



Département d'Orthophonie
Gabriel DECROIX

MEMOIRE

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

Alexandra Renaud

Soutenu publiquement en juin 2019 :

**Entraînement des pré-requis mathématiques
chez des enfants de moyenne et grande sec-
tions de maternelle : effets de l'entraînement
sur les compétences mathématiques et persis-
tance des bénéfices à long terme**

Directeur :

Sandrine MEJIAS, Maître de conférences, Département d'Orthophonie, Université de
Lille

Lille –2019

Remerciements

Je tiens à remercier toutes les personnes qui, de près ou d'un peu plus loin, ont pris part à la réalisation de ce projet.

J'exprime d'abord toute ma gratitude envers ma directrice de mémoire, Madame Mejias, pour sa disponibilité et le temps qu'elle m'a accordé tout au long de ces deux années. Je la remercie pour ses conseils avisés, qui ont permis de guider ma réflexion, et pour ses relectures attentives de mon travail.

Je remercie également Madame Cornu et son équipe, dont les recherches ont permis la naissance de ce projet, et qui a accepté de partager son matériel avec nous.

Merci aussi à tous les participants, enseignants et élèves, qui ont permis la mise en place et le bon déroulement de cette étude. J'exprime toute ma reconnaissance aux étudiantes de 5^{ème} année intégrée à ce projet.

Merci à mes copines de promotion, pour ces 5 années passées ensemble, qui n'auraient pas été pareilles sans vous.

Je remercie tout particulièrement mes parents, sans qui rien n'aurait jamais été possible, et mon frère. Merci d'avoir cru en moi, et de m'avoir toujours soutenue.

Enfin, merci à toi, Samy d'avoir été à mes côtés tout au long de cette année, merci pour ta patience et pour la curiosité et l'intérêt que tu portes au métier d'orthophoniste.

Je remercie d'avance les membres du jury pour le temps qu'ils consacreront à la lecture et l'évaluation de ce travail.

Résumé

La présente étude s'intègre au projet Kids-eStim, et a pour objectif de comparer les effets d'un entraînement des capacités numériques précoces ou des habiletés visuo-spatiales sur le développement des compétences mathématiques. Elle a également pour objectif d'observer le maintien à long terme des bénéfices de l'intervention, et ses effets sur l'entrée dans les apprentissages mathématiques formels. Des élèves de moyenne et grande sections de maternelle ont été répartis dans trois groupes : le groupe « pré-mathématiques papier-crayon », qui proposait des activités mathématiques à travers des jeux de société, le groupe « habiletés visuo-spatiales », qui proposait des stimulations des habiletés visuo-spatiales, le groupe « pré-mathématique tablette », qui proposait un entraînement mathématique. Ces deux derniers entraînements étaient dispensés via l'application MaGrid sur tablette numérique. Notre étude s'est déroulée en quatre phases : les pré-tests, les entraînements, les post-tests et les tests de maintien. A l'issue des post-tests, les résultats de 157 enfants étaient analysables. Les analyses ont montré une amélioration préférentielle des élèves dans les tâches pour lesquelles ils avaient reçu un entraînement spécifique. Cent vingt-trois tests de maintien ont été récoltés et leurs analyses ont révélé la persistance de certains effets des entraînements, principalement chez les élèves ayant bénéficié d'un entraînement mathématique. Aucun groupe ne montre de résultats significativement supérieurs dans les épreuves mathématiques formelles. Les résultats obtenus sont encourageants, et l'étude sera reconduite prochainement auprès d'une population issue de milieux socio-économiques faibles, où les bénéfices de l'intervention devraient être plus marqués.

Mots clés :

Développement mathématique – stimulation précoce – maintien des compétences

Abstract :

This study is part of the Kids-eStim project, and aims to compare the effects of early numerical or visual-spatial skills training on the development of mathematical skills. It also aims to observe the long-term maintenance of the benefits of the intervention, and its effects on entry into formal mathematical learning. Students of second and third grades of kindergarten were divided into three groups : the "pre-mathematics paper-pencil" group, which offered mathematical activities through board games, the "visuo-spatial skills" group, which offered visual-spatial skills stimulation, and the "pre-mathematics tablet" group, which offered mathematical training. These last two training sessions were delivered via the MaGrid application on a digital tablet. Our study was conducted in four phases : pre-tests, training, post-tests and maintenance tests. At the end of the post-test, the results of 157 children could be analysed. The analyses showed a preferential improvement of the students in the tasks for which they had received specific training. One hundred and twenty three maintenance tests were collected and their analyses revealed the persistence of some training effects, mainly in students who had received mathematical training. No group shows significantly higher results in formal mathematical tasks. The results obtained are encouraging, and the study will soon be repeated among a population from a low socio-economic background, where the benefits of this type of intervention should be more pronounced.

