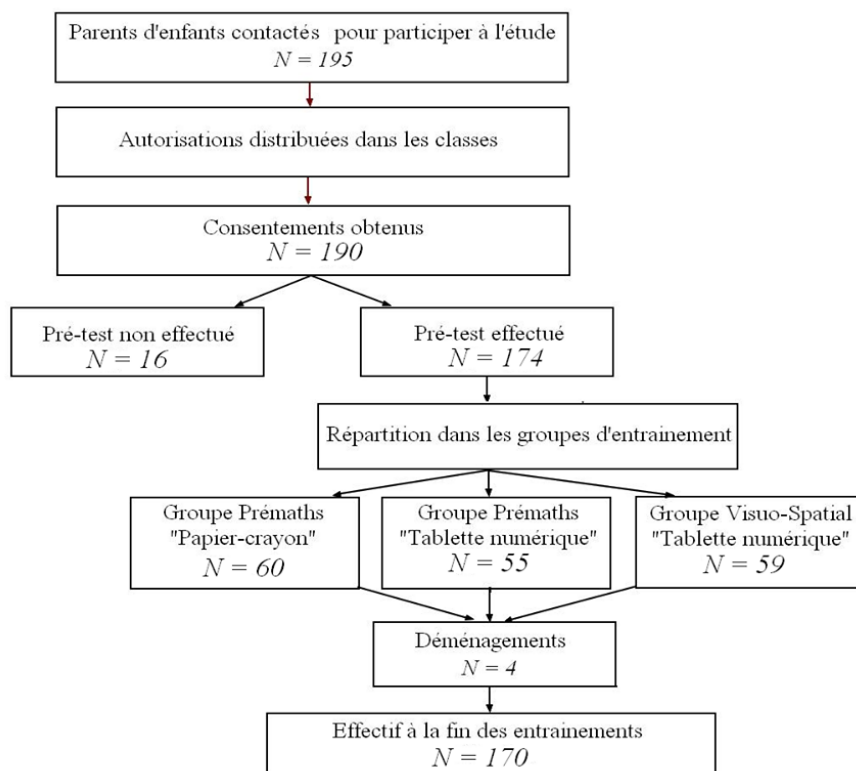
Une lettre d'information (cf. Annexe 6) présentant l'étude accompagnée du formulaire de consentement (cf. Annexe 6) a été distribuée à chaque parent par les enseignants afin de recueillir les autorisations parentales. Des questionnaires parentaux (cf. Annexe 6) étaient également joints afin de recueillir des données sur les habitudes de vie relatives à l'usage des supports de jeux (i.e, tablette numérique ; jeux de société) que nous souhaitons étudier.



# 1 Les 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 et de sa répartition au cours de l'étude ; au final, 170 enfants ont réellement participé à l'étude.



**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 trois types d'entraînements.

Afin que les entraînements soient comparables, la répartition des enfants participant 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.**

Effectifs	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
<b>Total</b>	<b>60</b>	<b>110</b>	<b>103</b>	<b>67</b>	<b>3,1</b>	<b>5,17</b>	<b>7,2</b>	<b>N=170</b>

Le tableau 1 présente la répartition des enfants participant 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 mesurés chez les enfants nous apprendra si la répartition est également équilibrée en terme de niveau de performance générale (i.e, facteurs cognitifs généraux).

## 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 a ciblé le développement des compétences numériques par l'utilisation d'un support tablette numérique et d'un support de type « papier-crayon ». Les post-tests permettront de mesurer les progressions des suites de l'entraînement pour chaque support et de comparer ainsi leur efficacité respective.

L'intervention doit se dérouler entre le mois de janvier 2018 et le mois de juin 2018. Les pré-tests ont eu lieu sur une période de trois semaines (mois de janvier). Les entraînements ont duré huit semaines (mois de février-avril), 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 et auront lieu au mois de mai. L'analyse des résultats s'effectuera à partir du mois de juin.

### 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'a été effectué par informatique. Une grande partie des tests qui ont été effectués sont inspirés du protocole de l'équipe luxembourgeoise ayant développé les entraînements sur outils numériques (Cornu et al., 2017). Le tableau 2 présente les différentes épreuves administrées lors de la phase du pré-test et du post-test 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.

**Tableau 2. Epreuves administrées lors du pré-test et du post-test.**

Tâches	Description de la tâche
1) Matrices non verbales de la WNV	Observer une matrice incomplète et choisir celle qui manque parmi 4 ou 5 propositions de réponses
2) Aptitudes visuo-spatiales (DTVP2) a-Orientation spatiale a-1-Lequel est différent ? a-2-Lesquels sont les mêmes ? b-Relations spatiales	Montrer la forme qui est différente des autres Montrer la forme qui est identique à la première Relier les points comme sur le modèle
3) Compétences de comptage a-Comptage libre b-Comptage à partir de c-Comptage en arrière d-How Many Task ?	Compter le plus loin possible à voix haute <b>code verbal</b> Compter à voix haute à partir de ... <b>code verbal</b> Compter à l'envers à partir de ... <b>code verbal</b> Dénombrer les cailloux présentés <b>codes analogique verbal</b>
4) Lecture de nombres à voix haute	Lire ( <b>code verbal</b> ) le nombre montré en <b>chiffre arabe</b>
5) Epreuves de comparaison a-Vitesse motrice b-Comparaisons symboliques (un chiffre) c-Comparaisons symboliques (nombre à deux chiffres) d-Comparaisons non symboliques (ensembles de points)	<b>Tâches chronométrées</b> ⇒ Barrer le plus vite possible la forme en noir parmi deux formes (une blanche et une noire) Barrer le plus grand chiffre parmi deux Barrer le plus grand nombre parmi deux (nombres à deux chiffres) } <b>code arabe</b> Barrer l'image comportant le plus de points parmi deux. <b>code analogique</b>
6) Galifret-Granjon	Montrer le doigt touché (une main cachée des yeux de l'enfant, l'examineur touche un doigt, l'enfant montre avec son autre main quel doigt a été touché).
7) Lignes numériques	Placer des nombres sur une ligne non graduée comportant seulement le 0 au début et le 20 à la fin. <b>codes arabe analogique</b>
8) Additions a-Additions verbales avec support digital b-Additions verbales avec chiffres arabes	Donner le résultat d'une addition montrée par des représentations canoniques de doigts et lue verbalement (comptage avec support analogique) Donner le résultat d'une addition montrée en chiffre arabe et lue verbalement par l'examineur (comptage avec code symbolique)
9) Mémoire de travail verbale : « répétition à l'envers »	Répéter les couleurs données par l'examineur à l'envers (mémoire de travail verbale)
10) Quel est le chiffre manquant ?	Dire le nombre manquant sur la rangée de chiffres <b>code arabe</b>
11) Corsi- mémoire visuo-spatiale	Montrer où étaient les boîtes bleues présentées précédemment parmi un ensemble de boîtes. (mémoire de travail visuelle)

Les compétences visuo-spatiales et les gnosies digitales ont été intégrées au testing car on sait qu'elles corréleront 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.

Le même protocole sera utilisé pour le post-test, excepté le subtest « Matrices non verbales de la WNV » (1) évaluant l'intelligence non verbale.

## **2.2 L'entraînement : généralités**

Les entraînements ont eu lieu sur le temps de la classe, les enseignants ont pu participer avec les étudiantes en orthophonie à l'administration des entraînements. Afin d'éviter tout biais relatif à l'entraîneur, ceux-ci inter-changeaient régulièrement les groupes.

