

# MEMOIRE

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

**Emeline CHAMBON**

soutenu publiquement en juin 2019

**Stimuler les habiletés mathématiques ou visuo-  
spatiales en maternelle, quels impacts sur le  
développement des compétences mathématiques  
précoces ?**

MEMOIRE dirigé par  
**Sandrine MEJIAS**, Maître de conférence, Département d'orthophonie, Université de Lille

Lille – 2019

---

## Remerciements

Je souhaite tout d'abord remercier très sincèrement Mme MEJIAS pour son encadrement tout au long du mémoire, pour sa disponibilité et pour ses précieux conseils. Je remercie également Lætitia WITTMANN-STEPHANN pour avoir accepté de m'accompagner dans cette aventure finale et pour tous les moments de stage passés avec elle. Je remercie les directeurs et enseignants des écoles qui nous ont permis de mener à bien cette étude. Et bien entendu je remercie les parents et les enfants pour leur participation à l'étude.

En second lieu, je souhaite remercier mes camarades de cinquième année participant au projet pour l'entraide que l'on a pu s'apporter et plus particulièrement Laura MOHAMED pour son soutien et son aide ainsi que toutes les personnes qui ont accepté de relire mon mémoire.

Je tiens aussi à remercier mes maîtres de stage (Anne MORICE, Anne REMAY-JEAN et Elodie SAULAIS) qui ont su me soutenir et me donner énormément de motivation pour cette dernière année.

J'aimerais remercier mes « 8 » sans qui ces cinq années n'auraient pas été les mêmes. Elles m'ont apporté des moments de bonheur et beaucoup de soutien.

Et enfin, je ne remercierai jamais assez mes parents, Fabrice et Monique, ma sœur Elodie, mon beau-frère Julien et mon compagnon Antoine TALVAT pour m'avoir toujours soutenue, et surtout supportée, pour avoir toujours cru en moi et pour leur présence chaque jour. Sans vous, je n'aurais pas pu réaliser ces études qui me tenaient tant à cœur.

---

## **Résumé :**

De nombreuses études ont souligné un lien entre les habiletés mathématiques précoces et les habiletés visuo-spatiales tôt dans le développement de l'enfant. Cependant, un manque de données est relevé sur la nature de ce lien. Nous nous sommes donc intéressés à ce sujet grâce à la mise en place d'un entraînement des habiletés visuo-spatiales. Notre but a été de comparer l'impact de l'entraînement des habiletés visuo-spatiales à l'impact de l'entraînement des prérequis mathématiques. Notre étude a porté sur 158 enfants tout-venants de 3 à 7 ans de la région d'Arras. Les enfants ont préalablement participé au pré-test afin d'évaluer à la fois des compétences spécifiques aux habiletés mathématiques ou visuo-spatiales et des compétences « dites » générales. Les enfants ont ensuite été divisés en trois groupes. Le premier groupe participait à un entraînement des habiletés visuo-spatiales sur tablette, le second à un entraînement des prérequis mathématiques sur tablette et le troisième à un entraînement des prérequis mathématiques basé sur des jeux de société. La période d'entraînement s'est déroulée sur huit semaines à raison de deux fois par semaine. Enfin, les enfants ont participé au post-test comparable au pré-test afin de réévaluer leurs compétences et mesurer l'impact des entraînements. Nos résultats suggèrent qu'une stimulation des habiletés mathématiques et des habiletés visuo-spatiales améliorent les habiletés précoces. Néanmoins, les effets de chaque entraînement semblent plus importants dans des domaines spécifiques. La stimulation des habiletés visuo-spatiales améliore particulièrement les habiletés visuo-spatiales tandis que la stimulation des habiletés mathématiques améliorent plus spécifiquement les habiletés mathématiques.

## **Mots-clés :**

Compétences mathématiques précoces - habiletés visuo-spatiales - support électronique  
- enfants préscolaires

## **Abstract :**

Many studies have shown a link between early mathematical skills and visual-spatial skills early in a child's development. However, there is a lack of data on the nature of this relationship. Therefore, we were interested in the nature of this link through visual-spatial skills training. We also wanted to compare the impact of visuo-spatial skills training with mathematical prerequisites training. 158 children aged from 3 to 7 year olds, attending school in the Arras region were included in our study. At first, the children took part in a pre-test and were then divided into three different groups. The 1<sup>st</sup> group was enrolled in the visual-spatial skills training on tablet, the 2<sup>nd</sup> group in mathematical prerequisites training on tablet and the 3<sup>rd</sup> group in mathematical prerequisites training with board games. The training period sessions were organized for eight weeks, twice a week. Finally, the children participated in a post-test to assess the impact of training on early skills. Our results suggest that specific training of visual-spatial and mathematical skills improves early mathematical skills. Nevertheless, effects of each training seem to be more important in specific areas. Indeed, the stimulation of visual-spatial skills particularly improves visual-spatial skills while the stimulation of mathematical skills more specifically improves mathematical skills.

## **Keywords :**

Early mathematical skills - visual-spatial skills - electronic medium - preschool children

---

# Table des matières

<b>Introduction.....</b>	<b>1</b>
<b>Contexte théorique, buts et hypothèses.....</b>	<b>2</b>
1. Le développement des compétences mathématiques chez l'enfant.....	2
1.1. Le développement précoce du sens du nombre chez l'enfant.....	2
1.2. Le rôle de l'environnement sur l'acquisition des représentations numériques exactes .....	4
2. Le lien entre les jeux sur support électronique et les capacités mathématiques.....	5
3. Le lien entre les habiletés visuo-spatiales et les capacités mathématiques.....	6
3.1. Les différents types d'habiletés visuo-spatiales.....	6
3.2. Des apports théoriques sur le lien entre les HVS et les capacités mathématiques.....	7
3.3. Le lien entre l'espace et le nombre.....	9
4. Hypothèses et buts.....	10
<b>Méthode.....</b>	<b>10</b>
1. Participants de l'étude.....	10
2. Matériel.....	12
2.1. Compétences générales (non spécifiques aux mathématiques).....	12
2.2. Compétences spécifiques aux mathématiques.....	13
3. Procédure.....	16
4. Analyse des données.....	19
<b>Résultats.....</b>	<b>19</b>
<b>Discussion.....</b>	<b>24</b>
1. Les effets de l'entraînement des habiletés visuo-spatiales sur les compétences mathématiques.....	24
2. Les effets de l'entraînement des prérequis mathématiques sur les compétences mathématiques.....	25
3. Limites et améliorations.....	26
<b>Conclusion.....</b>	<b>27</b>
<b>Bibliographie.....</b>	<b>28</b>
<b>Liste des annexes.....</b>	<b>31</b>
Annexe n°1 : Lettre d'informations.....	31
Annexe n°2 : Formulaire de consentement.....	31
Annexe n°3 : Fiche questionnaire.....	31

# Introduction

Les connaissances mathématiques sont indispensables, aussi bien dans les activités professionnelles que dans les activités de la vie quotidienne (Deblois, 2006). Il semblerait que l'apprentissage de ces connaissances mathématiques ne soit pas accessible à tous les individus. Les difficultés d'acquisition des compétences en mathématiques concernent 6 à 7 % des élèves (Charron, Dequesne, Marchand, & Meljac, 2001). Plusieurs facteurs semblent avoir une importance prépondérante dans les apprentissages mathématiques. Pour commencer, l'environnement de l'enfant semble jouer un rôle dans les apprentissages numériques des enfants. D'après Ramani et Siegler (2008), les enfants issus de milieux socio-économiques faibles ont moins accès aux jeux de plateau que les enfants issus de milieux socio-économiques modérés. Cette différence d'utilisation des jeux de société est corrélée au niveau des connaissances numériques. Certaines études, telles que celle de De Smedt, Noël, Gilmore et Ansari (2013), mettent en évidence que les jeux de plateau ainsi que les jeux informatiques peuvent favoriser le développement des représentations symboliques chez l'enfant (ex. comparaison de nombres arabes). Un deuxième facteur, les habiletés visuo-spatiales, entrerait en jeu dans le développement des compétences mathématiques. Dans leur méta-analyse, Cheng et Mix (2012) ont mis en évidence la présence d'un lien entre certaines habiletés visuo-spatiales et les compétences en mathématiques. Ils relèvent le manque d'études dans ce domaine ce qui ne permet pas d'émettre de conclusions. Enfin, Jordan, Kaplan, Locuniak et Ramineni (2007) évoquent un autre facteur : les connaissances mathématiques des enfants en maternelle, notamment le sens du nombre. Elles seraient prédictibles des futures compétences en mathématiques dans les classes élémentaires. Le sens du nombre est inné d'une part, avec la représentation analogique et demande d'autre part un apprentissage explicite avec la représentation exacte. Selon Bacquet et Gueritte-Hess (1996), un certain nombre d'enfants rencontrés par les orthophonistes, pour des difficultés en mathématiques, n'ont pas acquis le sens du nombre. Afin d'optimiser leur prise en charge, il serait donc intéressant d'orienter les recherches sur les facteurs favorisant le développement des compétences mathématiques, en particulier le sens du nombre.

Stimuler les habiletés mathématiques ou visuo-spatiales en maternelle, quels impacts sur le développement des compétences mathématiques précoces ? Actuellement, le nombre d'études est encore insuffisant afin d'expliquer l'intérêt d'entraîner les habiletés visuo-spatiales pour améliorer les compétences mathématiques précoces. De plus, à notre connaissance, aucune étude ne compare les effets des deux types d'entraînements : habiletés visuo-spatiales et prérequis mathématiques. Les réponses à ces questions pourraient avoir un impact sur l'enseignement mais aussi sur la rééducation orthophonique en s'adaptant davantage à l'enfant.

Ce mémoire développera, dans un premier temps, la littérature scientifique sur le développement des compétences mathématiques chez l'enfant avec le rôle de l'environnement, le lien entre les supports électroniques et les compétences mathématiques et le lien entre les habiletés visuo-spatiales et les compétences mathématiques. Ensuite seront exposés les hypothèses et buts qui émanent de cette problématique. Dans un second temps, la méthode employée pour cette étude sera explicitée avec des précisions sur les participants et la procédure utilisée. Puis, nous détaillerons les résultats obtenus à l'issue de cette étude. Ces derniers feront l'objet d'une discussion sur les éléments importants.

Ce présent mémoire se situe dans la continuité de mémoire d'étudiantes en orthophonie diplômées en 2018.

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

Cette partie concerne les apports théoriques contenus dans la littérature scientifique. Ceux-ci porteront sur le développement des mathématiques chez l'enfant, l'intérêt des habiletés visuo-spatiales (HVS) et des compétences purement mathématiques sur les apprentissages mathématiques.

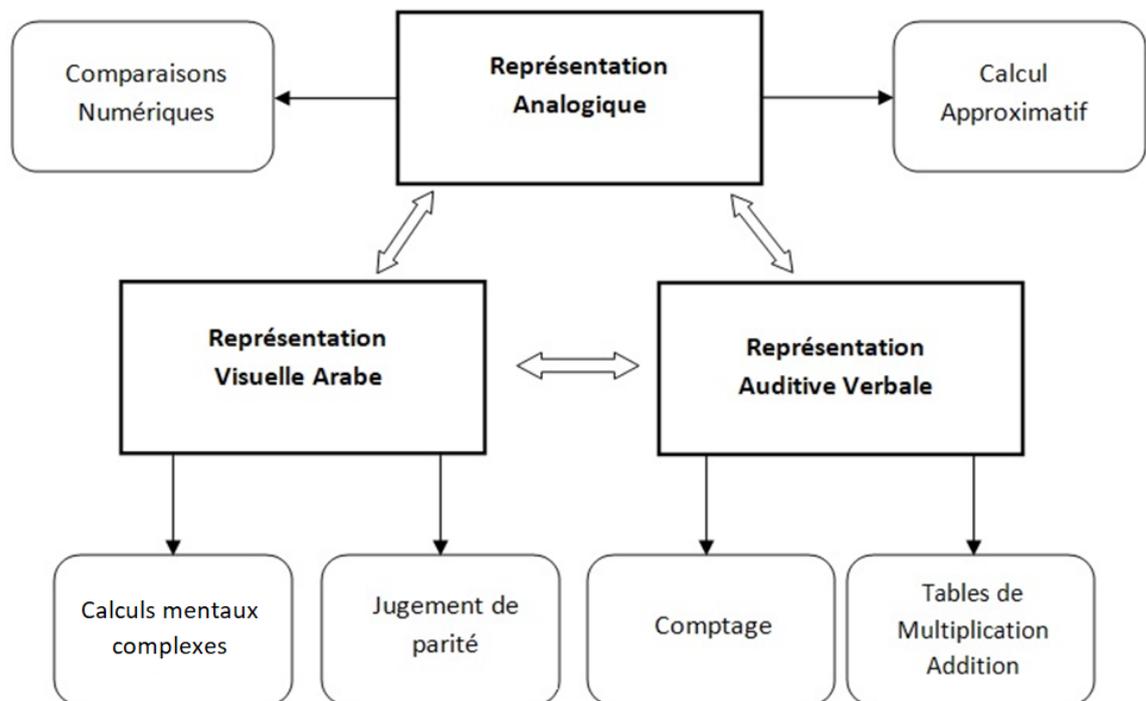
### **1. Le développement des compétences mathématiques chez l'enfant**

Depuis de nombreuses années, les chercheurs s'intéressent au développement des compétences mathématiques. Dans les paragraphes qui suivent, nous expliquerons le lien qui existe entre les compétences mathématiques et le sens du nombre.