Key words :

Mathematical development – early stimulation – skill maintenance

Tables des matières

Introduction	1
Contexte théorique, buts et hypothèses	2
1. Contexte théorique	2
1.1. La cognition mathématique : connaissances actuelles	2
1.1.1. La cognition mathématique.....	2
1.1.2. Le développement du sens du nombre chez l'enfant.....	4
1.2. Apport d'un entraînement des mathématiques en maternelle	6
1.2.1. Validité scientifique des différents entraînements	6
1.2.2. Données sur les effets d'un entraînement numérique précoce	8
1.3. L'enseignement des mathématiques en France	9
1.4. L'étude KIDS eStim	10
2. Objectifs	11
3. Hypothèses	11
Méthodologie	11
1. Population	12
2. Matériel et procédure	14
2.1. Procédure	14
2.2. Matériel	14
3. Traitement des données	19
Résultats	19
1. Analyses pré/post-tests	19
2. Analyse des tests de maintien.....	21
Discussion	24
1. Discussion des résultats.....	24
2. Discussion méthodologique	25
3. Poursuite de l'étude.....	28
4. Apport de l'étude pour la pratique orthophonique	28
Conclusion	29
Références bibliographiques	30
Liste des annexes	34
Annexe 1 : Livret de passation des tests de maintien pour CP.....	A1
Annexe 2 : Contenu des entraînements	A8
Annexe 3 : Tableaux Statistiques issus des analyses comparatives des pré- et post-tests.....	A11

Introduction

Dans la plupart des tâches quotidiennes, même les plus élémentaires, nous sommes amenés à appréhender des quantités, manipuler des nombres ou faire des calculs. L'utilisation du nombre est donc omniprésente dans nos sociétés actuelles et les compétences dans le domaine des mathématiques sont extrêmement valorisées. De plus, selon Romano, Babchishin, Pagani, et Kohen (2010), les compétences mathématiques précoces sont liées aux futures réussites académiques et professionnelles.

C'est pourquoi l'enseignement des mathématiques est devenu un enjeu majeur pour le gouvernement (Villani & Torossian, 2018) dont les objectifs sont multiples : réformer et optimiser l'enseignement (notamment des mathématiques) dans les zones d'éducation prioritaire, faire passer l'école à l'ère du numérique, tout en restant en adéquation avec les données scientifiques actuelles sur le développement de l'enfant et les apprentissages. Ainsi, en collaboration avec la communauté scientifique, le gouvernement et l'éducation nationale ont pour objectif de repenser les programmes scolaires afin d'optimiser la pédagogie proposée aux élèves.

Si l'on sait que la cognition mathématique met en jeu de multiples processus cérébraux, comme la mémoire, l'attention et autres fonctions exécutives, son développement et son fonctionnement font encore l'objet de nombreuses recherches.

Certaines capacités de traitement numérique sont présentes très tôt chez le jeune enfant et permettent de se représenter précisément ou approximativement les quantités. Elles sont essentielles au développement futur des compétences mathématiques. Ces capacités innées, autant que celles acquises par la suite, évoluent et s'affinent en même temps que l'enfant grandit. Actuellement, les recherches et études montrent un effet bénéfique d'un entraînement précoce des compétences mathématiques (Obersteiner, Reiss & Ufer, 2013; Ramey & Ramey, 2004), que ce soit à travers le jeu (Randel, Morris, Wetzel & Whitehill 1992; Sasanguie, De Smedt, Defever, & Reynvoet, 2012), via un matériel numérique (Kulik & Kulik, 1991) ou par un travail spécifique des habiletés visuo-spatiales. Si les recherches concernant les effets d'un entraînement visuo-spatial restent à approfondir, il semble exister une corrélation entre habiletés visuo-spatiales et compétences mathématiques (Ansari, Donlan, S.C. Thomas, Ewing, Peen & Karmiloff-Smith, 2003; Zhang et Lin, 2015).