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 par semaine ont été administrées sur deux jours de la semaine différents. Le nombre de séances suivies par chaque enfant a été recueilli 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 « papier-crayon » étaient généralement constitués de quatre enfants. Ceci afin de respecter le format des jeux initialement prévu pour quatre enfants. Le support tablette offrant une plus grande autonomie dans la réalisation des activités, un expérimentateur pour six enfants suffisait à la gestion des groupes tablettes.

Le nombre d'enfants par groupe dans les différents entraînements n'a donc pas été apparié. Il a été en effet pensé afin d'optimiser la gestion des groupes par l'expérimentateur en fonction du type de support utilisé. En revanche, le nombre d'enfants a été réparti équitablement par type d'entraînement (cf. Tableau 1), chacun comptant en moyenne 56 enfants.

La progression des entraînements a été organisée de manière à obtenir une difficulté croissante des tâches proposées. 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 de l'étude effectuée par Cornu et collaborateurs (2017), d'objectiver et d'évaluer le degré de progression dans le domaine des mathématiques d'enfants n'ayant reçu que des stimulations du traitement visuo-spatial.

### **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 était les compétences numériques précoces favorables au développement ultérieur des compétences mathématiques. Les activités ont été élaborées de façon à stimuler les trois types de représentations numériques décrites dans le modèle à

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 1.

### **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 était identifié grâce à un QR code, garantissant l'anonymisation des données. Chaque activité était également associée à un QR code et s'activait grâce à un livret sous format papier. Celui-ci contenait parfois les modèles à suivre durant le jeu et était nécessaire pour le suivi de l'activité.

Les activités sur tablette avaient une présentation non verbale. Toutefois une partie des activités ont été dispensées par l'intermédiaire des expérimentateurs qui tenaient le livret papier et fournissaient des modèles verbaux en énonçant les nombres. Ainsi la stimulation des trois codes (i.e, analogique; verbal; arabe) était effective.

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, et d'autres en interaction avec l'expérimentateur. Le détail des activités « pré-maths » se trouve à l'annexe 2.

### **2.2.4 Groupe « capacités visuo-spatiales »**

Le même logiciel MaGrid développé par l'équipe luxembourgeoise a été proposé avec le même type de fonctionnement. Des QR codes ont été également attribués aux activités et aux enfants. Certaines activités étaient aussi dépendantes d'un livret papier. Les performances des enfants ont été également enregistrées. Pour les activités visuo-spatiales, la tablette se comportait comme une ardoise électronique permettant à l'enfant de reproduire les modèles. Le détail des activités « CVS » se trouve à l'annexe 3.

La cible de cet entraînement était la stimulation des capacités visuo-spatiales. Son objectif est d'observer les effets d'un entraînement des CVS sur le développement des capacités mathématiques, dans la poursuite de l'étude réalisée par Cornu et collaborateurs (2017). Un appariement avec les autres types d'entraînement n'a pas été possible puisque le type de stimulation diffère. Toutefois, nous avons veillé à fournir une redondance semblable des tâches administrées afin de favoriser l'apprentissage.

# Résultats

L'analyse statistique des données issues du pré-test faisant l'objet de travaux futurs, nous proposons de présenter les scores bruts et de fournir une analyse qualitative de protocoles passés chez deux enfants, un de MS et un de GS. 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. Enfin, nous détaillons l'ensemble des analyses qui seront 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 dans les épreuves relations spatiales (2c) et aptitudes visuo-spatiales (2a et 2b). La capacité à reproduire des figures et la discrimination de l'orientation spatiale ne sont donc pas encore effectives chez ces deux sujets.

Dans l'épreuve relations spatiales (2c), la reproduction de figures simples est réussie par les deux enfants, mais ceux-ci se retrouvent en difficulté lorsqu'il s'agit de reproduire des figures plus complexes, c'est-à-dire comportant un nombre plus élevé de points à relier et des traits orientés sur un axe diagonal. Les difficultés ont porté sur le fait de devoir se repérer par rapport aux points (points non-cibles touchés), le tracé manquait de précision (points cibles visés non atteints) et les traits orientés sur l'axe diagonal étaient reproduits sur l'axe vertical ou horizontal.

D'une manière générale, on a pu observer une grande hétérogénéité des performances chez l'ensemble des enfants participants. Certains obtenant des scores plafonds, d'autres se

trouvant en grande difficulté. Les capacités de traitement visuo-spatial n'étaient donc pas identiques chez tous les enfants testés.

## 1.2 Evaluation des compétences numériques analogiques

Les deux enfants n'ont pas montré les mêmes capacités en comparaison de nombres de points. Celles-ci semblent efficaces chez l'enfant de GS mais non chez l'enfant de MS. Le subtest addition avec support digital a complètement été échoué par les deux.

Ces résultats sont représentatifs de ce que nous avons majoritairement remarqué concernant les compétences numériques analogiques, bien qu'une hétérogénéité des performances ait été constatée. Des réussites parfois complètes avec des enfants obtenant des scores plafonds, ou des difficultés plus marquées ont en effet pu être observées pour chacune de ces épreuves chez l'ensemble des participants.

Les stratégies notées lors du subtest "addition avec support digital" (8a) étaient diverses. Certains enfants comptaient sur leurs doigts, d'autres à voix haute. La stratégie était parfois non observable, laissant supposer un comptage mental ou une récupération immédiate du résultat.

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

Subtest Classe	Compta ge libre jusque (3a)	Manipul ation de la chaîne numériq ue (3b; 3c)	Déno mbrem ent (3d)	Lecture de nombres (4)	Compa raison de nombre s 1-9 (5b) (*)	Additio ns avec chiffres (8b)	Quel est le chiffre manqu ant? (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 la manipulation de la chaîne jusqu'à 10 était échouée. Les deux enfants se retrouvaient particulièrement en difficulté pour compter à l'envers (épreuve 3c). Les capacités de dénombrement sont efficaces chez les deux sujets. Les deux enfants savaient lire les chiffres jusqu'à 8 mais la comparaison de chiffres arabes entre 1 et 9 ou la complétion de la chaîne numérique arabe n'étaient que partiellement réussies. Le subtest additions avec chiffres était échoué.

Ces observations concernant les compétences symboliques sont applicables à la plupart des enfants testés. Toutefois une grande hétérogénéité des performances était également constatée, certains enfants ne connaissant qu'un ou deux chiffres arabes, d'autres les reconnaissant presque tous (jusqu'à 29) dans la tâche « Lecture de nombres » (4). La chaîne numérique verbale jusqu'à 10 n'était pas toujours connue. 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 puisqu'aucun enfant n'a plafonné sur l'ensemble des épreuves. Des progrès pourront ainsi 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 n'ont pas été entraînées.

## 2 Les questionnaires parentaux : analyse de trois données

Les questionnaires parentaux nous ont permis de récolter des informations sur l'usage dans l'environnement familial des supports que nous souhaitons étudier, à savoir les jeux de société et les tablettes numériques.

La figure 3 et le tableau 5 présentent trois données récoltées sur l'ensemble des questionnaires distribués auprès des parents des 170 enfants participant à l'étude, à savoir le pourcentage d'enfants jouant à la tablette numérique ou aux jeux de société à la maison et le pourcentage d'enfants possédant leur propre tablette. Il sera intéressant d'examiner si cette dernière donnée est corrélée à un usage fréquent du support tablette.