#### **1.1. Le développement précoce du sens du nombre chez l'enfant**

Relativement au modèle du triple code (Dehaene, 1992, figure 1), Dehaene considère les notions de comparaisons numériques et de calcul approximatif au sein de la représentation analogique (telle que les jetons). Ces notions émergent chez l'animal mais aussi chez l'enfant avant même l'acquisition du langage (Izard et al., 2009 ; Lipton & Spelke 2003). Le système analogique serait inné et partagé par les autres espèces. Selon Libertus, Feigenson et Halberda (2013), le système analogique serait à la base de la construction des compétences mathématiques.

Au regard du modèle, le nombre peut être appréhendé par les représentations exactes qui viennent compléter la représentation analogique. Les représentations exactes demandent un apprentissage explicite de la représentation visuelle arabe et de la représentation auditive verbale, elles sont donc présentes uniquement chez les êtres éduqués (Izard et al., 2009 ; Dehaene, 1992). Le développement des représentations exactes va être influencé par le contexte environnemental.



**Figure 1. Modèle du triple code de Dehaene (issu de Noël, Pesenti, & Seron, 2014 ; d'après Dehaene, 1992).**

D'après de nombreux chercheurs, les capacités à comparer des quantités symboliques (représentation exacte) et quantités non-symboliques (représentation analogique), à estimer des quantités, à compter et à effectuer des calculs simples sont des compétences clés du sens du nombre chez les jeunes enfants (Jordan, Kaplan, Nabors Olah, & Locuniak, 2006).

De leur côté, Von Aster et Shalev (2007) ont élaboré un modèle développemental de la cognition mathématique (Figure 2). Il représente le développement de la représentation du nombre. L'étape 1, correspondant à la représentation analogique avec le subitizing et l'approximation, constitue le sens fondamental du nombre. Cette étape est indispensable afin de pouvoir associer un nombre d'objets à des nombres verbaux, ou plus tard écrits et arabes. Ensuite, l'étape 2 (le système numérique verbal) et l'étape 3 (le système numérique arabe) sont à leur tour nécessaires pour le bon développement de la ligne numérique mentale et de l'ordinalité (étape 4). Si la représentation analogique n'est pas construite normalement (ex. cause de vulnérabilité génétique), alors les étapes suivantes ne se développeront pas de façon appropriée.

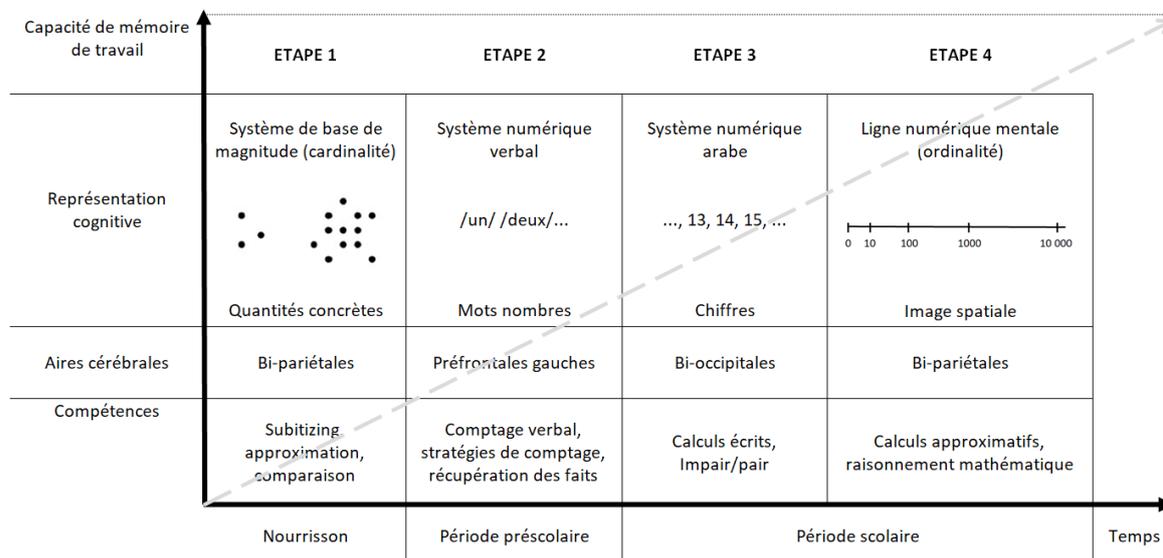


Figure 2. Modèle développemental de la cognition mathématique en quatre étapes (traduction d'après Von Aster et Shalev, 2007).

## 1.2. Le rôle de l'environnement sur l'acquisition des représentations numériques exactes

D'un point de vue culturel, dans leur étude, Pan, Gauvain, Liu et Cheng (2006) ont comparé l'implication de mères américaines et de mères chinoises dans l'apprentissage du nombre. L'investissement des parents semble bénéfique pour les apprentissages mathématiques de leurs enfants. Plus précisément, une transmission de connaissances mathématiques spécifiques par les parents à leurs enfants semble avoir un impact plus important sur l'apprentissage du nombre que la quantité de temps consacrée aux apprentissages mathématiques. Cette implication des parents dans les apprentissages paraît dépendante de la situation culturelle. Ainsi, les mères américaines ont tendance à se retirer des apprentissages à l'entrée à l'école contrairement aux mères chinoises qui semblent s'impliquer davantage. Chen et Uttah (1988) suggèrent que les parents chinois ont davantage d'attentes envers leurs enfants et ont tendance à plus s'exprimer avec leurs enfants à la maison. De plus, le lexique numérique chinois semble plus simple que le lexique anglais (Ho & Fuson, 1998 ; Zhou et al., 2007) avec une durée de prononciation plus courte et un système en base 10 différent (ex. « 11 » est dit « dix-un » en chinois). De plus, les enfants chinois sont plus exposés aux nombres (ex. utilisation de chiffres pour nommer les jours de la semaine). Ces facteurs pourraient expliquer que les enfants chinois possèdent de meilleures performances mathématiques que les enfants des autres pays.

Au niveau de l'environnement familial, des études semblent montrer l'existence d'un lien entre l'acquisition d'informations numériques à la maison et l'acquisition des compétences mathématiques à l'école chez les enfants de 5 à 8 ans (LeFevre et al., 2009 ; Benavides-Varela et al., 2016). Les informations numériques acquises à la maison influencent les représentations exactes du nombre. Les activités faites à la maison qu'elles soient spécifiquement liées aux mathématiques (ex. identifier des noms de nombres, compter des objets) ou non spécifiquement liées aux mathématiques (ex. jeux de société, mesurer des ingrédients pour une recette de cuisine) jouent un rôle important dans le développement des mathématiques chez les jeunes enfants. Ramani et Siegler (2008) montrent que jouer aux jeux de plateau améliorerait les connaissances en mathématiques. De fait, les enfants ayant

davantage d'expériences de jeux de plateau à la maison ont présenté de meilleures connaissances numériques. De plus, ils ont laissé supposer que les enfants issus d'un milieu à faible revenu avaient moins d'expériences de jeux de plateau. Il semblerait donc que le niveau socio-économique des familles ait un impact sur l'utilisation des jeux de plateau. Le contexte socio-économique de la famille semble donc être un facteur pouvant jouer un rôle sur les futures acquisitions mathématiques. En effet, les enfants issus de milieux défavorisés utiliseraient moins les activités indirectement liées aux mathématiques (ex. jeux de société, jeux sur logiciels informatiques) que les enfants issus de milieux socio-économiques modérés (Starkey et al., 1999 ; cités par Starkey, Klein, & Wakeley, 2004). Cette différence d'utilisation d'activités (telles que les jeux de société) engendrerait de moins bonnes connaissances mathématiques. Les études montrent que les enfants issus d'un milieu socio-économique faible bénéficient d'autant voire davantage d'amélioration de leurs connaissances mathématiques à la suite d'un entraînement spécifique, au regard de leur niveau de départ, que les enfants issus de milieux socio-économiques modérés (Ramani & Siegler, 2011 ; Starkey et al., 2004, Jordan et al., 2006). Lors de ces études, les auteurs ont proposé aux enfants des entraînements spécifiques (ex. l'entraînement de Starkey et al. (2004) était un programme fondé sur les connaissances mathématiques précoces ou l'entraînement de Ramani et Siegler (2011) basé sur l'utilisation de jeux de plateau), ce qui sera le cas dans la présente étude.

Les entraînements semblent bénéfiques pour le développement des mathématiques chez les jeunes enfants, et encore plus pour les enfants issus de milieux socio-économiques défavorisés. Aujourd'hui, les outils et médias électroniques sont de plus en plus présents dans les familles, nous allons donc nous y intéresser dans les paragraphes suivants.

## **2. Le lien entre les jeux sur support électronique et les capacités mathématiques**

Les outils électroniques (ex. ordinateur, tablettes) sont omniprésents dans nos sociétés actuelles. Il semble donc important de les inclure dans les recherches scientifiques modernes afin d'étudier leur impact sur les individus, notamment sur les enfants et la place qu'ils peuvent avoir comme moyen d'apprentissage. Actuellement, nous nous trouvons entre enthousiasme et inquiétude quant à l'utilisation des outils électroniques. En effet, ces derniers font l'objet de nombreux débats sur leur impact positif ou négatif. Ainsi, il a été mis en évidence par une équipe de chercheurs que les tablettes peuvent être utiles au développement sensori-moteur des jeunes enfants mais être aussi un frein aux activités physiques et socio-émotionnelles (Bach, Houdé, Léna, & Tisseron, 2013).

Au travers de méta-analyses, des chercheurs ont tenté d'apporter des éléments de réponse quant à l'intérêt de l'instruction assistée par ordinateur en école élémentaire chez des enfants âgés de 6 à 11-12 ans (J. A. Kulik, Kulik, & Bangert-Drowns, 1985 ; C. L. C. Kulik & Kulik, 1991). Les conclusions de ces méta-analyses mettent en évidence un impact positif de l'instruction assistée par ordinateur sur les résultats scolaires des enfants en école élémentaire par rapport à l'enseignement traditionnel. Ils ont également démontré que l'instruction via les ordinateurs offre de légers effets positifs sur les attitudes des étudiants envers l'instruction et les ordinateurs (ex. les étudiants apprécient davantage le cours lorsqu'il est informatisé et l'ordinateur permet la diminution du temps d'enseignement). A la lumière de ce qui précède, Ke (2008) retrouve dans son étude des données similaires. L'utilisation des outils

informatiques améliorerait nettement les attitudes des élèves et leur motivation envers les apprentissages mathématiques. Notons qu'il n'a pas trouvé de relation significative entre la pratique des jeux informatiques et les performances mathématiques.