Ce travail de fin d'étude s'inscrit dans un projet de recherche de plus grande ampleur, le projet Kids e-Stim, ayant pour objectif d'étudier l'effet de différents entraînements précoces proposés à des enfants de moyenne et grande sections de maternelle et de déterminer l'influence du support (papier-crayon ou numérique) et des compétences entraînées (pré-requis mathématiques ou compétences visuo-spatiales) dans le développement des habiletés mathématiques. Il s'inspire des travaux débutés par Cornu, Schiltz, Pazouki, et Martin (2017), qui ont proposé plusieurs stimulations à des enfants de maternelle. Leur but était d'observer les effets de stimulations visuo-spatiales sur le développement des capacités visuo-spatiales et numériques des enfants. Ils ont accepté de partager leurs matériels de test et d'entraînement afin que nous continuions leurs recherches.

L'objectif de ce travail sera d'étudier les effets des différents entraînements proposés sur le développement et l'évolution des compétences mathématiques précoces, et d'observer les effets de ces entraînements à plus long terme, lors de l'entrée dans les apprentissages mathématiques formels, en classe préparatoire (CP).

Après avoir redéfini et précisé le contexte théorique dans lequel se place ce mémoire, nous énoncerons nos objectifs et hypothèses. Nous présenterons ensuite la méthodologie ayant permis de récolter les données auprès des enfants de maternelle puis nous exposerons nos résultats et analyses, que nous discuterons dans une dernière partie.

Contexte théorique, buts et hypothèses

1. Contexte théorique

1.1. La cognition mathématique : connaissances actuelles

1.1.1. La cognition mathématique

Lorsque l'on s'intéresse à l'histoire des connaissances sur l'acquisition du nombre chez l'Homme, on ne peut écarter les recherches de Jean Piaget. En effet, en exposant et développant sa théorie constructiviste, le psychologue ouvre les portes de ce domaine. Selon lui, le fonctionnement cognitif de l'enfant diffère de celui de l'adulte, car il ne possède pas les mêmes structures logiques (Piaget et Szeminska, 1941).

Selon cette théorie, la construction de la pensée logique et de la notion de nombre se fait progressivement au cours de l'enfance, en passant par une série de stades définis par Piaget. Ces stades suivent une progression linéaire (un stade ne peut pas être atteint sans passer par le précédent) et sont indissociables. Le premier stade de développement de la pensée logique est le stade sensori-moteur (fondé sur les sens et les actions), suivi ensuite par le stade de l'intelligence conceptuelle (où apparaissent les concepts de nombre, catégorisation, raisonnement), d'abord concrète, puis abstraite (adolescents et adultes). Ils sont marqués par l'acquisition de structures logiques bien connues : la conservation, la sériation, et l'inclusion, dont la maîtrise est essentielle à l'enfant, selon Piaget, pour accéder au concept de nombre. Selon cette théorie, l'enfant ne disposerait donc pas de compétences arithmétiques innées mais les développerait par la manipulation et l'expérience.

Si les idées de Piaget sont encore très influentes dans le monde de l'éducation, elles tendent aujourd'hui à être remplacées par les nouvelles données issues de la neuropsychologie. Cette discipline, par l'étude des déficits cognitifs consécutifs à une lésion cérébrale spécifique, établit des modèles théoriques de fonctionnement et de développement cognitifs.

En effet, de plus en plus de recherches en neuropsychologie s'intéressent au domaine de la cognition mathématique et au développement de la notion de nombre chez l'enfant. Ainsi, selon Izard, Sann, Spelke et Streri (2009), le sens du nombre serait présent de façon précoce chez les nouveau-nés. De nombreuses études ont montré que les très jeunes enfants étaient capables de remarquer un changement de numérosité entre deux stimuli, qu'ils soient visuels ou auditifs (Xu, Spelke & Goddard, 2005 ; Lipton & Spelke, 2003 ; Izard et al., 2009), s'éloignant ainsi de la théorie de Piaget selon laquelle le concept de nombre ne serait pas acquis avant l'âge de 6 ans.