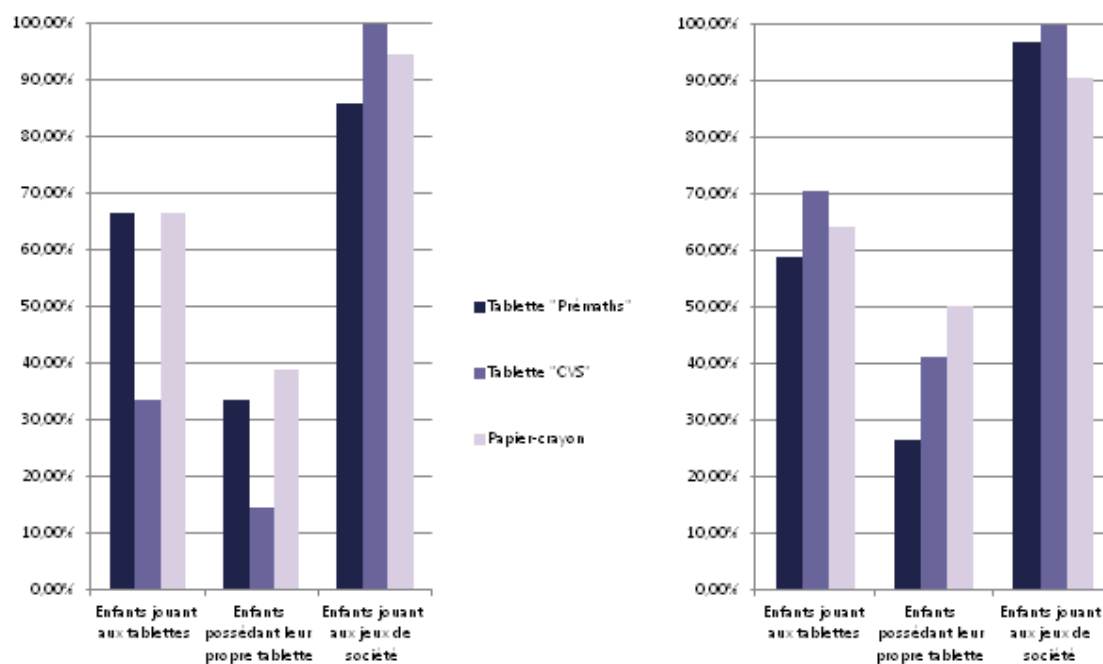


Figure 3 : Utilisation des supports tablettes et jeux de société dans l'environnement familial des enfants de MS (à gauche) et de GS (à droite)



Sur ces 170 réponses, nous constatons qu'un peu plus de la moitié des enfants participants utilisent la tablette numérique à la maison. Environ un quart des enfants possèdent leur propre tablette numérique, on peut donc penser qu'ils jouent fréquemment sur ce type de support.

La quasi-totalité de notre effectif joue régulièrement aux jeux de société. Il semblerait que ce soit 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 moins le support tablette numérique. Ci-dessous (cf. Tableau 5) sont présentées les données pour chaque groupe d'entraînement.

**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 %

Les constatations sont les mêmes. Dans les trois groupes constitués, le recueil des données montre que les enfants joueraient plus souvent aux jeux de société qu'aux tablettes numériques dans leur environnement familial. On remarque également une différence du nombre d'enfants jouant à la tablette dans le groupe « CVS », celui-ci étant moindre que dans les autres groupes. Une différence apparaît également dans le groupe « papier-crayon » avec un pourcentage plus important d'enfants possédant leur propre tablette par rapport aux autres groupes.

### 3 Nombre de sessions administrées lors des entraînements

Initialement, nous avons prévu de réaliser 16 sessions d'entraînement. Cependant, les écoles ayant été parfois indisponibles, certaines sessions annulées n'ont pu être rattrapées. Le nombre de sessions administrées pour la majorité des classes a été finalement de 14. Il existe une variabilité du nombre de sessions administrées entre les classes qui devra être prise en compte lors de futurs calculs. Vous trouverez en annexe 4 et 5 la moyenne du nombre de sessions suivies par type d'entraînement et par classe, le nombre maximal de sessions administrées par classe et le taux de participation détaillé par classe. Le tableau 6 présente le nombre de sessions administrées en moyenne 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

On constate que le nombre de sessions est équilibré entre les différents types d'entraînement avec en moyenne 12 sessions d'entraînement réellement effectuées par enfant. La moyenne du nombre de sessions effectuées dans chaque entraînement a été calculée à partir du recueil du nombre de sessions suivies par chaque enfant.

## **4 Recueil de données et analyses**

Notre recueil de données permettra d'effectuer des analyses statistiques objectivant ou non la progression des enfants au regard des entraînements. Par ailleurs, différentes analyses pourront être effectuées afin de répondre à des questions spécifiques.

### **4.1 Données issues du questionnaire**

Les données issues du questionnaire permettront, par le biais d'analyses corrélationnelles, de nous positionner par rapport au lien entretenu entre la fréquence d'usage de chaque support (i.e, tablette numérique, jeux de société) et les habiletés numériques précoces mesurées au pré-test. Un lien pourrait également être établi entre la fréquence d'usage de chaque support et le développement des facteurs cognitifs généraux (i.e, QI, mémoire à court terme, mémoire de travail) mesurés au pré-test.

Les données récoltées permettront d'approfondir nos connaissances sur le type de jeux susceptibles de favoriser le développement des habiletés numériques précoces. Des corrélations pourraient en effet être établies entre le type de jeux utilisés sur tablette (i.e, action et aventure, éducatif, jeux de société) et les compétences numériques mesurées au pré-test, soit avant l'entraînement. De même, nous pourrions étudier le lien entre le type de jeux de société (i.e, jeux de cartes, jeux de plateau, jeux de chiffres et lettres) utilisés dans l'environnement familial et les compétences numériques initiales des enfants.

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

Nous pourrions également chercher à établir des corrélations entre le développement des habiletés numériques précoces et l'utilisation d'autres types de supports que ceux étudiés (i.e télévision, jeux vidéo, jeux manuels), toujours avec les données issues des pré-tests.

De même, nous pourrions regrouper les données sur la fréquence d'utilisation des supports type « écran » (i.e, tablette numérique, télévision, jeux vidéo) ainsi que les données sur la fréquence d'utilisation de supports type « manuel » (i.e, jeux de société, jeux manuels). Nous pourrions ainsi observer si une différence significative des performances numériques apparaît chez les enfants pratiquant plus souvent des activités sur écrans que des jeux impliquant une manipulation.

### **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**

L'objectif initial de cette étude était d'évaluer la pertinence de l'usage des tablettes numériques tactiles comme support de prévention du développement des habiletés numériques précoces. La population cible étant des enfants d'âge préscolaire. Nous souhaitons, pour ce faire, comparer l'efficacité d'un entraînement des habiletés numériques sur tablette à l'efficacité d'un entraînement des mêmes habiletés sur autre support, les jeux de société. La phase post-test étant en cours, nous ne pourrions analyser notre critère de jugement principal (taux de progression des enfants) et donc répondre à notre problématique initiale.

Toutefois, pour poursuivre notre objectif, nous avons mené une réflexion sur la méthodologie la plus appropriée à employer. Il peut être donc intéressant de revenir sur la conception de cette méthodologie au regard de nos premières observations lors de l'intervention. D'autre part, des hypothèses peuvent être émises quant aux résultats attendus en lien avec ce que nous avons déjà pu observer et ce que nous apprend la littérature.