Wilson, Dehaene et al. (2006) ont développé le logiciel « The Number Race » conçu pour les enfants de 5 à 8 ans présentant des difficultés d'apprentissage. « The Number Race » repose sur quatre objectifs : renforcer le sens du nombre, renforcer les liens entre les représentations du nombre, automatiser l'arithmétique et augmenter la motivation. Ce logiciel a été testé en école maternelle sur des enfants âgés de 4 à 6 ans avec comme objectif d'évaluer s'il pouvait aider les enfants en maternelle avec un niveau socio-économique faible, à risque de développer des difficultés en mathématiques (Wilson, Dehaene, Dubois, & Fayol, 2009). L'étude s'est déroulée sur quatorze semaines. Deux groupes ont été constitués en fonction de leur école. Un groupe a utilisé le logiciel mathématique pour la première phase (six sessions) puis le logiciel contrôle (de lecture) pour la deuxième phase (quatre sessions) et inversement pour le deuxième groupe. Les sessions ont duré environ vingt minutes. Les groupes ont pris part à un pré-test et un post-test. Les résultats de l'étude ont montré que le logiciel mathématique permet d'améliorer les tâches de comparaison numérique symbolique (utilisées pour mesurer le sens du nombre). Ils ont également mis en évidence que le logiciel « The Number Race » peut être utilisé pour l'enseignement ciblé du sens du nombre chez les enfants en maternelle ayant un niveau socio-économique faible. Cet enseignement a été par ailleurs plus bénéfique pour ceux qui obtenaient au début de l'étude les moins bons résultats. Un autre logiciel a été développé par Vilette et Schneider (2011), « L'estimateur », mettant en lien les représentations numériques spatiales (ligne numérique mentale) et les représentations numériques verbales du calcul exact. Cet outil a montré des améliorations des performances pour des enfants en grande difficulté. Ces deux études ont montré que les logiciels informatiques ont un impact positif sur les apprentissages des enfants.

Cependant, Car (2012) a analysé dans son étude l'utilisation spécifique de la tablette (iPad) et l'apprentissage des mathématiques auprès d'enfants de cinquième année âgés de 10 ou 11 ans. La conclusion de l'étude a mis en évidence que l'emploi de la tablette ne semble pas faciliter davantage l'apprentissage que l'instruction classique.

Dans leurs études sur les apprentissages mathématiques en école maternelle, Cornu et al. (2017) ont utilisé la tablette informatique. Ils proposent cet outil car il offre la possibilité d'avoir une rétroaction immédiate sur les performances de l'enfant et demande moins de maîtrise de la motricité fine.

Ainsi, au vu de ces études, l'outil informatique semble jouer un rôle sur la motivation et sur les attitudes des élèves en école primaire envers les mathématiques. Il semble intéressant de poursuivre à investiguer l'intérêt de son utilisation à l'école.

### **3. Le lien entre les habiletés visuo-spatiales et les capacités mathématiques**

#### **3.1. Les différents types d'habiletés visuo-spatiales**

Dans la méta-analyse de Linn et Peterson (1985) sont décrits trois types d'habiletés visuo-spatiales (HVS).

La première décrite correspond à la perception spatiale (ou orientation spatiale). Elle permet de percevoir les différentes positions de l'objet dans l'espace par rapport à l'observateur et à

l'environnement. Cette capacité consiste à utiliser des indices kinesthésiques pour situer l'objet par rapport à l'attraction gravitationnelle (ex. tourner la tête pour effectuer une rotation de l'objet).

La deuxième est la rotation mentale des objets en deux ou trois dimensions. Elle correspond au déplacement et à la transformation des représentations mentales des objets. Elle est souvent mesurée par une tâche où il faut reconnaître la forme dans différentes orientations (Cheng & Mix, 2012).

Enfin, la troisième correspond à la visualisation spatiale. Elle est définie par l'aptitude à percevoir des formes spatiales complexes et de pouvoir s'imaginer les mouvements dans l'espace (ex. le pliage de papier). Celle-ci est indispensable lors de manipulations complexes ou de tâches demandant plusieurs étapes. Cela demande à l'individu de mettre en place des stratégies analytiques pouvant faire participer la perception spatiale et la rotation mentale.

Ces trois types d'HVS requièrent toutes un traitement mental et/ou une transformation du stimuli présenté en modalité visuelle (Cornu, Hornung, Schiltz, & Martin, 2018). Ils mentionnent deux autres HVS qui semblent être importantes pour le développement des compétences arithmétiques : l'intégration visuo-motrice et la mémoire de travail visuo-spatiale.

### **3.2. Des apports théoriques sur le lien entre les HVS et les capacités mathématiques**

Dans leur méta-analyse, Cheng et Mix (2012) évoquent la relation indéniable entre les capacités spatiales et les mathématiques au vu de l'abondance de la littérature sur ce sujet. Ils relèvent qu'un approfondissement des recherches sur la présence de cette relation est indispensable chez le jeune enfant (< 10 ans). Les recherches passées se sont portées uniquement sur les adolescents et les adultes. Des études ont été menées sur les mathématiques et sur les capacités spatiales chez le jeune enfant mais de manière séparée et non en interaction. Pour ces auteurs, il paraît important d'axer les recherches sur la façon dont elles sont liées et interagissent dans le développement (ex. est-ce que la relation change avec le temps ? Est-ce que cette relation est plus forte à un stade du développement ?). Ils pensent que des recherches se basant sur l'entraînement spatial en vue d'améliorer les compétences mathématiques sont nécessaires afin de comprendre leur relation. Ces futures recherches permettront de faire évoluer la psychologie cognitive ainsi que l'éducation scolaire.

Face au manque de preuves en ce qui concerne l'amélioration des compétences mathématiques grâce à une instruction spatiale, Cheng et Mix (2014) ont réalisé une étude sur l'entraînement de la rotation mentale chez les enfants de 6 à 8 ans. Les enfants ont été pré-testés avec une tâche de rotation mentale, une tâche spatiale et une tâche de calculs (soustraction et addition). Deux groupes ont alors été constitués : un groupe d'entraînement spatial et un groupe contrôle. Les groupes ont bénéficié d'une séance d'entraînement de quarante minutes puis ont été immédiatement post-testés (tests similaires au pré-test). L'entraînement spatial consiste à identifier la forme cible à l'aide de deux morceaux mobiles de cette même forme. L'entraînement du groupe contrôle a consisté à compléter des mots croisés. Ces deux groupes ont effectué leur entraînement sur support papier. Les résultats de cette étude ont montré qu'avec une seule séance d'entraînement spatial, une amélioration significative est remarquable sur certains problèmes, particulièrement les calculs avec un terme manquant. A contrario, aucune amélioration significative n'a été relevée pour

l'entraînement du groupe contrôle. Un entraînement spatial permet donc d'améliorer les performances mathématiques des enfants en école primaire.

Une autre étude a été menée par Hawes, Moss, Caswell et Poliszczuk (2015) afin de mesurer l'impact de l'apprentissage de la pensée spatiale sur les compétences en mathématiques. Pour évaluer cet impact, des enfants âgés de 6 à 8 ans ont été testés en pré- et post-tests à l'aide des tests suivants : arithmétique non-verbale exacte, tâche de transformation mentale, tâche de puzzle et des problèmes avec un terme manquant. Deux groupes d'entraînement ont été constitués : un groupe d'entraînement spatial (avec des tâches de rotation mentale) et un groupe d'entraînement littéraire (ex. identification de mots correctement orthographiés). Ces entraînements se sont déroulés pendant six semaines à raison de quinze-vingt minutes trois fois par semaine. Les deux types d'entraînements s'effectuaient sur des iPad personnels. Contrairement à l'étude de Cheng et Mix (2014), Hawes, Moss, Caswell et Poliszczuk (2015) ont mis en évidence une amélioration significative dans le domaine entraîné, c'est-à-dire de la capacité à manipuler des images mentales des objets (la pensée spatiale), mais ils n'ont pu objectiver aucune amélioration des compétences des enfants en calcul.

Deux années plus tard, Hawes, Moss, Caswell, Naqvi et MacKinnon (2017) ont publié une nouvelle étude. Le premier objectif de celle-ci a été de prouver l'impact d'un entraînement des habiletés de la pensée spatiale, chez des enfants de 4 à 7 ans, sur le domaine de la géométrie. Le second a été d'analyser si l'amélioration par cet entraînement se généralisait aux compétences numériques. Ils ont utilisé les mêmes tests en pré- et post-test (test évaluant le langage spatial, test de géométrie visuo-spatiale, tâche de rotation mentale en deux dimensions, comparaison de grandeurs symboliques et non symboliques, test évaluant la connaissance des nombres et le test de vocabulaire de Peabody (Dunn, Thérien-Whalen, & Dunn, 1993)). L'entraînement s'est étendu sur trente-deux semaines avec deux groupes : un groupe a reçu l'intervention spatiale (composée de cinq leçons géométriques et d'activités de défis rapides) et un autre groupe (contrôle) a reçu une formation sur l'environnement (ex. cycle de la vie de plantes). Les résultats de cette étude ont mis en évidence que les enfants ayant participé à l'intervention spatiale ont eu une amélioration significative du langage spatial, de la géométrie et de la rotation mentale en deux dimensions, comparativement aux enfants contrôles. De plus, les auteurs ont constaté un gain significatif concernant la tâche de comparaison de nombres symboliques. Ces résultats permettent donc aux auteurs de nuancer les résultats de leur précédente étude. En effet, Hawes, Moss, Caswell, Naqvi et MacKinnon (2017) suggèrent qu'un entraînement des habiletés spatiales améliorerait la pensée spatiale et celle-ci pourrait se généraliser aux compétences numériques des enfants.

Cornu, Schiltz, Pazouki et Martin (2017) ont mis en place un entraînement visuo-spatial sur tablette dans les classes maternelles afin de favoriser le développement des habiletés visuo-spatiales et des habiletés numériques chez les enfants âgés de 4 à 7 ans. Deux groupes ont été constitués : un groupe d'enfants a reçu l'entraînement visuo-spatial et un groupe d'enfants contrôle a conservé un enseignement scolaire classique. Un pré-test a été administré à tous les enfants. Ensuite, les enfants du groupe entraînement visuo-spatial ont bénéficié de vingt séances d'entraînement de vingt minutes pendant dix semaines. A la suite de cette période, une phase de post-test s'est déroulée pour tous les enfants (groupe entraînement et groupe contrôle). Les résultats de leur étude suggèrent que l'entraînement visuo-spatial a permis d'améliorer certaines compétences visuo-spatiales, notamment l'orientation spatiale et l'intégration visuo-motrice. Ils n'ont pu observer de généralisation aux habiletés

mathématiques précoces. Ces résultats semblent être en adéquation avec ceux obtenus par l'équipe de Hawes, Moss, Caswell et Poliszczuk (2015).

Dans une autre étude, Cornu, Hornung, Schiltz et Martin (2017) ont étudié le rôle prédictif des habiletés spatiales sur l'arithmétique et sur les lignes numériques chez des enfants âgés de 4 à 6 ans (enfants en première et deuxième année de maternelle). Ils ont administré au temps 1 une tâche de perception spatiale, une tâche de visualisation spatiale et une tâche d'intégration visuo-motrice. Puis, quatre mois plus tard, les mêmes enfants ont effectué une tâche d'arithmétique et une tâche de lignes numériques (placer des nombres arabes sur une ligne numérique). Des tâches spécifiques au nombre ont été administrées en parallèle pendant le temps 1 dont une tâche de comparaison de points non symboliques, une tâche de comptage, une tâche de comparaison de nombres et une tâche d'attribution des noms aux nombres. A ces tâches spécifiques se sont ajoutées des tâches de connaissances plus générales (la mémoire verbale à court terme et l'intelligence verbale). L'ensemble de ces tâches a permis de comprendre comment la performance dans les différentes tâches spatiales peut prédire les compétences en mathématiques. Les résultats de cette étude ont montré que les performances dans la tâche arithmétique et dans la tâche de lignes numériques sont prédites par la perception spatiale.

Dans leur étude, Cornu, Schiltz, Martin et Hornung (2018) ont voulu identifier les rôles respectifs des habiletés verbales et des habiletés visuo-spatiales dans le développement des habiletés numériques chez les jeunes enfants de 5 à 6 ans. Pour cela, ils ont donc décidé de tester des aspects verbaux (ex. le vocabulaire et la conscience phonologique) et des aspects visuo-spatiaux (ex. la mémoire de travail visuo-spatiale et les habiletés visuo-spatiales). Les enfants ont été testés lors de la deuxième moitié de l'année scolaire. Le délai entre les deux sessions de tests a été de dix semaines. La première session de tests est composée : de tâches de perception spatiale, de mémoire de travail visuo-spatiale, de dénomination des configurations de doigts, de comptage libre, de comptage à rebours, de dénomination de nombres. La seconde session est composée : de tâches de reproduction d'une combinaison de lignes, de rappel de chiffres, de rappel de pseudo-mots, de conscience phonologie, de vocabulaire, et de copie de figures. Les résultats de cette étude indiquent que les enfants de 5-6 ans utilisent beaucoup leurs habiletés visuo-spatiales afin de résoudre des tâches mathématiques même si celles-ci sont principalement de nature verbale. Ils ont conclu, grâce à leur analyse, que les HVS sont des facteurs prédictifs des compétences verbales numériques préscolaires tandis que les habiletés verbales ne sont pas significativement prédictives de celles-ci.