Selon Dehaene (2011), le sens du nombre est une compétence précoce, présente chez les humains et les animaux. Nous serions capables, dès le plus jeune âge, de nous représenter précisément de petites quantités et approximativement de grandes quantités. Ainsi, si nous possédons de telles capacités de façon innée, il devrait être possible de retrouver des structures cérébrales spécialement dédiées au traitement de la numérosité. En effet, plusieurs études ont montré l'existence de régions cérébrales s'activant spécifiquement lors de tâches de traitement numérique, notamment au niveau du sillon intrapariétal (Cantlon, Brannon, Carter & Pelphrey, 2006).

A partir de ses recherches et découvertes, Dehaene (1992) a élaboré le modèle du triple code pour expliquer comment s'opèrent cognitivement les traitements numériques. Comme illustré dans la Figure 1, il distingue ainsi trois systèmes de représentation mobilisés dans le traitement du nombre : la représentation analogique, la représentation arabe, et la représentation verbale. D'un côté, nous trouvons le système de représentation analogique, le premier que nous possédons : il est inné, et permet d'appréhender la quantité, alors représentée sur une ligne numérique mentale, orientée de droite à gauche. De l'autre côté, les deux autres systèmes, le code auditif verbal et le code visuel arabe, sont des représentations symboliques arbitraires, non porteuses de sens en elles-mêmes.

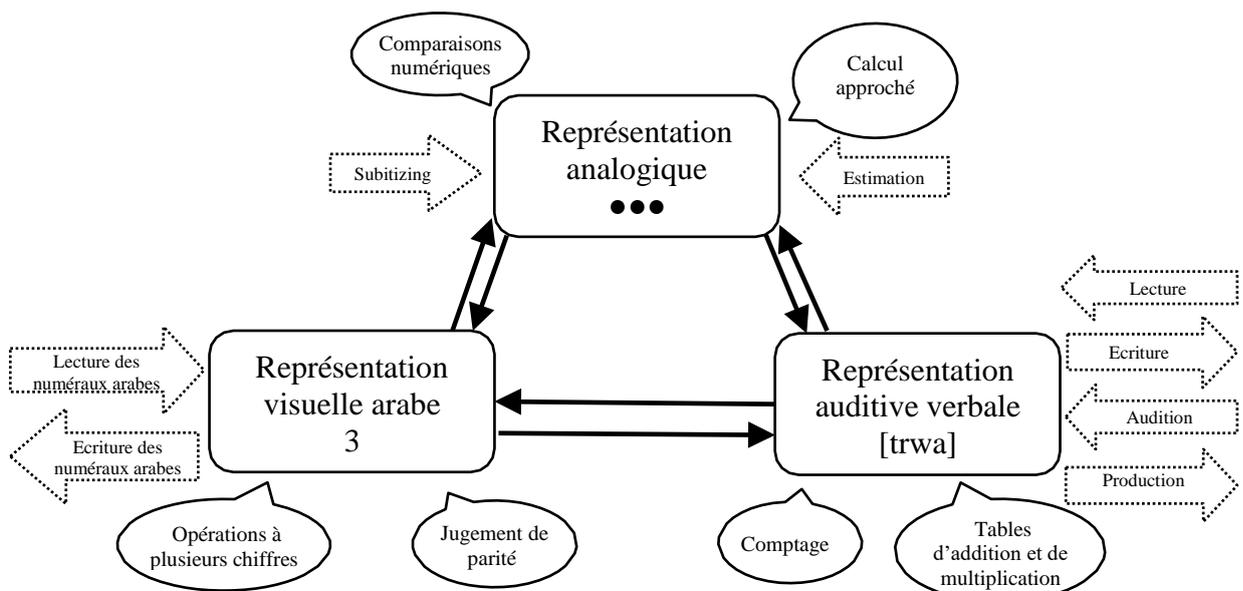


Figure 1. Modèle du triple code (Dehaene, 1992)

Ainsi, les connaissances dans le domaine de la cognition mathématiques s'élargissent. Et si l'on sait maintenant que des habiletés numériques pré-verbales et informelles sont présentes de façon très précoce chez le jeune enfant, les processus de développement numérique font encore l'objet de recherches.