### **1 Retours sur les procédés méthodologiques**

Une réflexion critique sur la mise en place de notre méthodologie permettra d'anticiper des besoins futurs lors du suivi longitudinal et d'éviter certains biais dans le cas d'une éventuelle réplique de l'étude. Ainsi, nous reviendrons sur la description de notre échantillon, l'élaboration du questionnaire parental et des entraînements.

#### **1.1 Description de l'échantillon**

Sur les 195 enfants initialement inclus dans notre étude, 170 enfants ont finalement participé. La taille de l'échantillon final semble raisonnable au regard de la littérature. L'étude qui a inspiré notre méthodologie (Cornu et al., 2017) comprenait un échantillon total était de 125 enfants.

La répartition des effectifs sur les critères du sexe, de l'âge et du niveau scolaire (cf. Tableau 1) semble équitable entre les différents entraînements.

Notons cependant que notre échantillon total comporte plus de garçons que de filles (103 garçons; 67 filles) et plus de GS que de MS (110 GS; 60 MS).

Si un effet lié à l'âge apparaît lors de l'analyse statistique, il pourrait être intéressant d'étudier quelle tranche d'âge a été la plus réceptive aux entraînements. Dans l'hypothèse où l'on souhaiterait reproduire cette étude, le niveau scolaire de la population ciblée par l'entraînement pourrait ainsi être ajusté. De même, nous pourrions préciser nos connaissances

sur l'âge préférentiel ciblé par une action de prévention visant le développement des habiletés numériques précoces.

## **1.2 Retours sur le questionnaire parental**

### **1.2.1 Constats sur la fréquence d'usage des jeux de société**

Selon les premiers résultats, 91,6 à 100% des enfants participants dans notre étude joueraient aux jeux de société à la maison, au moins une fois par semaine. Ce nombre est très élevé et semble peu fiable. Plusieurs défauts de conception du questionnaire pourraient être à l'origine d'un biais de désirabilité sociale. En effet dans notre questionnaire, la question concernant la pratique des jeux de société à la maison faisait suite aux questions sur l'usage de tablettes numériques : un effet de culpabilisation a pu conduire les parents à cocher systématiquement la réponse "oui".

De même, les questions concernant la fréquence d'usage des jeux de société proposaient un nombre limité de réponses possibles, les propositions ne couvrant qu'une période hebdomadaire. Cela a pu sous-entendre qu'il est dans la normalité de jouer au moins une fois par semaine aux jeux de société avec son enfant et créer ainsi un sentiment de culpabilité lorsque ce n'était pas le cas. On peut donc conclure que la restriction du nombre de choix n'a probablement pas permis de déterminer avec précision la fréquence réelle d'utilisation des jeux de sociétés.

### **1.2.2 Constats sur la fréquence d'usage des tablettes numériques**

Les données concernant la possession de tablettes semblent à priori correspondre aux données présentées par le CREDOC, à savoir qu'au minimum, un tiers des familles serait actuellement équipé en tablettes numériques tactiles. 29 à 46,6% des enfants participants dans notre étude posséderaient leur propre tablette. Ces résultats semblent plausibles et suggèrent que les données récoltées sont exploitables. De même, environ 60% des enfants joueraient à la tablette dans leur environnement familial, ce qui laisse supposer que plus de la moitié des familles que nous avons interrogées possèdent une tablette. Cela confirmerait l'hypothèse d'un accroissement constant du taux d'équipement en tablettes dans les foyers.

Si nous nous fions aux données récoltées concernant la fréquence d'usage des différents supports étudiés, les tablettes numériques tactiles semblent être de bonnes candidates en tant que support de prévention, car ce support serait suffisamment répandu au sein des foyers.

Toutefois, dans l'hypothèse où l'ensemble des données sont exploitables, il semblerait que le support « jeux de société » soit plus présent encore dans l'environnement familial, et donc plus approprié.

Un suivi longitudinal des enfants participant à l'étude devrait être mis en place, de ce fait, un questionnaire de suivi pourrait être distribué. Il serait alors possible de repenser sa construction afin de limiter un éventuel biais relatif à la désirabilité sociale. Nous pourrions ainsi recueillir de nouvelles données sur la fréquence d'usage des jeux de société des enfants participants dans leur environnement familial afin de les comparer à nos données initiales. Il pourrait également être intéressant de réévaluer le taux d'équipement des foyers en tablettes numériques afin d'observer un éventuel accroissement de ce taux.

Dans l'éventualité où cette étude serait répliquée, le recueil des réponses libres dans notre questionnaire pourrait permettre de construire un nouveau questionnaire explorant plus

en détail certaines variables. Nous pourrions ainsi découvrir de nouvelles corrélations entre « développement des habiletés numériques » et « type d'activités » réalisées à la maison, dans la poursuite de l'étude réalisée par Benavides-Varela et collaborateurs (2016).

De même si nous souhaitons valoriser l'utilisation de certains supports à la maison, il paraît important de déterminer avec précision quel type de jeux est le mieux susceptible de soutenir les apprentissages mathématiques, quel que soit le support.

### **1.3 Retours sur le pré-test**

#### **1.3.1 Etablissement de trois profils**

Nous pouvons établir trois profils types en fonction des différents niveaux généralement rencontrés lors de l'évaluation des performances numériques. Le profil 1 regrouperait des enfants possédant des habiletés numériques peu développées car ayant obtenu les scores bruts les plus bas sur l'ensemble de l'évaluation. Le profil 2 décrirait les enfants qui présentaient des réussites partielles aux différents subtests. C'est le profil qui semble avoir été le plus souvent observé. Le profil 3 regrouperait les enfants possédant des habiletés numériques précoces bien développées, car ayant plafonné à la plupart des subtests évaluant les habiletés numériques précoces.

Ces profils n'ont pas pour vocation de classer l'ensemble des enfants participants dans un profil type, un enfant pouvant se trouver entre deux profils, mais permettront de définir des marges de progression rendues possibles grâce à l'entraînement.

#### **1.3.2 Marges de progression possibles**

Le pré-test a montré une bonne sensibilité, quel que soit le domaine (analogique et symbolique) avec une large marge de progression possible pour les enfants appartenant aux profils 1 et 2. La marge de progression est moindre pour les enfants correspondant au profil 3. Leurs habiletés numériques étant déjà bien développées, on peut se demander ce que pourrait leur apporter notre entraînement. Toutefois la manipulation de la chaîne numérique verbale, également ciblée lors de la phase d'entraînement, était souvent échouée, même chez ces enfants.

Le pré-test évalue également des compétences numériques plus avancées telles que les capacités d'additions avec chiffres arabes ou encore la connaissance des grands nombres (à deux chiffres). Ces compétences numériques plus avancées n'ont pas été entraînées. Il sera donc intéressant de voir si le profil 3 améliore ses performances dans ce domaine, maintenant ainsi un écart de performance avec les profils 1 et 2.

De manière générale, il sera intéressant d'observer si notre entraînement a eu pour effet d'homogénéiser les compétences numériques entre les différents profils d'enfants ou si une l'hétérogénéité persiste. L'objectif final étant la mise en place d'un projet de prévention limitant les inégalités scolaires dans le domaine des mathématiques, nous souhaiterions pouvoir observer une homogénéisation des compétences entre les enfants.