### **3.3. Le lien entre l'espace et le nombre**

Par ailleurs, il a été démontré dans la littérature un lien entre espace et nombre. Dans leur étude, Cheng et Mix (2012) expliquent que les nombres sont représentés spatialement en mémoire sur la ligne numérique mentale. Les individus semblent juger plus facilement des quantités plus éloignées les unes des autres. En effet, lorsqu'ils doivent choisir le nombre le plus grand parmi deux, ils sont plus rapides et précis si ces deux nombres sont plus éloignés spatialement sur la ligne numérique (ex. 8 versus 2 est plus facile que 6 versus 5). Ce phénomène est dû à l'effet de distance. Ainsi, cela met en évidence la présence d'une représentation des nombres dans l'espace car plus les nombres sont distants spatialement et moins ils entraînent de confusion.

Compte tenu de ce qui précède, le lien entre espace et nombre est sous-tendu par deux processus spatiaux. D’abord, les enfants et les adultes peuvent se représenter rapidement et exactement les quantités inférieures à quatre. Puis, la ligne numérique mentale permet à l’individu d’appréhender les petites et les grandes quantités.

Les études ci-dessus évoquent un lien entre les HVS et les compétences mathématiques mais il paraît nécessaire de continuer à prouver et à investiguer ce sujet.

## **4. Hypothèses et buts**

L’objectif de la présente étude était de mettre en place un entraînement des habiletés visuo-spatiales et un entraînement des prérequis mathématiques afin d’évaluer les effets sur les compétences mathématiques précoces. Des recherches antérieures ont fait état de liens entre les habiletés visuo-spatiales et les compétences mathématiques. Cependant, il manque encore des données sur l’impact de l’entraînement des habiletés visuo-spatiales sur ces compétences mathématiques.

Nous avons donc émis les hypothèses que l’entraînement des habiletés visuo-spatiales permettrait aux enfants de maternelle d’améliorer leurs compétences mathématiques précoces et améliorerait les compétences visuo-spatiales, notamment l’orientation spatiale (Cornu, Schiltz, Pazouki, & Martin, 2017 ; Hawes, Moss, Caswell, & Poliszczuk, 2015 ; Hawes, Moss, Caswell, Naqvi, & MacKinnon, 2017). Enfin, nous avons émis l’hypothèse que l’entraînement des prérequis mathématiques améliorerait également et voire davantage les compétences mathématiques précoces (Wilson et al., 2009).

Cette étude permettrait donc de tester un matériel électronique déjà testé par l’équipe de Cornu et al. (2017) en séparant les différents types d’entraînements (des habiletés visuo-spatiales et des prérequis mathématiques) pour comprendre plus précisément l’impact des habiletés visuo-spatiales sur les compétences mathématiques précoces.

## **Méthode**

L’étude, Kids e-stim, a été réalisée par des étudiantes en orthophonie dans le cadre de leur mémoire de cinquième année (Master II). Ce présent mémoire se situe dans la suite des mémoires des étudiantes diplômées en 2018. Ce projet se trouve dans la continuité de la récente étude de Cornu et ses collaborateurs (2017).

### **1. Participants de l’étude**

L’étude a fait l’objet d’une collaboration avec l’ESPE Lille-Nord-de-France et l’Académie de Lille. Un avis favorable a été accordé par le Comité d’éthique d’établissement de l’Université de Lille 3 pour la mise en place du projet Kids e-stim. L’Inspectrice de l’Éducation Nationale, le Directeur Académique, les directeurs d’école et les enseignants ont donné leur accord pour la réalisation de la présente étude.

Un formulaire d’informations (Annexe 1 : Lettre d’informations) sur l’étude a été transmis aux parents et aux enseignants avant le début de l’étude. Les parents ou tuteurs légaux des enfants ont donné leur consentement éclairé par écrit à la participation de leurs enfants à la présente étude (Annexe 2 : Formulaire de consentement).

La CNIL a autorisé le traitement des données sous couvert du respect de l'anonymat des participants.

Des enfants de moyenne et grande section de maternelle, âgés de 3 ans 1 mois à 7 ans 2 mois ont été recrutés pour cette étude. Les enfants des groupes habiletés visuo-spatiales (HVS, M = 60.75, ET = 7.18) et prérequis mathématiques-tablette (PMT, M = 62.73, ET = 7.64) ont le même âge (calculé en mois,  $p = .180$ ). Pour l'année 2017-2018, les cinq écoles concernées étaient principalement de la circonscription d'Arras dans la région des Hauts-de-France. Le nombre de participants sélectionnés est précisé par la figure 3. De plus, la répartition dans les différents groupes est représentée dans le tableau 1.

Les écoles contactées ont été choisies car elles étaient connues pour avoir un niveau dans la moyenne nationale. Les classes concernées par l'étude étaient les classes de moyenne section et grande section de maternelle. Les enfants ne devaient pas avoir de troubles d'apprentissages ou de dossier de la Maison Départementale des Personnes Handicapées. Les enfants en situation de bilinguisme n'ont pas été inclus dans l'étude. Les enfants n'ayant pas participé à la phase de pré-test ou de post-test ont été exclus. De plus, les enfants ayant obtenu un score  $\leq 1$  (que nous avons assimilé à un quotient intellectuel faible) à l'épreuve de matrice non-verbale tirée de l'Échelle non verbale d'intelligence de Wechsler (WNV, Wechsler, & Naglieri, 2006, développée dans la partie matériel) n'ont également pas été inclus.

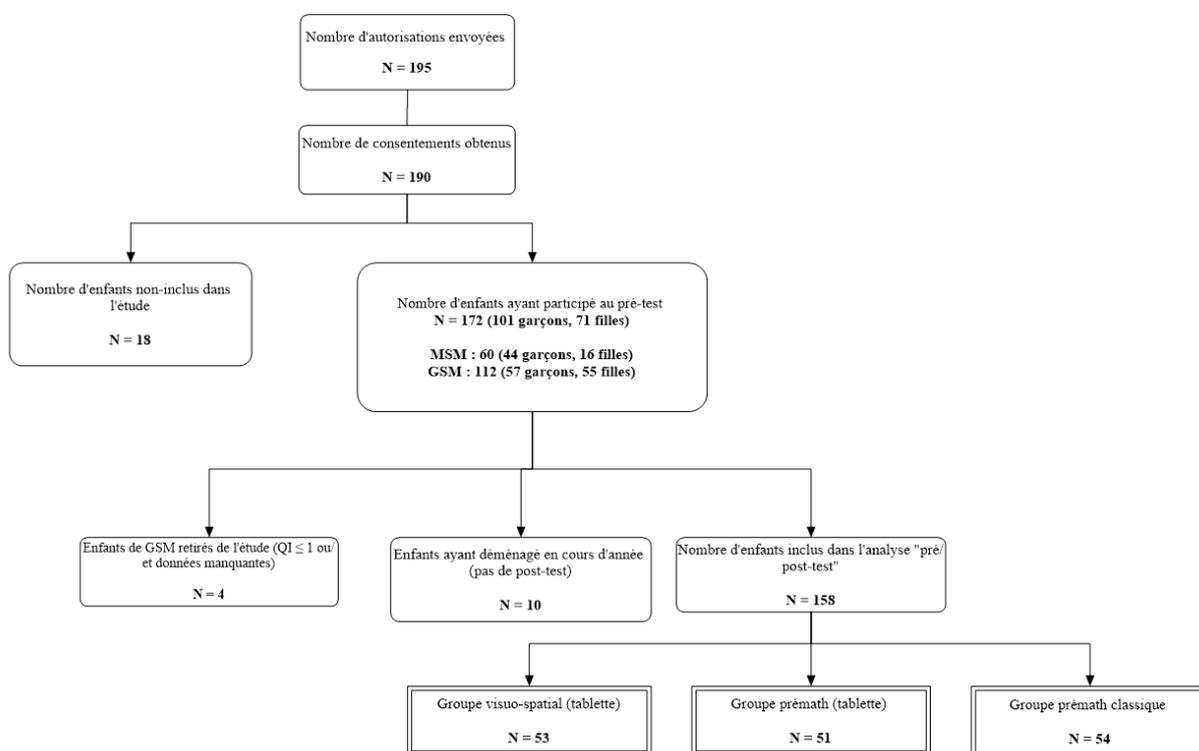


Figure 3. Présentation des caractéristiques du recrutement des participants à l'étude.

Tableau 1. Répartition des enfants de MSM et GSM en trois groupes (Habiletés Visuo-spatiales-Tablette, Prémath-Tablette et Prémath-Classique).

	MSM	GSM	Total
Habiletés Visuo-Spatiales – Tablette (HVS)	21	32	53
PréMath – Tablette (PMT)	18	33	51
PréMath – Classique	18	36	54
<b>Total</b>	<b>57</b>	<b>101</b>	<b>158</b>

## 2. Matériel

Le matériel utilisé lors des évaluations pré-test et post-test se trouve sous forme de livret de passation. Ce livret est composé de différentes tâches que l'enfant a dû réaliser avec l'expérimentateur. Les tests sont issus du protocole de l'équipe luxembourgeoise (Cornu, Schiltz, Pazouki, & Martin, 2017) ayant mis en place un entraînement précoce des compétences visuo-spatiales à l'aide de tablettes iPad.

La première tâche administrée en pré-test correspond aux matrices non-verbales de la WNV. L'enfant doit choisir parmi cinq propositions l'item manquant afin de compléter une image ou continuer une suite logique de formes. Cette tâche a permis d'avoir une idée générale du QI et d'écartier les enfants possédant un score  $\leq 1$ . L'épreuve est composée de 41 items. Aucune différence significative ( $p = .181$ ) n'est retrouvée pour cette tâche entre les scores des participants de l'entraînement HVS ( $M = 11.77$ ,  $ET = 3.48$ ) et les scores des participants de l'entraînement PMT ( $M = 11.86$ ,  $ET = 3.15$ ).

### 2.1. Compétences générales (non spécifiques aux mathématiques)

CVS (Capacités Visuo-Spatiales)

*Orientation spatiale.* La tâche d'orientation spatiale provient du subtest de la batterie Developmental Test of Visual Perception 2<sup>nd</sup>e édition (DTVP 2, Hammill et al., 1993). Elle est divisée en deux sous-tests. Dans le premier sous-test, les enfants doivent identifier une image parmi un nombre donné d'items qui est différente (une version tournée des autres images). Un exemple d'item pour ce sous-test est fourni à la figure 4A. Dans le deuxième sous-test, il est présenté aux enfants un objet cible sur le côté gauche d'une feuille A4. Il leur est demandé d'identifier l'objet correspondant parmi différentes versions similaires mais en rotation de cet objet. Un exemple d'item pour ce sous-test est fourni à la figure 4B. Cinq items sont présentés par feuille. Chaque sous-test contient dix items. Les bonnes réponses reçoivent un point, et les mauvaises réponses ont été codées zéro. La note attribuée à l'orientation spatiale est donc la moyenne des deux sous-tests.

*Relation spatiale.* Dans le cadre de la tâche de relation spatiale issue du DTVP 2, il est demandé aux enfants de reproduire une combinaison de lignes, présentée sous la forme d'une grille en pointillés sur le côté gauche d'une feuille A4, dans la même grille vide sur le côté droit de la feuille. Un exemple est fourni à la figure 4C. Deux items sont présentés par feuille, sauf le dernier item qui est présenté sur une feuille séparée. Le niveau de difficulté a augmenté tout au long de la tâche. Les figures sont considérées comme correctes si les enfants ont tracé toutes les lignes à leur position correcte dans la grille. Les figures correctement reproduites reçoivent un point. Les autres items ont été codés zéro. Sept items ont été administrés. L'épreuve a été interrompue après trois reproductions successives erronées.

GNOSIES

*Gnosies.* La tâche de gnosies digitales (Galifret-Granjon, 1964) est divisée en deux sous-tests : main droite et main gauche. Avant de commencer à administrer la tâche, un dessin de la main droite a été posé à côté de la main droite de l'enfant. Lors de la phase d'entraînement, l'expérimentateur effectue une pression sur l'ongle d'un doigt de l'enfant et

l'enfant doit pointer le doigt identifié sur le dessin. Lors de la tâche, la main droite de l'enfant est installée dans un cache afin qu'elle ne soit pas accessible visuellement par l'enfant. L'expérimentateur effectue une pression de quatre secondes sur l'ongle et l'enfant doit montrer sur le dessin le doigt identifié. Chaque sous-test comporte dix items (correspondant à deux pressions par doigt). Les doigts correctement identifiés reçoivent un point. Les autres items ont été codés zéro.