Comprendre ces processus et connaître les compétences qui les sous-tendent permettra d'identifier les capacités essentielles au développement de la cognition mathématique et à l'entrée dans les apprentissages mathématiques formels.

1.1.2. Le développement du sens du nombre chez l'enfant

Selon Feigenson, Dehaene et Spelke (2004), il existe deux systèmes de représentation non symboliques, présents dès le plus jeune âge chez l'enfant.

Le système de traitement numérique précis (SNP), d'une part, permet d'appréhender de façon exacte les petites numérosités. Selon certains auteurs (e.g. Fayol, Perros & Seron, 2004), ce traitement se limite aux quantités allant de un jusqu'à trois. Les très jeunes enfants sont capables, dès quelques mois, de discriminer précisément ces petites quantités (e.g. Xu et al. 2005).

Le système numérique approximatif (SNA) quant à lui permet la représentation et le traitement des grandes collections. Les représentations numériques mentales répondent à la loi de Weber-Fechner : il existe une compression logarithmique des représentations numériques lorsque les quantités traitées augmentent. Cette compression implique que les quantités sont moins facilement différenciables à mesure qu'elles augmentent.

Il résulte de cette loi deux grands effets observés lors de la comparaison approximative des quantités : l'effet de taille et l'effet de distance. L'effet de taille montre que plus les quantités à traiter sont importantes, plus la comparaison sera lente et susceptible d'être erronée (ex. Comparer 15 vs 19 est plus rapide que comparer 44 vs 48), et l'effet de distance montre qu'il est plus facile et plus rapide de comparer des quantités distantes que des quantités proches (ex. Comparer 5 vs 10 est plus rapide que de comparer 5 vs 7).

Ces deux systèmes, en particulier le système approximatif, vont s'affiner avec le temps (Xu et al. 2005). Selon Piazza et al. (2010), on retrouverait chez les dyscalculiques des compétences inférieures à la moyenne dans les tâches de comparaison de grandes quantités.

Selon Von Aster et Shalev (2007), dans leur modèle développemental de l'acquisition numérique, les différentes représentations du nombre se développent d'une part très précocement dès les débuts de la vie (pour les représentations non-symboliques), puis lors des apprentissages implicites et explicites (pour les représentations symboliques). Toujours selon ces mêmes auteurs, le développement des représentations numériques suivrait quatre étapes clés :

- La représentation innée du nombre permettant à l'enfant d'appréhender la quantité.
- L'acquisition des mots nombres et la mise en place de liens entre cette représentation auditive symbolique et la quantité représentée.
- L'apprentissage des symboles arabes et leur association d'une part à la représentation auditive verbale, et d'autre part à la quantité représentée.

- Enfin, le développement d'une ligne numérique mentale mature, c'est à dire linéaire et non plus logarithmique (comme elle se présente chez les jeunes enfants), grâce à ces trois précédentes étapes.

L'enchaînement de ces étapes est lié au bon développement de la mémoire de travail en parallèle.

Ainsi, il semble important de renforcer les liens entre les différentes représentations du nombre définies par Dehaene (1992) dans son modèle du triple code, dans les enseignements proposés aux enfants dès la maternelle, pour leur permettre une appropriation correcte du concept de nombre symbolique (code arabe et code verbal) et de ce qu'il représente.

Pour comprendre la notion de nombre symbolique, les enfants passent tout d'abord par l'apprentissage de la chaîne numérique (arabe et verbale), puis par sa manipulation. Cette étape est essentielle aux futurs apprentissages mathématiques. Östergeren et Träff (2013) confirment d'ailleurs le lien entre la maîtrise de la chaîne numérique verbale, la connaissance des nombres arabes et les habiletés mathématiques. Ainsi la réussite aux tâches d'ordinalité (capacité de placer les chiffres dans l'ordre de la chaîne numérique) a été démontrée comme étant le plus fort prédicteur des capacités mathématiques plus complexes, comme le calcul mental (Lyons, Price, Vaessen, Blomert & Ansari, 2014, cités par Verschaffel, Torbeyns & De Smedt, 2017, p. 34).