## **1.4 Retours sur la cible de l'entraînement : les habiletés numériques précoces**

L'analyse de deux protocoles, un de MS et un de GS, a montré que la cible de notre entraînement, à savoir les habiletés numériques précoces, semblait tout à fait pertinente. En effet, lors de l'évaluation des enfants participants, nous avons constaté une hétérogénéité des performances numériques comme il a été décrit dans la littérature. Les enfants ne présentaient pas les mêmes capacités, que ce soit dans le domaine analogique ou symbolique. Un entraînement ciblant à la fois le SNA et le SNE semblait donc pertinent.

### **1.4.1 Constats sur les représentations numériques analogiques**

Nos observations ont en effet révélé que certains enfants se retrouvaient en difficulté dans la tâche de comparaison de points (i.e, « Comparaisons non symboliques »(5d)) quand d'autres présentaient des réussites complètes. Rappelons que selon Dehaene, S. (1992; 2010), nous possédons tous une capacité de traitement numérique innée dans le domaine analogique. Les différences de performances observées chez nos enfants participants seraient possiblement liées au fait que « le sens du nombre » évolue en précision à travers le temps en fonction des stimulations reçues (Halberda et al., 2012a).

Les capacités de traitement numérique dans le domaine analogique peuvent donc être renforcées. Lors de l'entraînement, nous avons proposé des tâches de traitement numérique purement analogique (cf. Annexe 1 et 2).

Le même subtest « Comparaisons non symboliques » (5d) permettra d'objectiver ou non une homogénéisation des performances dans ce domaine chez l'ensemble des enfants participants.

### **1.4.2 Constats sur les représentations numériques symboliques**

#### **1.4.2.1 Constats sur le code verbal**

Concernant le développement du SNE, nous avons pu observer que la majorité des enfants connaissait la comptine verbale jusqu'à 10 mais se retrouvait en difficulté pour la manipuler.

Or, selon Fuson, Richards, & Briars (1982), l'acquisition de la chaîne numérique verbale n'est acquise que lorsqu'elle est stable et sécable. Ils décrivent cinq niveaux d'élaboration de la chaîne numérique verbale chez l'enfant entre l'âge de 4 à 8 ans. Dans un premier temps, la chaîne numérique verbale de l'enfant se présente comme un tout indifférencié (« undetroiscatrsink »). Puis elle devient une liste non sécable : l'enfant récite la chaîne depuis le début sans manipulation possible. C'est ce niveau que nous avons le plus souvent observé.

Notre objectif était donc de renforcer la connaissance de la chaîne numérique verbale jusqu'à 10 pour faire accéder les enfants à des niveaux d'élaboration supérieurs de cette chaîne. Dans le niveau 3 décrit par Fuson, Richards, & Briars (1982), la chaîne est sécable, les enfants peuvent compter à partir d'un autre nombre que 1. Le niveau 4 décrit une chaîne où chaque mot-nombre est une unité numérique indépendante. Dans le niveau 5, la chaîne numérique est bidirectionnelle, une récitation est donc possible dans les deux sens (comptage à rebours).

Dans notre entraînement, de nombreuses activités proposaient une manipulation de la chaîne verbale impliquant le niveau 3, 4 et 5 (cf. Annexe 1 et 2). Les subtests « Comptage à partir de » (3b) et « Comptage en arrière » (3c) permettront d'objectiver si les entraînements ont permis de faire progresser la représentation auditivo-verbale des enfants.

#### **1.4.2.2 Constats sur le code arabe**

Les entraînements ont également ciblé l'acquisition du code arabe jusqu'à 10, celui-ci n'étant pas systématiquement acquis chez tous les enfants. Or, comme le décrit Dehaene S. (1992 ; 2010) dans son modèle, c'est le code utilisé pour les calculs mathématiques. Sa maîtrise doit donc être renforcée si nous souhaitons poursuivre notre objectif de fournir des bases communes solides aux premiers apprentissages mathématiques. La plupart des activités proposées permettaient donc une manipulation du code arabe (cf. Annexe 1 et 2). Les subtests « Lecture de nombre à voix haute » (4), « Comparaisons symboliques » (5b) et « Quel est le chiffre manquant ? » (10) évalueront l'éventuelle progression des enfants dans leur connaissance du code arabe.

Ainsi, notre entraînement a bel et bien ciblé les domaines analogique, symbolique verbal et symbolique arabe, dans le respect du modèle du triple code de Dehaene, S. (1992; 2010).

### **1.5 Retours sur le déroulement des entraînements**

La réaction des enfants aux différents entraînements concorde avec ce que nous avons pu observer lors des pré-tests avec le dégagement de trois profils. Certains enfants terminaient rapidement les activités sans aucune aide. La majorité des enfants, moins rapides, terminaient les activités seuls ou avec un léger étayage de la part de l'expérimentateur. Certains enfants avaient besoin d'un fort étayage, sans quoi ils ne pouvaient progresser dans l'activité. La différence était notamment marquée entre les enfants de niveaux scolaires différents, les enfants de MS ayant besoin de beaucoup plus d'étayage.

#### **1.5.1 L'entraînement « pré-maths »**

Afin de stimuler les représentations numériques sur trois modalités (i.e, analogique, auditivo-verbale, visuelle), certaines activités ont été menées par l'expérimentateur. Celui-ci présentait le livret papier qui permettait aux enfants de progresser dans l'activité. Plusieurs bénéfices ont pu être observés suite à ce choix. Il a permis une interaction augmentée entre l'expérimentateur et l'enfant. De plus, tous les enfants suivant l'activité en même temps, une entraide a pu être observée entre les enfants finissant plus tôt et les camarades en difficulté. L'interaction augmentée a également permis à l'expérimentateur de repérer aisément les enfants en difficulté afin de leur venir en aide.

Le temps prévu pour les activités étant suffisamment large, la quantité et le type de stimulations furent globalement les mêmes pour tous les enfants. On favorise ainsi les chances d'homogénéiser les compétences entre les enfants. En effet les enfants en difficultés ne recevaient pas moins de stimulations que les autres.

La redondance des activités nous a déjà permis d'observer une progression chez les enfants participants. Les enfants augmentaient en vitesse lors de la réalisation des mêmes activités. Ces observations sont plutôt encourageantes et laissent présager une possible progression à la suite d'un entraînement sur tablette.

Notons toutefois que l'utilisation du support tablette a pu mettre certains enfants en difficulté et a peut-être ainsi freiné leur progression. En effet, certains enfants se sont retrouvés en situation de double tâche car ils ne maîtrisaient pas le tactile.

### **1.5.2 L'entraînement « papier-crayon »**

Nous avons observé des bénéfices communs entre le groupe « papier-crayon » et le groupe « pré-maths ». Les enfants prenant tous part au même jeu, le type et le nombre de stimulations étaient également équitables pour tous les enfants de ce groupe. La redondance du type de stimulation proposée a également permis une bonne appropriation des tâches proposées.

Notons cependant que l'interaction semblait plus marquée dans les activités « papier-crayon ». En effet, les enfants bénéficiaient d'un feed-back correcteur par l'expérimentateur de manière encore plus systématique que pour le groupe tablette grâce au tour de rôle. De plus, la plupart des jeux étant dispensés en groupe, l'interaction entre les enfants était également plus marquée. Elle permettait notamment un apprentissage par imitation ainsi qu'une entraide entre les enfants.

Un autre bénéfice observé, et non attendu, fut l'aspect motivationnel. Nous avons en effet d'abord pensé observer cet effet dans le groupe « pré-maths ». Nous supposons que le côté attrayant des tablettes aurait un effet sur la motivation des enfants lors de la réalisation des activités. Toutefois l'aspect répétitif des activités sur tablette a parfois lassé les enfants.