## MÉMOIRE A COURT TERME

*Mémoire verbale.* Dans le cadre de la tâche de mémoire verbale à court terme, il est demandé aux enfants de répéter dans le sens inverse des séquences de noms de couleur présentées à l'oral. Les deux premières séquences sont composées de deux noms de couleur, les deux séquences suivantes de trois noms de couleur et les deux dernières séquences de quatre noms de couleur. Les items correctement restitués reçoivent un point et les mauvaises réponses ont été codées zéro. La tâche est interrompue après que l'enfant a donné deux mauvaises réponses consécutives. La note maximale pouvant être atteinte pour cette tâche est de six.

*Mémoire visuelle.* Une adaptation du test du bloc de Corsi (Corsi, 1972) a été administrée pour évaluer la mémoire visuo-spatiale à court terme. Neuf cases blanches sont présentées sur une feuille A4. Au cours de chaque item, un nombre donné de cases est présenté en bleu successivement. Chaque item débute par la présentation de la feuille initiale, contenant les cases blanches, pendant trois secondes. Ensuite, une feuille contenant une première case bleue est présentée pendant deux secondes. Celle-ci est suivie de la feuille initiale pendant une seconde. Puis, la feuille contenant la case bleue suivante est présentée pendant deux secondes. A la fin de l'item, les enfants ont dû reproduire la séquence exacte en montrant les cases qui ont été représentées en bleu sur une feuille ne contenant que les cases blanches. Un exemple est fourni à la figure 4D. Après que les enfants ont donné leur réponse, l'expérimentateur propose l'item suivant. La tâche a commencé avec deux séquences de deux cases. L'empan spatial a augmenté tout au long de la tâche jusqu'à l'empan 6. Les réponses correctes ont reçu un point et les mauvaises réponses ont été codées zéro. La tâche a été interrompue après que les enfants n'ont pas réussi à reproduire la séquence exacte sur deux items consécutifs. La note maximale pouvant être atteinte pour cette tâche est de dix.

## 2.2. Compétences spécifiques aux mathématiques

### SNA (Système Numérique Approximatif)

*Lignes numériques.* Lors de cette tâche, il est demandé aux enfants de positionner un nombre sur une ligne numérique. La ligne numérique est présentée sur une feuille blanche A4 avec à chaque extrémité de la ligne le nombre 0 et le nombre 20. Avant de commencer l'épreuve, une illustration de ligne numérique comportant tous les nombres est présentée à l'enfant. Un item d'entraînement est administré avec le nombre 10 suivi de la réponse. Pour les items suivants, l'enfant doit dessiner un trait vertical sur la ligne afin de positionner le nombre demandé (présenté à l'écrit et à l'oral). Huit items ont été administrés : 2, 4, 6, 7, 13, 15, 16, 18. Pour coter cette tâche, il a fallu mesurer en millimètre la distance entre l'extrémité 0 et le trait dessiné par l'enfant.

*Comparaisons symboliques (1 digit et 2 digits).* La tâche de comparaison symbolique est divisée en deux sous-tests. Dans le premier sous-test, il est demandé à l'enfant de comparer deux nombres à un chiffre. Celui-ci doit barrer le nombre le plus grand. La tâche est précédée de quatre items d'entraînement. Ensuite, l'expérimentateur présente sur une feuille A4, quatre colonnes de quinze items. L'enfant doit effectuer le plus d'items possible en trente secondes. L'examineur relève le nombre d'items traités et le nombre d'items correctement traités. Le deuxième sous-test est similaire au premier. Seulement, l'enfant doit comparer deux nombres à deux chiffres.

*Comparaison non symbolique.* Dans la tâche de comparaison non symbolique, des rectangles comportant deux ensembles de points sont présentés à l'enfant. L'enfant doit comparer les deux ensembles et barrer l'ensemble comportant le plus de points. Avant de commencer la tâche, trois items d'exemples ont été réalisés avec l'enfant puis neuf items d'entraînement ont été réalisés par l'enfant seul. La tâche consiste à barrer le plus d'items possible en trente secondes. Sur chacune des quatre pages sont présentés quatorze items. L'examineur relève le nombre d'items traités et le nombre d'items correctement traités.

SNE (Système Numérique Exact : développement de la chaîne numérique)

*Comptage libre.* Dans la tâche de comptage libre, il est demandé aux enfants de réciter verbalement la chaîne numérique le plus loin possible. Ils sont arrêtés lorsqu'ils commettent leur première erreur ou lorsqu'ils comptent correctement jusqu'à 50. Seul le dernier élément de la chaîne numérique énoncé correctement est pris en compte.

*Comptage avec bornes.* La tâche de comptage avec bornes est divisée en deux sous-tests. Dans le premier sous-test « Comptage à partir de », l'expérimentateur demande aux enfants de compter à partir d'un chiffre proposé à l'oral. Il est possible de donner un exemple à l'enfant si celui-ci ne comprend pas la consigne. Cinq items ont été administrés. Les comptages correctement réalisés ont reçu un point et les mauvaises réponses ont été codées zéro. La tâche est interrompue après que l'enfant a donné une mauvaise réponse à trois items consécutifs. La note maximale pouvant être atteinte est de cinq. Dans le deuxième sous-test « Comptage à rebours », il est demandé aux enfants de compter en arrière à partir d'un chiffre donné à l'oral par l'expérimentateur. Un exemple peut être donné à l'enfant s'il ne comprend pas la consigne. Les items correctement réalisés reçoivent un point et les mauvaises réponses sont codées zéro. La tâche est interrompue après que l'enfant a donné une mauvaise réponse à trois items consécutifs. La note maximale pouvant être atteinte est de cinq. La note globale de cette tâche comptage avec bornes est la moyenne de ces deux sous-tests.

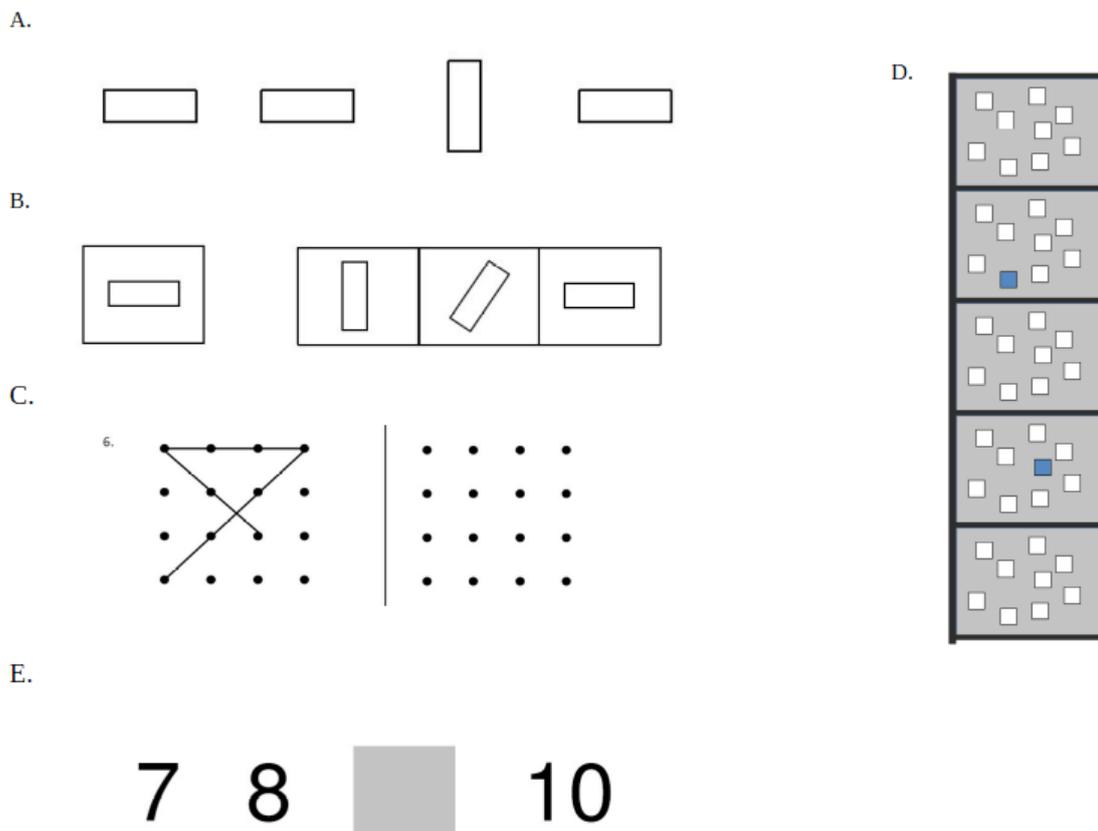
*Énumération.* Dans le cadre de l'épreuve d'énumération, l'expérimentateur présente à l'enfant un ensemble de cailloux dessinés sur une feuille A4. L'enfant doit donner le nombre exact de cailloux présents sur la feuille. Trois items ont été administrés. L'item reçoit un point lorsque la réponse correspond à la numérosité cible. Les autres réponses sont codées zéro. La note maximale pouvant être atteinte est de trois.

*Lecture de nombres arabes.* Dans la tâche de lecture de nombres arabes, il est demandé à l'enfant de lire le plus vite possible les nombres arabes présentés à l'écrit. Dix-huit items ont été administrés. L'item correctement lu reçoit un point et les mauvaises réponses sont codées zéro. La note maximale pouvant être atteinte est de dix-huit.

*Ordinalité.* Dans le cadre de la tâche d'ordinalité, l'expérimentateur présente à l'enfant sur une feuille A4 une suite de nombres comportant un encadré gris. L'encadré gris correspond à un nombre manquant dans la suite. L'enfant doit identifier le nombre manquant. Un exemple est fourni en figure 4E. En cas de difficultés, l'expérimentateur peut pointer l'encadré gris et demander « Quel chiffre se trouve dans la boîte ? ». Dix items ont été administrés. L'item reçoit un point lorsque le nombre cible est correctement identifié. Les autres réponses sont codées zéro. La tâche est interrompue après qu'un enfant a donné une mauvaise réponse à deux items consécutifs. La note maximale pouvant être atteinte est de dix.

*Additions digitales.* Dans le cadre de la tâche d'additions digitales, l'expérimentateur présente à l'enfant successivement deux dessins avec des doigts sur des feuilles A4. A chaque présentation, l'enfant est invité à énoncer à voix haute le nombre de doigts qu'il perçoit. Puis, il donne le résultat de l'addition des deux nombres de doigts. Pour chaque item, l'expérimentateur répète l'addition si nécessaire en utilisant les termes « et » ou « plus ». Six items ont été administrés. L'item reçoit un point si le résultat de l'addition est correct. Les autres réponses sont codées zéro. La tâche est interrompue après qu'un enfant a donné une mauvaise réponse à deux items consécutifs. La note maximale pouvant être atteinte est de six.

*Additions nombres arabes.* Dans le cadre de la tâche d'additions de nombres arabes, l'expérimentateur présente à l'enfant une addition avec deux nombres écrits en chiffres arabes. A chaque présentation, l'enfant est invité à énoncer à voix haute le nombre arabe présenté. Puis, il donne le résultat de l'addition. Pour chaque item, l'expérimentateur répète l'addition si nécessaire en utilisant les termes « et » ou « plus ». Six items ont été administrés. L'item reçoit un point si le résultat de l'addition est correct. Les autres réponses sont codées zéro. La tâche est interrompue après qu'un enfant a donné une mauvaise réponse à deux items consécutifs. La note maximale pouvant être atteinte est de six.



Figures 4. Exemples d'items pour les tâches d'orientation spatiale (A, B), de relation spatiale (C), de mémoire visuelle (D) et d'ordinalité (E).

### 3. Procédure

L'étude Kids e-stim s'est déroulée en plusieurs phases comme l'indique la figure 5.



Figure 5. Déroulement chronologique de l'étude Kids e-stim.

#### Temps 0 : Récolte des consentements et questionnaires parentaux

Avant toute évaluation, des documents ont été transmis aux parents des enfants sélectionnés pour participer à l'étude. Ces documents comprennent la lettre d'informations, le formulaire de consentement et une fiche de renseignements sur les habitudes d'utilisation de l'outil numérique à la maison à remplir par les parents (Annexe 3 : Fiche questionnaire). Le questionnaire est présent afin d'identifier l'impact de l'environnement sur le développement des prérequis mathématiques. Cette question fera l'objet de deux autres mémoires d'étudiantes en orthophonie.