En ce qui concerne le système numérique approximatif, plusieurs recherches montrent une association certaine entre les processus d'estimation de quantité et les compétences mathématiques (Reeve, Reynolds, Humberstone & Butterworth, 2012, cité par Verschaffel, Torbeyns & De Smedt, 2017, p. 32). L'effet observé est encore plus important aux tâches de comparaison symbolique que non-symbolique (Schneider et al., 2017, cité par Verschaffel, Torbeyns & De Smedt, 2017, p. 32). Selon ces auteurs, il existe une corrélation entre les compétences mathématiques et la réussite aux tâches d'estimation sur ligne numérique significativement plus grande qu'avec les tâches de comparaison symbolique.

De plus, Mazzocco, Feigenson et Halberda (2011) suggèrent que la précision du système numérique approximatif mesurée chez des enfants de maternelle est prédictrice des performances scolaires en mathématique à 6 ans. En effet, ces compétences en SNA vont permettre le développement des compétences numériques plus précises (notamment le comptage), qui sont également d'importants prédicteurs de l'entrée dans les apprentissages mathématiques plus complexes selon Passolunghi, Vercelloni et Schadee (2007).

Les habiletés visuo-spatiales rentrent également en jeu dans le développement des compétences mathématiques. Ainsi, Ansari et al. (2003), ont mis en évidence un lien entre la construction de patterns et le développement de la cardinalité. Zhang et Lin (2015), quant à eux, ont montré une corrélation entre la discrimination de l'orientation et les compétences mathématiques en maternelle et primaire.

Les éléments issus de la littérature actuelle cités ci-dessus établissent donc des corrélations entre certaines compétences numériques et visuo-spatiales précoces et le futur

développement mathématique. Ces données permettent de justifier le choix des épreuves utilisées pour la construction des protocoles d'évaluation proposés aux participants de cette étude, qui seront présentés dans la suite de ce mémoire.

1.2. Apport d'un entraînement des mathématiques en maternelle

1.2.1. Validité scientifique des différents entraînements

L'entraînement des compétences mathématiques via un matériel concret

De nombreuses études se sont intéressées à la façon d'enseigner les mathématiques, dans le but de fournir aux élèves une pédagogie adaptée et des outils efficaces, motivants et attractifs. Dans cette optique, plusieurs auteurs se sont intéressés à l'intérêt du jeu dans les apprentissages. Dans leur méta-analyse publiée en 2007, Sauvé, Renaud et Gauvin émettent l'hypothèse que le jeu a des impacts significatifs sur les aspects suivants de l'apprentissage : le développement d'habiletés de coopération, de communication et de relations humaines, la motivation, la structuration des connaissances, l'intégration des connaissances et le développement d'habiletés en résolution de problèmes. Leur analyse de 431 articles publiés entre 1998 et 2005 confirme leurs hypothèses : le jeu donne la possibilité d'entrer en relation avec l'autre, de partager, et de collaborer. Par ses aspects compétitifs, les défis qu'il propose et le plaisir de jouer qu'il procure, il entretient la motivation. En permettant la manipulation, l'anticipation et l'élaboration de stratégies, le support ludique permet à l'apprenant d'établir des schémas et de structurer ses connaissances. Il offre également la possibilité de transposer ses connaissances dans d'autres contextes, et d'ainsi consolider ses acquis.

Randel et al. (1992), s'étaient déjà intéressés à ce sujet, et notamment aux domaines spécifiques dans lesquels l'utilisation du support jeu était le plus bénéfique. Il ressort de leurs recherches que le jeu utilisé dans le domaine des mathématiques est bénéfique pour les apprentissages.

Plus spécifiquement, les jeux de plateaux semblent faciliter le développement de comptage et de dénombrement (Fayol, 2013). Cependant, Siegler et Ramani (2008) précisent que l'utilisation de jeux de plateaux linéaires plutôt que circulaires montreraient des effets positifs plus importants.

En offrant un support concret et manipulable, les jeux permettent l'entraînement des habiletés mathématiques de base, qui ont un rôle important dans le développement des compétences mathématiques futures. Ainsi, Sasanguie, De Smedt, Defever et Reynvoet (2012) montrent que la réussite à des tâches numériques de base, comme la comparaison symbolique (chiffres arabes) et non-symbolique (matériel concret) et le placement de numérosités sur une ligne numérique, faisant intervenir le système numérique approximatif, est corrélée avec les compétences mathématiques. Le jeu, et notamment les jeux de plateaux, en permettant de

travailler ces compétences de bases serait donc un outil intéressant et utile à intégrer dans les programmes d'apprentissages.