Si l'aspect répétitif de la tâche était également présent dans les activités « papier-crayon », le format de jeu en groupe la rendait plus ludique. La motivation des enfants était également renforcée par la présence d'un esprit de compétition plus marqué dans les activités « papier-crayon ».

Les deux groupes d'entraînement « pré-maths » et « papier-crayon » ont donc présenté un certain nombre de bénéfices communs. Toutefois, de part nos premières observations, il semblerait que les bénéfices liés à un entraînement « papier-crayon » soient supérieurs en nombre. Cette première constatation nous amène à penser que l'entraînement « papier-crayon » pourrait s'être avéré plus efficace que l'entraînement « pré-maths ».

## **2 Prédiction des résultats**

Le délai entre la phase pré-test, entraînement et post-test est relativement court (du mois de janvier au mois de mai). Ainsi, si des progressions sont mesurées, les chances sont augmentées qu'elles soient dues à notre entraînement.

Toutefois certaines variables parasites pourraient constituer un biais dans l'analyse et l'interprétation des résultats. Il paraît donc essentiel de les identifier afin de pouvoir limiter leur incidence. En l'absence de résultats interprétables, nous proposons d'examiner notre hypothèse initiale au regard des données issues de la littérature.

### **2.1 Variables parasites**

Une répartition inégale de l'usage des différents supports étudiés (i.e, tablette numérique, jeux de société) dans l'environnement familial pourrait venir biaiser l'interprétation des résultats. En effet les progressions mesurées pourraient être liées aux stimulations reçues dans l'environnement familial et non à notre entraînement.



L'enseignement reçu en classe pourrait également constituer une variable parasite dans notre étude si celui-ci diffère entre les classes. Des différences dans la manière d'administrer l'enseignement numérique pourraient être à l'origine de performances diverses mesurées chez les enfants lors du post-test. Le calcul du niveau global de performances numériques par classe permettrait d'évaluer ce risque de biais.

La variable socio-économique n'a pas été contrôlée dans notre étude. Or on sait que c'est une variable importante dans le domaine que nous étudions (Jordan et al., 2006, 1994) et qu'elle pourrait constituer une variable parasite si elle n'est pas contrôlée. Le suivi longitudinal de notre population pourrait permettre d'effectuer une mesure du contexte socio-économique des enfants participants grâce à la distribution d'un questionnaire de suivi.

La quantité d'interaction lors des entraînements pourrait également être qualifiée de variable parasite puisqu'elle diffère selon le type de support utilisé. La quantité d'interaction étant plus importante dans les activités « papier-crayon ». Toutefois, celle-ci étant inhérente au support, on retrouverait cette différence dans l'environnement familial. Si donc cette variable influence le taux de progression des enfants, elle constituerait plutôt un facteur explicatif de la différence mesurée.

## **2.2 Concordanance des hypothèses au regard de la littérature**

Concernant notre problématique initiale, à savoir le lien entretenu entre le type de support de jeux et le développement des habiletés numériques, nous pensons que les deux supports permettront une progression des enfants participants. Toutefois, il est fort probable que les enfants ayant reçu un entraînement « papier-crayon » progressent de manière plus importante que les enfants ayant reçu un entraînement « pré-maths » sur tablette numérique. Cela s'expliquerait par une quantité d'interaction plus importante lors des activités « papier-crayon », comme nous venons de le supposer, mais également par la présence d'une manipulation induite par le support « papier-crayon » plus importante.

De nombreuses études ont en effet révélé l'importance de la participation du corps dans l'acquisition des compétences numériques. Dans une publication récente, des auteurs ont révélé que l'utilisation du corps entier est impliquée dans les acquisitions numériques (Fischer, Moeller, Huber, Cress, & Nuerk, 2015). Dans cette étude (N=27), la capacité d'estimation sur ligne numérique a été entraînée selon deux conditions. Dans la première condition, les enfants utilisaient leur corps entier. Dans la seconde, la tâche était réalisée de manière classique (sans participation du corps). Les résultats ont révélé que les enfants dont le corps entier a été sollicité lors de l'entraînement ont progressé de manière plus importante dans leur capacité à faire des additions à deux chiffres.

La réflexion sur l'importance du mouvement effectué sur le développement des habiletés numériques est intéressante. Dejonckheere & Desoete (2015) ont également établi un lien entre le type de mouvements réalisés sur tablette et le développement des capacités numériques.

A priori, le support « jeux de société » semble être plus approprié aux apprentissages mathématiques, car il implique une participation du corps plus importante et des mouvements plus riches en diversité (déplacement de pion, manipulation de jetons). Toutefois de nombreuses études ont également révélé l'importance de l'utilisation des doigts lors du comptage sur les acquisitions numériques (Butterworth, 1999; Domahs, Moeller, Huber, Willmes, & Nuerk, 2010; Fuson, Richards, & Briars, 1982b). Or l'utilisation des doigts fut

observée lors de l'utilisation des deux types de supports (i.e, tablette numérique, jeux de société).

De plus, les études montrant l'importance du type de mouvements dans les apprentissages numériques ((Dejonckheere & Desoete, 2015; Fischer et al., 2015) se sont centrées sur un entraînement purement analogique et ne comportant qu'une seule tâche. Notre entraînement comportait un grand nombre de tâches et stimulait les représentations analogiques et symboliques. Il est donc difficile de prédire quel entraînement sera le plus efficace. Il est possible que les deux supports apportent un taux de progression différent selon le domaine numérique mesuré.

### **3 Intérêt Orthophonique**

L'apport de nouvelles connaissances sur les supports permettant le développement des habiletés numériques précoces pourra contribuer à la mise en place d'une action de prévention orthophonique chez des enfants présentant des retards dans le domaine des mathématiques ou une dyscalculie développementale. Nos préconisations pourront alors s'adapter au type d'activités (i.e, supports et jeux) déjà pratiquées au sein de l'environnement familial.

La reproduction de cette étude sur une population d'enfants présentant une dyscalculie développementale permettrait d'évaluer la pertinence d'élargir l'action de prévention à cette population.

Le développement de nos connaissances sur les types de jeu impliqués dans le développement d'une compétence numérique en particulier (i.e, SNA & SNE) permettra d'adapter les conseils donnés aux parents aux difficultés rencontrées par l'enfant.

L'amélioration de nos connaissances sur les outils numériques est essentielle dans un contexte où ce support est de plus en plus utilisé dès les premiers âges. Si ces outils permettent de développer certains apprentissages, une utilisation non encadrée peut nuire au développement de l'enfant. Quel que soit le type de pathologie rencontrée en orthophonie, un encadrement de l'usage du support tablette semble donc essentiel chez les enfants.

Rappelons que les recommandations actuelles sur les écrans préconisent que les enfants ne doivent pas posséder de tablette avant l'âge de six ans (Bach et al., 2013). Dans notre étude, nous avons pu observer que cette recommandation n'est pas nécessairement mise en pratique. Il existe donc un besoin de diffuser les informations nécessaires à un emploi responsable de ce support.

Pour rappel, on trouve dans la publication « l'enfant et les écrans » (Bach et al., 2013) un ensemble de recommandations permettant d'encadrer l'usage des tablettes numériques chez les enfants selon leur âge.