## Temps 1 : Phase de pré-test

Les tests ont été administrés en français. Les enfants ont été testés dans des lieux tranquilles par des testeurs formés. Les tests ont été réalisés pendant deux séances de 20 minutes durant le second semestre de l'année scolaire. Ils ont été administrés selon le même ordre pour tous les participants. L'ordre de présentation est le suivant : les matrices non verbales WNV, les épreuves d'orientation spatiale, les relations spatiales, le comptage libre, le comptage avec bornes, l'énumération, la lecture de nombre à voix haute, les tâches de comparaisons symboliques et non symboliques, les gnosies digitales, les lignes numériques, les tâches d'additions, la tâche de mémoire verbale, la tâche d'ordinalité et la tâche de mémoire visuelle.

## Temps 2 : Phase d'entraînement

A la suite de la phase de pré-test, les enfants ont été répartis en petits groupes de quatre à six enfants. Les groupes ont été formés avec l'aide des enseignants afin qu'ils soient le plus homogènes possible. Pour les constituer, différents critères ont été pris en considération : âge, sexe et niveau scolaire.

Ensuite, chaque groupe s'est vu attribuer un type d'entraînement de façon aléatoire : l'entraînement HVS (33,5 %), l'entraînement PMT (32,3 %) et l'entraînement prérequis mathématiques classique (PMC, 34,18 %). Le tableau 1 reprend la répartition des enfants dans chaque type de groupes. Cette phase a été réalisée par les étudiantes en orthophonie diplômées en 2018.

Une fois le type d'entraînement attribué, celui-ci est resté le même tout le long de l'étude. Les entraînements sur tablette ont demandé l'utilisation d'un QR code d'identification afin de permettre l'anonymat de l'enfant et d'obtenir tous ses résultats aux activités. Ce procédé fut déjà créé et testé par l'équipe luxembourgeoise dans l'étude de Cornu et al. (2017).

Les entraînements se sont déroulés sur une période de 8 semaines à raison de deux séances d'entraînements de vingt minutes par semaine. Ils ont été effectués sous la supervision d'un examinateur (étudiant ou enseignant) qui a changé à chaque session d'entraînement pour éviter les biais de l'examineur.

Les entraînements PMC et PMT ont suivi une progression similaire afin de pouvoir comparer les deux groupes (ce qui ne fera pas l'objet du présent mémoire). Au fur et à mesure des entraînements, la difficulté des activités a augmenté. Les premiers entraînements sont orientés sur les numérosités de 1 à 3 puis ils ont progressé vers des numérosités pouvant aller jusqu'à 20.

Les entraînements HVS n'ont pas présenté de niveau de difficulté et ont pu être organisés de façon aléatoire.

### *Groupe « Prérequis Mathématiques Tablette » :*

Les activités proposées aux enfants furent développées par l'équipe Luxembourgeoise (Cornu et al., 2017). Les entraînements ont été réalisés à l'aide d'iPad et de façon individuelle en

autonomie. Les activités se sont axées sur le sens du nombre (estimation, comparaison, subitizing), les représentations symboliques et non-symboliques, la lecture de nombres arabes, le comptage, le dénombrement, le transcodage, le calcul et la ligne numérique.

*Groupe « Habiletés Visuo-Spatiales - Tablette » :*

La procédure d'entraînements HVS est similaire à celle des entraînements PMT. Dans ces groupes, les activités ont porté sur les aptitudes visuo-spatiales, la manipulation, l'orientation, la reproduction et la complétion de figures et de formes.

*Groupe « Prérequis Mathématiques - Classique » :*

Les jeux proposés dans cet entraînement ont été créés en partie par l'équipe luxembourgeoise et en partie par les étudiantes en orthophonie afin de correspondre au groupe PMT. Ils entraînent les mêmes compétences mathématiques que l'entraînement PMT. Ils peuvent être réalisés de façon individuelle ou collective.

Temps 3 : Phase de post-test

Une fois les entraînements terminés, les enfants ont été de nouveau testés à partir d'octobre 2018 (5 à 6 mois après) à l'aide des mêmes tâches que dans la phase du pré-test. Seule la tâche des matrices non verbales WNV n'a pas été reconduite, cette épreuve a permis uniquement de contrôler la variable QI. Les résultats obtenus aux pré-tests seront comparés aux résultats du post-test.

Dans le cadre de ce présent mémoire, seuls les résultats au pré-test et au post-test des groupes HVS et PMT seront étudiés.

Temps 4 : Phase de maintien

Une phase de maintien a été ensuite effectuée six mois plus tard, d'octobre à novembre 2018, afin de constater la persistance des bénéfices des entraînements. Avant de procéder à cette évaluation, les étudiantes en orthophonie ont dû contacter les écoles afin de réorganiser ces tests et de présenter le projet aux nouvelles écoles puisque lors de cette phase les anciens enfants en GSM sont passés en CP. Cette évaluation est plus courte que les deux autres évaluations. Les épreuves de la phase de maintien sont les mêmes pour les élèves de GSM et les élèves de CP hormis les épreuves de calcul qui ne sont pas proposées aux élèves de GSM.

Dans cette phase, des tests d'organisation spatiale, de relations spatiales, de comparaisons symboliques (1 et 2 digits), d'énumération, d'additions de nombres arabes, d'ordinalité et de lignes numériques ont été proposés différemment des pré/post-tests. De nouvelles épreuves ont été administrées : la décision numérique, l'écriture de nombres arabes sous dictée et les soustractions de nombres arabes.

La phase de maintien ne sera pas davantage développée et fera l'objet de mémoires futurs en orthophonie.

## 4. Analyse des données

Les résultats obtenus aux pré et post-tests ont été analysés à l'aide du logiciel SPSS Statistics (IBM, 2017, Version 25.0). Des comparaisons de moyennes pour données pairées et pour données indépendantes ont pu être obtenues grâce à ce logiciel.

### Résultats

Les résultats obtenus aux différentes épreuves lors du pré-test et du post-test sont présentés respectivement dans les tableaux 2 et 3. Ces résultats sont présentés en fonction du groupe d'entraînement.

#### Comparaison des deux groupes d'entraînement avant les entraînements :

Les comparaisons entre les deux groupes d'entraînement au pré-test (test- $t$  pour échantillons indépendants ; tableau 2) permettent de mettre en évidence que les groupes étaient bien comparables avant le début des entraînements. En effet, avant les entraînements, que ce soit dans le domaine des compétences générales ou dans le domaine des compétences spécifiques aux mathématiques, aucune différence n'est identifiée entre le groupe HVS et le groupe PMT.

#### Comparaison des deux groupes d'entraînement après les entraînements :

Les comparaisons entre les deux groupes d'entraînements au post-test (test- $t$  pour échantillons indépendants ; tableau 3) ne permettent pas de mettre en évidence de différence entre les deux groupes après les séances d'entraînements ( $p > .122$ ). En effet, après les entraînements, que ce soit dans le domaine des compétences générales ou dans le domaine des compétences spécifiques aux mathématiques, aucune différence n'est identifiée entre le groupe HVS et le groupe PMT.

Ce type d'analyse ne nous permettra pas d'émettre de conclusions.

**Tableau 2. Résultats au pré-test par groupe d'entraînement (HVS et PMT).**

Mesures	HVS (N = 53)	PMT (N = 49)	<i>p</i> -valeur <sup>a</sup>
	Moyenne (ET)	Moyenne (ET)	
COMPÉTENCES GÉNÉRALES (NON SPÉCIFIQUES AUX MATHÉMATIQUES)			
CVS			
Orientation spatiale (POMP <sup>b</sup> )	.64 (.20)	.69 (.17)	.273
Relation spatiale (POMP)	.73 (.30)	.73 (.27)	.930
Gnosies			
Main droite (POMP)	.71 (.24)	.76 (.19)	.219
Main gauche (POMP)	.71 (.18)	.69 (.21)	.579
Mémoire à court terme			
Mémoire verbale (POMP)	.34 (.27)	.33 (.24)	.851
Mémoire visuelle (POMP)	.14 (.14)	.11 (.10)	.237
COMPÉTENCES SPÉCIFIQUES AUX MATHÉMATIQUES			
SNA			
Lignes numériques (PAEL <sup>c</sup> )	2.31 (1.31)	2.02 (1.08)	.235
Comparaison symbolique (1 digit)	8.26 (3.73)	8.27 (4.55)	.999
Comparaison symbolique (2 digits)	5.06 (2.85)	5.65 (3.79)	.369
Comparaison non-symbolique	11.92 (4.96)	13.65 (6.54)	.134
SNE (Développement de la chaîne numérique)			
Comptage libre (POMP)	.55 (.29)	.54 (.25)	.928
Comptage à partir de (POMP)	.65 (.36)	.62 (.37)	.689
Comptage à rebours (POMP)	.37 (.37)	.30 (.31)	.322
Comptage avec bornes (POMP)	.51 (.34)	.46 (.28)	.434
Énumération (POMP)	.86 (.23)	.84 (.25)	.695
Lecture de nombres arabes (POMP)	.46 (.30)	.41 (.23)	.349
Ordinalité (POMP)	.51 (.37)	.44 (.33)	.300
Additions digitales (POMP)	.50 (.40)	.44 (.37)	.423
Additions nombres arabes (POMP)	.34 (.35)	.34 (.35)	.382

<sup>a</sup>Les *p*-valeurs sont calculées à partir d'analyses de comparaisons de moyennes pour échantillons indépendants.

<sup>b</sup>Les POMP (pourcentage de la performance maximale) correspondent donc à la transformation des moyennes en pourcentage.

<sup>c</sup>Les PAEL correspondent à la réponse de l'enfant moins la valeur absolue de la cible divisées par 20. Ces valeurs sont exprimées en centimètres.

**Tableau 3. Résultats au post-test par groupe d'entraînement (HVS et PMT).**

Mesures	HVS (N = 53)	PMT (N = 49)	<i>p</i> -valeur <sup>a</sup>
	Moyenne (ET)	Moyenne (ET)	
COMPÉTENCES GÉNÉRALES (NON SPÉCIFIQUES AUX MATHÉMATIQUES)			
CVS			
Orientation spatiale (POMP <sup>b</sup> )	.75 (.19)	.71 (.19)	.245
Relation spatiale (POMP)	.85 (.17)	.81 (.19)	.273
Gnosies			
Main droite (POMP)	.77 (.17)	.75 (.19)	.515
Main gauche (POMP)	.71 (.21)	.70 (.19)	.891
Mémoire à court terme			
Mémoire verbale (POMP)	.38 (.22)	.36 (.19)	.622
Mémoire visuelle (POMP)	.12 (.11)	.12 (.12)	.931
COMPÉTENCES SPÉCIFIQUES AUX MATHÉMATIQUES			
SNA			
Lignes numériques (PAEL <sup>c</sup> )	2.04 (.90)	1.72 (1.91)	.122
Comparaison symbolique (1 digit)	9.66 (4.28)	10.20 (4.66)	.541
Comparaison symbolique (2 digits)	6.21 (3.83)	7.65 (5.57)	.127
Comparaison non-symbolique	15.58 (6.10)	17.06 (5.94)	.219
SNE (Développement de la chaîne numérique)			
Comptage libre (POMP)	.57 (.27)	.59 (.25)	.741
Comptage à partir de (POMP)	.69 (.38)	.62 (.35)	.333
Comptage à rebours (POMP)	.41 (.37)	.45 (.32)	.584
Comptage avec bornes (POMP)	.55 (.32)	.54 (.29)	.790
Énumération (POMP)	.87 (.22)	.81 (.29)	.203
Lecture de nombres arabes (POMP)	.55 (.32)	.54 (.25)	.795
Ordinalité (POMP)	.59 (.36)	.61 (.30)	.835
Additions digitales (POMP)	.55 (.35)	.51 (.37)	.573
Additions nombres arabes (POMP)	.41 (.35)	.40 (.36)	.949

<sup>a</sup>Les *p*-valeurs sont calculées à partir d'analyses de comparaisons de moyennes pour échantillons indépendants.

<sup>b</sup>Les POMP (pourcentage de la performance maximale) correspondent donc à la transformation des moyennes en pourcentage.

<sup>c</sup>Les PAEL correspondent à la réponse de l'enfant moins la valeur absolue de la cible divisées par 20. Ces valeurs sont exprimées en centimètres.