L'entraînement des compétences mathématiques via un matériel numérique

Nous avons vu précédemment que les outils numériques suscitent de plus en plus d'intérêt, et notamment dans le domaine de l'éducation. Un enseignement via ces outils est-il préférable à un enseignement « classique » ? Kulik et Kulik (1991) se sont intéressés aux effets d'un enseignement prodigué via des ordinateurs et ont montré que, dans 81 % des études intégrées à leurs recherches, les élèves ayant reçu une instruction via un matériel informatisé montraient un taux de réussite supérieur aux élèves ayant bénéficié d'un enseignement classique. Ces résultats s'observent sur des populations allant de la maternelle à l'université.

D'autres équipes de chercheurs ont proposé des stimulations sur ordinateurs, basées sur une approche « exacte » ou « approximative » du traitement des nombres. Obersteiner, Reiss et Ufer (2013) ont ainsi recruté 147 élèves de classe préparatoire (6 ans), auxquels ils ont proposé trois types d'entraînements : un entraînement des représentations numériques exactes, un entraînement des représentations numériques approximatives et un entraînement proposant les deux types de représentations. Les stimulations ont été dispensées via un jeu suivant la même progression pour les trois entraînements. Leurs résultats ont montré une augmentation des performances des participants dans les processus numériques de base (subitizing, comparaison de quantités, comparaison symbolique, calcul approximatif) et dans les compétences mathématiques plus avancées (chaîne numérique, ordinalité, additions, soustractions, ligne numérique).

En plus des possibilités technologiques de création que l'outil informatique apporte, permettant de personnaliser les activités et de fournir des activités ciblées et spécifiques, l'ordinateur présente également une composante attractive et motivationnelle forte (Ke, 2008).

Carr (2012) s'est intéressé à l'usage de tablettes numérique (iPad) et de méthodes traditionnelles dans l'enseignement des mathématiques en classe de CM2. Cette étude, réalisée auprès d'enfants scolarisés aux Etats-Unis et âgés de dix à onze ans, n'a pu établir de différence significative entre les deux méthodes d'enseignement. Si une tablette numérique demeure plus pratique et intuitive à utiliser et à manipuler par des enfants qu'un ordinateur classique, l'intérêt de ce dispositif dans l'éducation des plus petits reste à être évalué.

Lien entre habiletés visuo-spatiales et apprentissages mathématiques

Les fonctions visuo-spatiales permettent de s'orienter dans l'espace, de percevoir les objets de notre environnement et de les organiser en une scène visuelle cohérente, d'imaginer mentalement un objet physiquement absent. Elles permettent de se construire une image mentale de notre environnement. Certaines habiletés visuo-spatiales comme l'organisation spatiale de la représentation numérique participent au développement des compétences mathématiques (Mix & Cheng, 2011 ; Hoffmann, Mussolin, Martin & Schiltz, 2014). En effet, selon Booth et

Siegler (2008) une bonne représentation spatiale des nombres permettrait de développer des capacités mathématiques plus élaborées.

Gunderson, Ramirez, Beilock et Levine (2012) ont mesuré les compétences visuo-spatiales d'enfants de CP et CE1 (six et sept ans), via une tâche de transformation spatiale. Ils ont montré que les résultats des élèves à cette épreuve sont prédictifs d'une évolution de leurs capacités à construire une ligne numérique mentale. Selon ces auteurs, les connaissances liées à cette ligne numérique sont corrélées aux performances arithmétiques deux ans plus tard. Néanmoins, comme nous l'avons vu plus haut, la ligne numérique mentale n'est pas la seule compétence visuo-spatiale en lien avec les habiletés mathématiques. Ainsi, Ansari et al. (2003), ont mis en évidence un lien entre la construction de patterns et le développement de la cardinalité. Zhang et Lin (2015), quant à eux, ont montré une corrélation entre discrimination de l'orientation et les compétences mathématiques en maternelle et primaire.