## **Conclusion**

Dès l'entrée à l'école, on remarque que les enfants ne sont pas tous égaux en ce qui concerne leurs performances dans le domaine des mathématiques. Ces inégalités seraient la résultante des différences d'éducation perçue dans l'environnement familial et persisteraient tout au long de la scolarité. De ce fait, la mise en place d'une action de prévention nous a semblé pertinente. Son objectif serait donc d'accompagner les parents qui le souhaitent dans les premiers apprentissages numériques de leur(s) enfant(s) et de prévenir d'éventuels retards d'acquisition dans le domaine de la cognition mathématique.

Notre étude propose d'étudier les différents supports susceptibles d'être conseillés aux parents à cette fin. Nos critères de sélection étaient que ces supports devaient être présents dans l'environnement familial et avoir été utilisés dans des recherches scientifiques dans le cadre du développement des performances numériques. Les supports « tablette numérique » et « jeux de société » ont ainsi été sélectionnés. Afin de déterminer si l'un des deux supports serait plus adapté au développement des habiletés numériques précoces, les effets d'un entraînement avec chaque support devaient être comparés.

170 enfants âgés entre 3 et 7 ans ont donc reçu un entraînement, soit sur un support « tablette numérique », soit sur un support de type « papier-crayon ». Les enfants ont été testés avant les entraînements et seront de nouveau testés après les entraînements (mai-juin 2018). Le critère de jugement principal de notre étude est donc le taux de progression des enfants dans chaque type d'entraînement (ie, tablette numérique, jeux « papier-crayon »).

Le contenu de l'entraînement a été établi en accord avec les données issues de la littérature. Il incluait une stimulation des systèmes numériques approximatif et exact. Le contenu des entraînements et la répartition des effectifs ont été contrôlés afin que seul le type de support utilisé constitue la variable dépendante de l'étude.

Des questionnaires ont été distribués aux parents des enfants participants afin de contrôler la répartition de la fréquence d'usage de chaque support dans l'environnement familial. Les questionnaires permettront également d'établir des corrélations entre les différentes données récoltées et les mesures effectuées lors de notre intervention. Ainsi, nos connaissances sur le type de jeu à conseiller pour chaque support étudié pourraient être améliorées. De même d'autres supports susceptibles d'être conseillés aux parents pourraient être découverts.

Nos premières observations ont révélé une bonne sensibilité du test et une bonne marge de progression possible chez la plupart des enfants. Certains enfants possédaient déjà des habiletés numériques précoces bien développées et se montreront probablement moins sensibles aux effets de notre entraînement. Certains biais méthodologiques ont été constatés et pourraient être corrigés lors du suivi longitudinal, notamment par la distribution d'un questionnaire de suivi.

En l'absence de résultats interprétables, il semble difficile à l'heure actuelle de répondre à notre problématique initiale. C'est dans un second travail que l'analyse des résultats des post-tests permettra de répondre à la question principale de notre étude, à savoir la comparaison du taux de progression des enfants en habiletés numériques précoces sur tablettes numériques et sur jeux de société.

Nos premières constatations nous amènent à penser qu'une progression sera mesurée pour chacun des deux supports. Il n'existe pas pour le moment d'étude de comparaison similaire retrouvée dans la littérature, ainsi il est difficile d'anticiper sur les résultats définitifs de notre étude. Toutefois, si notre hypothèse initiale se maintenait, à savoir que l'utilisation des tablettes numériques permet l'amélioration des habiletés numérique précoces, la littérature conforte nos premières impressions : l'apprentissage des enfants devra être complété par d'autres activités impliquant une manipulation.

De même, si le support « tablette numérique » peut s'avérer être un atout dans les apprentissages, son utilisation chez l'enfant doit être encadrée afin qu'elle ne nuise pas à son développement.

## Bibliographie

- Anders, Y., Rossbach, H.-G., Weinert, S., Ebert, S., Kuger, S., Lehrl, S., & von Maurice, J. (2012). Home and preschool learning environments and their relations to the development of early numeracy skills. *Early Childhood Research Quarterly*, 27(2), 231–244.
- Antell, S. E., & Keating, D. P. (1983). Perception of numerical invariance in neonates. *Child Development*, 54(3), 695–701.
- Aster, M. von. (2000). Developmental cognitive neuropsychology of number processing and calculation: varieties of developmental dyscalculia. *European Child & Adolescent Psychiatry*, 9(2), S41–S57.
- Aunola, K., Leskinen, E., Lerkkanen, M.-K., & Nurmi, J.-E. (2004). Developmental Dynamics of Math Performance From Preschool to Grade 2. *Journal of Educational Psychology*, 96(4), 699–713.
- Aunola, K., Leskinen, E., & Nurmi, J.-E. (2006). Developmental dynamics between mathematical performance, task motivation, and teachers' goals during the transition to primary school. *The British Journal of Educational Psychology*, 76(Pt 1), 21–40.
- Bach, J.-F., Oudé, O., Léna, P., & Tisseron, S. (2013). L'enfant et les écrans. Repéré le 16.04.2017 sur <http://www.academie-sciences.fr/pdf/rapport/avis0113.pdf>
- baromètre-du-numérique 2016. (n.d.). Repéré le 16.04.2017 sur [http://www.arcep.fr/uploads/tx\\_gspublication/presentation-barometre-du-numerique-291116.pdf](http://www.arcep.fr/uploads/tx_gspublication/presentation-barometre-du-numerique-291116.pdf)
- Benavides-Varela, S., Butterworth, B., Burgio, F., Arcara, G., Lucangeli, D., & Semenza, C. (2016). Numerical Activities and Information Learned at Home Link to the Exact Numeracy Skills in 5–6 Years-Old Children. *Frontiers in Psychology*, 7.
- Boyd, J. H. (2009). *Train Your Mind, Change Your Brain: How a New Science Reveals Our Extraordinary Potential to Transform Ourselves*. By Sharon Begley. 283 pp. Balantine Books, New York, 2008. \$14.95. *Journal of Religion and Health*, 48(2), 259–262.
- Bugden, S., DeWind, N. K., & Brannon, E. M. (2016). Using cognitive training studies to unravel the mechanisms by which the approximate number system supports symbolic math ability. *Current Opinion in Behavioral Sciences*, 10, 73–80.
- Bull, R., Espy, K. A., & Wiebe, S. A. (2008). Short-Term Memory, Working Memory, and Executive Functioning in Preschoolers: Longitudinal Predictors of Mathematical Achievement at Age 7 Years. *Developmental Neuropsychology*, 33(3), 205–228.
- Bulthé, J., De Smedt, B., & Op de Beeck, H. P. (2014). Format-dependent representations of symbolic and non-symbolic numbers in the human cortex as revealed by multi-voxel pattern analyses. *NeuroImage*, 87, 311–322.
- Butterworth, B. (1999). *The Mathematical Brain*. London, UK: Macmillan. Repéré le 14.04.2017 sur <http://discovery.ucl.ac.uk/91059/>
- Church, R. M., & Meck, W. H. (1984). The numerical attribute of stimuli. In *Animal cognition* (Lawrence Erlbaum Associates, pp. 445–464). Hillsdale.