Nous allons donc nous intéresser à la progression spécifique de chaque groupe (entre le pré-test et le post-test) et ce, pour chaque variable, aux moyens de comparaisons de moyennes pour données pairées (test-*t*).

Dans un second temps, la progression de chaque groupe, ou le « *delta* », c'est-à-dire la différence entre le résultat au post-test moins le résultat obtenu au pré-test, sera comparée par le biais de comparaisons de moyennes pour données indépendantes.

#### Progression spécifique par groupe :

Ainsi, en ce qui concerne le groupe HVS, nous notons une évolution significative pour les épreuves d'orientation spatiale, de relation spatiale, de gnosies digitales main droite, de comparaisons symboliques et non symboliques de lecture de nombres arabes et d'ordinalité.

Pour le groupe PMT, nous notons une évolution significative pour les épreuves d'orientation spatiale, de relation spatiale, de comparaisons symboliques et non symboliques, de comptage à rebours, de lecture de nombres arabes, d'ordinalité et d'additions de nombres arabes.

#### Ampleur de la progression (*delta*) :

Enfin, nous avons comparé l'ampleur de cette progression entre les groupes, le *delta* obtenu pour chaque groupe et pour chaque variable a été comparé (test-*t* pour échantillons indépendants). Ces analyses montrent que l'ampleur de la progression est d'autant plus importante pour les tâches d'orientation spatiale en ce qui concerne le groupe ayant eu l'entraînement HVS ( $p = .010$ ). Tandis que le groupe ayant eu l'entraînement PMT a obtenu une progression plus prépondérante sur la tâche de comptage à rebours ( $p = .024$ ).

Les participants à l'entraînement HVS progressent donc surtout sur les épreuves visuo-spatiales tandis que les participants à l'entraînement PMT évoluent davantage au niveau des épreuves numériques.

**Tableau 4. Comparaison des résultats obtenus aux pré- et post-test par groupe (HVS et PMT).**

Mesures	HVS (N = 53) PMT (N = 49)		Delta
	p-valeurs <sup>b</sup>		p-valeurs <sup>c</sup>
<b>COMPÉTENCES GÉNÉRALES (NON SPÉCIFIQUES AUX MATHÉMATIQUES)</b>			
<b>CVS</b>			
Orientation spatiale (POMP)	<b>≤ .001</b>	<b>.047</b>	<b>.010 (HVS)</b>
Relation spatiale (POMP)	<b>≤ .001</b>	<b>.012</b>	.409
<b>Gnosies</b>			
Main droite (POMP)	<b>.047</b>	.586	.071
Main gauche (POMP)	1,00	.601	.691
<b>Mémoire à court terme</b>			
Mémoire verbale (POMP)	.261	.388	.808
Mémoire visuelle (POMP)	.385	.705	.361
<b>COMPÉTENCES SPÉCIFIQUES AUX MATHÉMATIQUES</b>			
<b>SNA</b>			
Lignes numériques (PAEL)	.188	.101	.868
Comparaison symbolique (1 digit)	<b>.005</b>	<b>.001</b>	.462
Comparaison symbolique (2 digits)	<b>.045</b>	<b>.031</b>	.417
Comparaison non-symbolique	<b>≤ .001</b>	<b>≤ .001</b>	.805
<b>SNE (Développement de la chaîne numérique)</b>			
Comptage libre (POMP)	.583	.144	.668
Comptage à partir de (POMP)	.396	.949	.617
Comptage à rebours (POMP)	.122	<b>≤ .001</b>	<b>.024 (PMT)</b>
Comptage avec bornes (POMP)	.164	.057	.526
Enumération (POMP)	.582	.577	.433
Lecture de nombres arabes (POMP)	<b>≤.001</b>	<b>≤.001</b>	.266
Ordinalité (POMP)	<b>.027</b>	<b>≤.001</b>	.086
Additions digitales (POMP)	.396	.332	.880
Additions nombres arabes (POMP)	.067	<b>.025</b>	.566

<sup>b</sup>Les *p*-valeurs sont calculées à partir d'analyses de comparaisons de moyennes pour échantillons pairés.

<sup>c</sup>Les *p*-valeurs associés au delta (différence entre post-et pré-test) sont calculées à partir d'analyses de comparaisons de moyennes pour échantillons indépendants.

Remarque. Les valeurs mentionnées en gras correspondent aux valeurs significatives (*p* < .05).

## Discussion

Le premier objectif de la présente étude était d'évaluer l'impact d'une stimulation des habiletés mathématiques ou visuo-spatiales sur le développement des compétences mathématiques. Le second était de comparer ces deux types de stimulation et de comparer leur spécificité sur l'évolution des compétences des enfants. Nous nous sommes intéressés particulièrement à l'importance des habiletés visuo-spatiales pour le développement des compétences mathématiques générales ou spécifiquement mathématiques. Notre intérêt s'est orienté vers cet aspect car les habiletés visuo-spatiales semblent être en relation avec le développement des performances en mathématiques des enfants en école primaire. Mais, il manque des données afin de savoir dans quelle mesure ces habiletés visuo-spatiales peuvent être indispensables à ce développement des mathématiques. Finalement, il nous a paru tout aussi important de comprendre dans quelle mesure les habiletés mathématiques ont un impact sur le développement des mathématiques précoces à l'école maternelle. Répondre à ces interrogations pourrait éventuellement donner des pistes pour faciliter le développement des mathématiques à l'école maternelle et pour la rééducation orthophonique d'enfants présentant des troubles de la cognition mathématique.

### **1. Les effets de l'entraînement des habiletés visuo-spatiales sur les compétences mathématiques**

Nous avons souhaité évaluer l'impact d'un entraînement des habiletés visuo-spatiales sur les compétences mathématiques précoces de l'enfant. Il est intéressant de rappeler que la stimulation des habiletés visuo-spatiales était composée de tâches portant sur les aptitudes visuo-spatiales, la manipulation, l'orientation, la reproduction et la complétion de figures et de formes sur un support tablette « iPad ». Lors des phases d'évaluation, sur support papier, les habiletés visuo-spatiales étaient évaluées à travers des épreuves d'orientation spatiale, notamment la rotation mentale, et de relations spatiales.

Nos résultats suggèrent que l'entraînement des habiletés visuo-spatiales améliore les habiletés visuo-spatiales, particulièrement l'orientation spatiale. Cette observation est en adéquation avec les résultats de l'étude de Cornu, Schiltz, Pazouki et Martin (2017), notre étude était dans la continuité de cette dernière. En effet, ils retrouvaient une amélioration de l'orientation spatiale grâce à l'entraînement des habiletés visuo-spatiales qu'ils avaient développé et que nous avons utilisé lors de notre étude. Hawes, Moss, Caswell et Poliszczuk (2015) avaient également des résultats allant dans ce sens : ils avaient mis en évidence une amélioration du domaine entraîné (la pensée spatiale). Cependant, ces deux études n'ont objectivé aucune généralisation aux habiletés mathématiques précoces. Ces conclusions contrastent avec les résultats suggérés par notre étude qui a retrouvé des améliorations pour certaines compétences numériques. Lors de l'analyse détaillée de l'évolution des compétences suite à l'entraînement des habiletés visuo-spatiales, une amélioration des tâches de comparaisons de représentations symboliques et d'ordinalité est remarquée. Ces tâches feraient appel à la ligne numérique mentale et aurait donc un lien avec le spatial (Cheng & Mix, 2012). Une amélioration de la tâche de comparaisons de représentations non symboliques est également observée, cette tâche correspondait à des ensembles de points positionnés aléatoirement dans l'espace de la feuille. Enfin, la tâche de lecture de nombres arabes a été améliorée suite à cet entraînement. Un entraînement des habiletés visuo-spatiales

permettrait donc d'améliorer les compétences visuo-spatiales mais pourrait aussi améliorer certaines compétences numériques des enfants en école maternelle. Ce qui serait donc en cohérence avec les résultats de l'étude de Hawes, Moss, Caswell, Naqvi et MacKinnon (2017).

## **2. Les effets de l'entraînement des prérequis mathématiques sur les compétences mathématiques**

Après avoir développé la question de l'effet de l'entraînement des habiletés visuo-spatiales, il est intéressant de se pencher sur les effets de l'entraînement des prérequis mathématiques. La présente étude laisse supposer que l'entraînement des prérequis mathématiques améliorerait les compétences numériques des enfants en école maternelle, en particulier le fait de compter à rebours. Selon Gelman et Gallistel (1986), les enfants apprennent la chaîne numérique comme une comptine puis ils découvrent les principes du dénombrement au travers d'expériences informelles avant l'entrée en maternelle. Les principes du dénombrement correspondent à : la correspondance terme à terme, l'ordre stable, la cardinalité, l'abstraction et la non-pertinence de l'ordre. Par la suite, les capacités de dénombrement et de comptage évoluent avec les apprentissages formels en maternelle et à l'entrée en CP. Ces nouvelles capacités dont le comptage à rebours, le comptage par pas (ex. par pas de 2 : 2, 4, 6...), le dénombrement d'ensemble  $>$  à 10, l'apprentissage des noms de dizaines et des règles de la combinatoire sont importantes afin de pouvoir appréhender le système en base 10. Un entraînement des prérequis mathématiques améliorerait une des capacités importantes pour appréhender le système en base 10. Cet entraînement permettrait aussi une évolution significative d'autres compétences numériques chez l'enfant notamment les comparaisons de représentations symboliques et non-symboliques ainsi que la lecture de nombres arabes, l'ordinalité et les additions de nombres arabes. Si nous reprenons le modèle développemental de Von Aster et Shalev (2007), les prérequis mathématiques supportent les apprentissages suivants comme le système numérique arabe et verbal ainsi que l'ordinalité. L'entraînement des prérequis mathématiques améliore donc bien les compétences suivantes dans le développement. Outre l'impact sur les compétences spécifiquement mathématiques, l'entraînement des prérequis mathématiques offrirait une évolution significative des compétences visuo-spatiales (notamment l'orientation spatiale et les relations spatiales), une amélioration moins attendue.

Wilson et al. (2009) montraient une amélioration des tâches de comparaisons numériques symboliques grâce à l'utilisation du logiciel "The Number Race" (logiciel renforçant le sens du nombre). Dans la présente étude, une amélioration similaire est retrouvée sur les tâches de comparaison symbolique suite à l'entraînement des prérequis mathématiques. Cependant, cette amélioration n'est pas spécifique à ce type d'entraînement. En effet, l'entraînement des habiletés visuo-spatiales améliore aussi les tâches de comparaisons symboliques. De plus, cette amélioration grâce à l'entraînement des prérequis mathématiques n'est pas réellement plus importante que l'amélioration suite à l'entraînement des habiletés visuo-spatiales.

Ces interprétations seront à mettre en regard des interprétations des autres mémoires en orthophonie.

### 3. Limites et améliorations

Ce présent mémoire fait partie d'une suite de mémoires de l'année 2018. Les limitations et améliorations concernant la phase de pré-test et la phase d'entraînement sont mentionnées dans ces mémoires.

Sur les trois groupes constitués lors de l'étude, aucun groupe contrôle n'a été prévu. Ainsi, cette présente étude ne permet pas de savoir si les améliorations sont dues uniquement aux entraînements ou si elles dépendent de la maturation de l'enfant et/ou de l'enseignement scolaire. Un groupe contrôle aurait permis de comparer les effets des entraînements spécifiques à l'évolution des enfants ayant simplement un enseignement classique (sans entraînement). Néanmoins l'éthique ne nous permettrait pas de former un groupe sans entraînement mais il serait intéressant de créer un groupe possédant un entraînement différent qui ne fait pas intervenir les compétences mathématiques (ex. un entraînement orienté sur le langage). Nous avons, cependant, le groupe d'entraînement prérequis mathématique classique qui n'a pas été examiné dans ce présent mémoire. Ce groupe permettrait d'avoir un autre point de comparaison.

Lors de la phase de post-test, toutes les conditions optimales n'étaient pas réunies notamment par le manque de temps, les infrastructures des écoles, les disponibilités des examinateurs et des écoles. Les enfants étaient post-testés dans des salles à plusieurs (environ 6 enfants simultanément). Cette disposition ne permettait pas à l'enfant d'avoir une attention optimale lors des tâches : ceci peut créer un biais à l'étude. Il serait donc intéressant d'anticiper davantage les passations et d'isoler au maximum les enfants lors des passations des tests.