- Cornu, V., Schiltz, C., Pazouki, T., & Martin, R. (2017). Training early visuo-spatial abilities: A controlled classroom-based intervention study. *Applied Developmental Science*.
- Dehaene, S. (1992). Varieties of numerical abilities. *Cognition*, *44*(1–2), 1–42.
- Dehaene, Stanislas. (2010). *Bosse des maths (La): Quinze ans après*. Odile Jacob.
- Dehaene, Stanislas, Molko, N., & Wilson, A. (2004). 1. Dyscalculie, le sens perdu des nombres. *La Recherche*, (379), 42–46.
- Dejonckheere, S., & Desoete, H. (2015). Early math learning with tablet PCs: The role of action (PDF Download Available). Repéré le 05.03.2018 sur [https://www.researchgate.net/publication/308180877\\_Early\\_math\\_learning\\_with\\_tablet\\_PCs\\_The\\_role\\_of\\_action](https://www.researchgate.net/publication/308180877_Early_math_learning_with_tablet_PCs_The_role_of_action)
- Desoete, A., Roeyers, H., & De Clercq, A. (2004). Children with Mathematics Learning Disabilities in Belgium. *Journal of Learning Disabilities*, *37*(1), 50–61.
- Domahs, F., Moeller, K., Huber, S., Willmes, K., & Nuerk, H.-C. (2010). Embodied numerosity: Implicit hand-based representations influence symbolic number processing across cultures. *Cognition*, *116*(2), 251–266.
- Feigenson, L., Libertus, M. E., & Halberda, J. (2013). Links Between the Intuitive Sense of Number and Formal Mathematics Ability. *Child Development Perspectives*, *7*(2), 74–79.
- Fischer, U., Moeller, K., Huber, S., Cress, U., & Nuerk, H.-C. (2015). Full-body Movement in Numerical Trainings: A Pilot Study with an Interactive Whiteboard. *International Journal of Serious Games*, *2*.
- Fuson, K. C., Richards, J., & Briars, D. J. (1982a). The Acquisition and Elaboration of the Number Word Sequence. In C. J. Brainerd (Ed.), *Children's Logical and Mathematical Cognition* (pp. 33–92). Springer New York.
- Fuson, K. C., Richards, J., & Briars, D. J. (1982b). The Acquisition and Elaboration of the Number Word Sequence. In *Children's Logical and Mathematical Cognition* (pp. 33–92). Springer, New York, NY.
- Geary, D. C. (2011). Cognitive Predictors of Achievement Growth in Mathematics: A Five Year Longitudinal Study. *Developmental Psychology*, *47*(6), 1539–1552.
- Halberda, J., Ly, R., Wilmer, J. B., Naiman, D. Q., & Germine, L. (2012a). Number sense across the lifespan as revealed by a massive Internet-based sample. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *109*(28), 11116–11120.
- Halberda, J., Ly, R., Wilmer, J. B., Naiman, D. Q., & Germine, L. (2012b). Number sense across the lifespan as revealed by a massive Internet-based sample. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *109*(28), 11116–11120.
- Hécaen, H., Angelergues, R., & Houillier, S. (1961). Les variétés cliniques des acalculies au cours des lésions rétro-rolandiques: Approche statistique du problème. *Revue de Neurologie*, (105), 85–103.
- Honoré, N., & Noël, M.-P. (2016). Improving Preschoolers' Arithmetic through Number Magnitude Training: The Impact of Non-Symbolic and Symbolic Training. *PloS One*, *11*(11), e0166685.

- Inserm. (n.d.). Dyslexie, dysorthographe, dyscalculie Bilan des données scientifiques (Les éditions Inserm, pp. 291–342).
- Izard, V., Sann, C., Spelke, E. S., & Streri, A. (2009). Newborn infants perceive abstract numbers. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *106*(25), 10382–10385.
- Jordan, N. C., Kaplan, D., Nabors Oláh, L., & Locuniak, M. N. (2006). Number Sense Growth in Kindergarten: A Longitudinal Investigation of Children at Risk for Mathematics Difficulties. *Child Development*, *77*(1), 153–175.
- Jordan, N. C., Levine, S. C., & Huttenlocher, J. (1994). Development of calculation abilities in middle- and low-income children after formal instruction in school. *Journal of Applied Developmental Psychology*, *15*(2), 223–240.
- Kosc, L. (1974). Developmental Dyscalculia. *Journal of Learning Disabilities*, *7*(3), 164–177.
- Le Corre, M., & Carey, S. (2007). One, Two, Three, Four, Nothing More: An Investigation of the Conceptual Sources of the Verbal Counting Principles. *Cognition*, *105*(2).
- LeFevre, J.-A., Skwarchuk, S.-L., Smith-Chant, B. L., Fast, L., Kamawar, D., & Bisanz, J. (2009). Home numeracy experiences and children's math performance in the early school years. *Canadian Journal of Behavioural Science / Revue Canadienne Des Sciences Du Comportement*, *41*(2), 55–66.
- Maertens, B., De Smedt, B., Sasanguie, D., Elen, J., & Reynvoet, B. (2016). Enhancing arithmetic in pre-schoolers with comparison or number line estimation training: Does it matter? *Learning and Instruction*, *46*, 1–11.
- Mandler, G., & Shebo, B. J. (1982). Subitizing: an analysis of its component processes. *Journal of Experimental Psychology. General*, *111*(1), 1–22.
- Mazzocco, M. 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.
- Molko, N., Cachia, A., Rivière, D., Mangin, J.-F., Bruandet, M., Le Bihan, D., Dehaene, S. (2003). Functional and Structural Alterations of the Intraparietal Sulcus in a Developmental Dyscalculia of Genetic Origin. *Neuron*, *40*(4), 847–858.
- Obersteiner, A., Reiss, K., & Ufer, S. (2013). How training on exact or approximate mental representations of number can enhance first-grade students' basic number processing and arithmetic skills. *Learning and Instruction*, *23*, 125–135.
- Passolunghi, M. C., & Lanfranchi, S. (2012). Domain-specific and domain-general precursors of mathematical achievement: a longitudinal study from kindergarten to first grade. *The British Journal of Educational Psychology*, *82*(Pt 1), 42–63.
- Pica, P., Lemer, C., Izard, V., & Dehaene, S. (2004). Exact and Approximate Arithmetic in an Amazonian Indigene Group. *Science*, *306*(5695), 499–503.
- Ramani, G. B., & Siegler, R. S. (2008). Promoting broad and stable improvements in low-income children's numerical knowledge through playing number board games. *Child Development*, *79*(2), 375–394.

- Reeve, R., Reynolds, F., Humberstone, J., & Butterworth, B. (2012). Stability and change in markers of core numerical competencies. *Journal of Experimental Psychology. General*, *141*(4), 649–666.
- Rourke, B. P. (1993). Arithmetic Disabilities, Specific and Otherwise: A Neuropsychological Perspective. *Journal of Learning Disabilities*, *26*(4), 214–226.
- Temple, C. M. (1991). Procedural Dyscalculia and Number Fact Dyscalculia: Double Dissociation in Developmental Dyscalculia. *Cognitive Neuropsychology*, *8*(2), 155–176.
- Thomas, R. K., Fowlkes, D., & Vickery, J. D. (1980). Conceptual Numerosity Judgments by Squirrel Monkeys. *The American Journal of Psychology*, *93*(2), 247–257.
- Xu, F., & Spelke, E. S. (2000). Large number discrimination in 6-month-old infants. *Cognition*, *74*(1), B1–B11.

## **Liste des annexes**

**Annexe n°1 : Description des activités “papier-crayon”.**

**Annexe n°2 : Description des activités “pré-maths”.**

**Annexe n°3 : Description des activités “CVS”.**

**Annexe n°4 : Moyenne du nombre de sessions suivies par classe.**

**Annexe n°5 : Nombre de sessions suivies et taux de participation par classe.**

**Annexe n°6 : Lettre d'information, autorisation parentale et questionnaire parental.**