De plus, en raison du manque de temps et d'examineurs, il a été nécessaire de recruter de nouveaux examinateurs. La formation aux conditions de passation a donc été faite plus rapidement. Les consignes de passation n'ont pas été transmises de manière uniforme. Cette difficulté peut entraîner un biais concernant la fidélité inter-juges. Il serait donc indispensable de dispenser une formation unique à tous les examinateurs pour limiter ce type de biais.

Nous avons rencontré des difficultés sur la correction des tests administrés en post-test. En effet, n'ayant pas tous eu la même formation initiale sur les consignes de notation, nous avons quelques notations qui s'avéraient être différentes. Nous avons donc remédié à ces différences en se réunissant et en se mettant d'accord sur les notations. Une formation initiale commune à tous les examinateurs paraît donc nécessaire afin de limiter les biais dans les corrections des tests.

Quelques difficultés ont été rencontrées quant à l'organisation de la phase de maintien. Il a été difficile de trouver des dates communes aux examinateurs et aux écoles pour effectuer les passations. De plus, il n'a pas toujours été facile de retrouver les enfants de GSM passés en CP dans de nouvelles écoles. Certains ont ainsi été perdus de vue. Il pourrait donc être intéressant de sélectionner uniquement les écoles primaires (à la fois maternelle et élémentaire). Cela permettrait d'avoir une communication plus évidente et de limiter les enfants perdus de vue.

Nous avons également rencontré une autre limite : le refus d'une école élémentaire à la poursuite de l'étude dans leur établissement. Cette limite nous a donc contraints à retirer des enfants de l'étude pour voir le maintien des effets des entraînements.

Au vu des difficultés d'organisation de la phase de maintien, cette phase s'est déroulée sur 3 mois (d'octobre à décembre) au lieu de se dérouler entièrement sur le mois d'octobre.

Il sera intéressant de comparer ces présents résultats aux résultats de la phase de maintien. Cette comparaison permettra de constater si ces améliorations perdurent. Certains aspects de l'étude doivent encore être améliorés. L'étude Kids e-stim 2018 sera poursuivie par l'étude Kids e-stim 2020. Celle-ci sera mise en place dans des milieux socio-scolaires défavorables en particulier au niveau des établissements de REP (Réseau d'Éducation Prioritaire). Elle portera sur les enfants scolarisés en moyenne section de maternelle. L'étude sera identique à la présente étude avec une simplification des protocoles de pré/post-tests. Elle permettra d'obtenir un nouveau point de comparaison : le milieu socio-économique.

## Conclusion

Ce présent mémoire avait pour objectif d'évaluer l'impact d'une stimulation des habiletés visuo-spatiales et des habiletés mathématiques sur le développement des compétences mathématiques précoces chez des enfants en classe de maternelle.

L'étude a été menée sur 158 enfants tout-venant issus de moyenne et grande section de maternelle. Ces enfants ont participé à une phase de pré-test puis à 8 semaines d'entraînements et enfin à une phase de post-test. A la suite de la phase de pré-test, trois groupes ont été constitués : un groupe d'entraînement des prérequis mathématiques classique, un groupe d'entraînement des prérequis sur tablette et un groupe d'entraînement des habiletés visuo-spatiales sur tablette. Enfin, une phase de maintien a été réalisée 4 mois plus tard.

Les résultats de l'étude ont suggéré qu'un entraînement des habiletés visuo-spatiales améliorerait plus particulièrement les habiletés visuo-spatiales, notamment l'orientation spatiale. Il aurait également un impact sur l'évolution de certaines compétences mathématiques précoces (comparaison de représentations symboliques et non symboliques, lecture de nombres arabes et ordinalité). L'entraînement des prérequis mathématiques sur tablette améliorerait certaines compétences mathématiques précoces, en particulier le fait de compter à l'envers. Il aurait aussi un impact sur l'évolution des habiletés visuo-spatiales, notamment l'orientation spatiale et les relations spatiales.

L'étude Kids e-stim 2018 sera suivie de l'étude Kids e-stim 2020. Cette dernière consistera à mettre en place l'étude dans des milieux socio-scolaires défavorables. Quelques modifications seront appliquées : une simplification des protocoles de pré et post-test et une sélection uniquement des enfants en moyenne section de maternelle. Les attentes seront des gains plus importants sur les compétences mathématiques précoces à travers les différents types d'entraînements.

Cette étude vise à connaître les bénéfices des différents entraînements ainsi que les différents supports sur le développement des compétences mathématiques précoces. Les analyses statistiques des résultats, à travers les différents mémoires sur cette étude, vont permettre de fournir des preuves scientifiques sur l'intérêt d'un apprentissage des habiletés visuo-spatiales, des prérequis mathématiques et des différents supports à utiliser. Et surtout, ils permettront aux orthophonistes d'adapter leur prise en charge d'enfants présentant des troubles de la cognition mathématique en proposant aux patients une prise en charge s'appuyant sur des habiletés correspondant à leurs troubles.

## Bibliographie

- Bach, J. F., Houdé, O., Léna, P., & Tisseron, S. (2013). *Enfant et l'écran. L'enfant et les écrans. Un avis de l'Académie des sciences*. Institut de France, Académie des Sciences.
- Bacquet, M., & Gueritte-Hess, B. (2007). *Le nombre et la numération: pratique de rééducation*. Editions du Papyrus.
- 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.
- Carr, J. M. (2012). Does math achievement h'APP'en when iPads and game-based learning are incorporated into fifth-grade mathematics instruction? *Journal of Information Technology Education: Research*, 11, 269–286.
- Charron, C., Duquesne, F., Marchand, M. H., & Meljac, C. (2001). L'évaluation des conduites numériques des enfants en grande difficulté. *Troubles du calcul et dyscalculies chez l'enfant*. Paris: Masson.
- Cheng, Y.-L., & Mix, K. S. (2014). Spatial training improves children's mathematics ability. *Journal of Cognition and Development*, 15(1), 2–11.
- Cornu, V., Hornung, C., Schiltz, C., & Martin, R. (2017). How Do Different Aspects of Spatial Skills Relate to Early Arithmetic and Number Line Estimation? *Journal of Numerical Cognition*, 3(2), 309-343.
- Cornu, V., Schiltz, C., Martin, R., & Hornung, C. (2018). Visuo-spatial abilities are key for young children's verbal number skills. *Journal of Experimental Child Psychology*, 166, 604-620.
- Cornu, V., Schiltz, C., Pazouki, T., & Martin, R. (2017). Training early visuo-spatial abilities: A controlled classroom-based intervention study. *Applied Developmental Science*, 1–21.
- Corsi, P. M. (1972). Human memory and the medial temporal region of the brain. *Dissertation Abstracts International*, 34, 819B.
- De Smedt, B., Noël, M.-P., Gilmore, C., & Ansari, D. (2013). How do symbolic and non-symbolic numerical magnitude processing skills relate to individual differences in children's mathematical skills? A review of evidence from brain and behavior. *Trends in Neuroscience and Education*, 2(2), 48–55.
- Deblois, L. (2006). Influence des interprétations des productions des élèves sur les stratégies d'intervention en classe de mathématiques. *Educational Studies in Mathematics*, 62(3), 307–329.
- Dehaene, S. (1992). Varieties of numerical abilities. *Cognition*, 44(1-2), 1–42.
- Dunn, L. M., Dunn, L. M., & Thériault-Whalen, C. M. (1993). *Échelle de vocabulaire en images Peabody: série de planches*.
- Galifret-Granjon, N. (1964). Tests des gnosies digitales. In R. Zazzo, N. Galifret-Granjon & M. Stambak (Eds.), *Manuel pour l'examen psychologique de l'enfant* (pp. 57-85). Neuchâtel: Delachaux.
- Gelman, R., & Gallistel, C. R. (1986). *The Child's Understanding of Number*. Harvard University Press.

- Hammill, D. D., Pearson, N. A., & Voress, J. K. (1993). *Developmental Test of Visual Perception: DTVP-2*. Austin, Texas : Pro-Ed.
- Hawes, Z., Moss, J., Caswell, B., Naqvi, S., & MacKinnon, S. (2017). Enhancing Children's Spatial and Numerical Skills through a Dynamic Spatial Approach to Early Geometry Instruction: Effects of a 32-Week Intervention. *Cognition and Instruction, 35*(3), 236-264.
- Hawes, Z., Moss, J., Caswell, B., & Poliszczuk, D. (2015). Effects of mental rotation training on children's spatial and mathematics performance: A randomized controlled study. *Trends in Neuroscience and Education, 4*(3), 60-68.
- Ho, C. S. H., & Fuson, K. C. (1998). Children's knowledge of teen quantities as tens and ones: Comparisons of Chinese, British, and American kindergartners. *Journal of Educational Psychology, 90*(3), 536.
- Izard, V., Sann, C., Spelke, E. S., & Streri, A. (2009). Newborn infants perceive abstract numbers. *Proceedings of the National Academy of Sciences, 106*(25), 10382–10385.
- Jordan, Nancy C., Kaplan, D., Locuniak, M. N., & Ramineni, C. (2007). Predicting first-grade math achievement from developmental number sense trajectories. *Learning Disabilities Research & Practice, 22*(1), 36–46.
- Jordan, Nancy Colleen, Kaplan, D., Oláh, L. N., & 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.
- Ke, F. (2008). A case study of computer gaming for math: Engaged learning from gameplay? *Computers & education, 51*(4), 1609–1620.
- Kulik, C.-L. C., & Kulik, J. A. (1991). Effectiveness of computer-based instruction: An updated analysis. *Computers in human behavior, 7*(1-2), 75–94.
- Kulik, J. A., Kulik, C.-L. C., & Bangert-Drowns, R. L. (1985). Effectiveness of computer-based education in elementary schools. *Computers in Human Behavior, 1*(1), 59–74.
- 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.
- Linn, M. C., & Petersen, A. C. (1985). Emergence and characterization of sex differences in spatial ability: A meta-analysis. *Child development, 1479–1498*.
- Lipton, J. S., & Spelke, E. S. (2003). Origins of number sense: Large-number discrimination in human infants. *Psychological science, 14*(5), 396–401.
- Mix, K. S., & Cheng, Y.-L. (2012). The relation between space and math : Developmental and educational implications. In *Advances in child development and behavior* (Vol. 42, p. 197–243). Elsevier.
- Pan, Y., Gauvain, M., Liu, Z., & Cheng, L. (2006). American and Chinese parental involvement in young children's mathematics learning. *Cognitive Development, 21*(1), 17–35.

- Pesenti, M., Seron, X., & Noël, M.-P. (2014). *L'évaluation des troubles du calcul et du traitement des nombres*.
- Ramani, G. B., & Siegler, R. S. (2008). Promoting broad and stable improvements in low-income children's numerical knowledge through playing number board games. *Child development*, 79(2), 375–394.
- Ramani, G. B., & Siegler, R. S. (2011). Reducing the gap in numerical knowledge between low-and middle-income preschoolers. *Journal of applied developmental Psychology*, 32(3), 146–159.
- Starkey, P., Klein, A., & Wakeley, A. (2004). Enhancing young children's mathematical knowledge through a pre-kindergarten mathematics intervention. *Early Childhood Research Quarterly*, 19(1), 99–120.
- Tisseron, S. (2013). L'enfant et les écrans: un avis de l'Académie des Sciences. *Le Carnet Psy*, (2), 1–1.
- Von Aster, M. G., & Shalev, R. S. (2007). Number development and developmental dyscalculia. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 49(11), 868-873.
- Wechsler, D., & Naglieri, J.A. (2006). Wechsler Nonverbal Scale of Ability. *Journal of Psychoeducational Assessment*, 27(5), 426-432.
- Wilson, A. J., Dehaene, S., Dubois, O., & Fayol, M. (2009). Effects of an Adaptive Game Intervention on Accessing Number Sense in Low-Socioeconomic-Status Kindergarten Children. *Mind, Brain, and Education*, 3(4), 224-234.
- Wilson, A. J., Dehaene, S., Pinel, P., Revkin, S. K., Cohen, L., & Cohen, D. (2006). Principles underlying the design of «The Number Race», an adaptive computer game for remediation of dyscalculia. *Behavioral and Brain Functions*, 2(1), 19.
- Zhou, X., Chen, Y., Chen, C., Jiang, T., Zhang, H., & Dong, Q. (2007). Chinese kindergartners' automatic processing of numerical magnitude in Stroop-like tasks. *Memory & Cognition*, 35(3), 464-470.

## **Liste des annexes**

**Annexe n°1 : Lettre d'informations.**

**Annexe n°2 : Formulaire de consentement.**

**Annexe n°3 : Fiche questionnaire.**