1.2.2. Données sur les effets d'un entraînement numérique précoce

De nombreuses recherches ont été conduites afin de déterminer les intérêts d'un entraînement spécifique, que ce soit dans le domaine cognitif, ou social. Néanmoins, afin de proposer des interventions efficaces, susceptibles de montrer des résultats valables, Ramey et Ramey (1998), ont établi une liste de principes à respecter. Il est ainsi important de connaître le contexte environnemental des participants par exemple, et d'évaluer les compétences initiales, afin de connaître les forces et faiblesses de la population étudiée. Ils ont rapporté que les interventions proposées de façon précoce dans le développement montraient de meilleurs et plus durables résultats que des interventions tardives. L'intensité et la flexibilité de l'enseignement sont aussi des paramètres importants à prendre en compte lors de l'administration d'un protocole d'entraînement spécifique. Ainsi, plusieurs paramètres doivent être contrôlés pour proposer des stimulations précoces et efficaces, influant sur le développement à long terme.

Les données actuelles de la littérature fournissent peu d'informations sur la persistance à long terme des effets d'un entraînement spécifique des habiletés mathématiques. Clements et Sarama (2013) se sont intéressés à cette problématique : après avoir validé l'efficacité d'un entraînement proposé à des enfants de quatre ans, ils ont cherché à repérer des effets, trois années plus tard. Les données récoltées n'ont pas pu confirmer de différence entre le groupe entraîné et le contrôle. Cependant, de légers effets (néanmoins significatifs) ont pu être retrouvés chez les enfants issus de faible milieu socio-économique, ce qui a permis à Clements et ses collaborateurs de conclure sur l'intérêt de proposer une intervention précoce chez les jeunes enfants issus de populations à risque.

Ramey et Ramey (2004) rapportent les résultats de leur programme pré-scolaire « *Abecedarian* ». Conduit sur une population d'enfants issus de milieux socio-économiques reconnus à risques, il consistait à proposer, dès six mois, un programme d'éducation spécifique, cinq jours par semaine sur cinquante semaines. Les résultats de cette étude ont montré que les enfants ayant bénéficié du programme avaient des résultats significativement supérieurs à ceux du groupe contrôle aux tests d'efficience cognitive proposés à la suite de l'entraînement. En suivant les enfants jusqu'à l'âge adulte, ils ont pu mettre en évidence que 70 % des enfants entraînés

exerçaient à des postes qualifiés, contre seulement 40 % dans le groupe contrôle, et qu'ils étaient plus susceptibles de faire des études longues (plus de quatre ans).

Ainsi, bien que le programme proposé ne concerne pas uniquement les mathématiques, les auteurs ont montré des effets significatifs et bénéfiques sur le long terme d'un entraînement précoce mais énoncent des conditions à respecter pour proposer un entraînement efficace : une bonne formation des éducateurs qui dispenseront l'entraînement, et un entraînement conduit de manière intensive sur une durée longue.

Ainsi, des résultats à long terme ont été observés dans des conditions d'études spécifiques et contrôlées, et préférentiellement dans des échantillons de populations issues de milieux défavorisés

1.3. L'enseignement des mathématiques en France

Améliorer les compétences des élèves dans le domaine mathématique est un enjeu crucial puisque, comme nous l'avons dit précédemment, la présence précoce d'habiletés numériques est un important prédicteur de réussite, dans les futures études qu'entreprendront les individus autant que dans leur futur exercice professionnel (Duncan et al., 2007 ; Romano, Babchishin, Pagani, & Kohen, 2010). Cependant, on constate, au regard des résultats de l'étude PISA 2015, (Programme International pour le Suivi des Acquis des élèves) que le nombre d'élèves français rencontrant des difficultés importantes dans le domaine des mathématiques est en augmentation. En effet, le pourcentage d'élèves en difficulté dans ce domaine est passé de 17% en 2003 à 24% en 2015. Si les résultats de la France restent dans la moyenne des pays de l'OCDE (Organisation de Coopération et de Développement Economiques), l'écart se creuse entre les élèves très performants et les élèves peu performants. De plus, la France se place parmi les pays de l'OCDE où les écarts entre les résultats des élèves issus de milieux socio-économiques défavorisés et ceux des autres élèves sont les plus grands (OCDE, PISA 2012).

C'est pour cette raison qu'il est nécessaire de repenser l'enseignement proposé aux élèves, dès la maternelle. C'est ce que le gouvernement a pour objectif de faire, notamment avec sa politique d'éducation prioritaire (voir le rapport final de l'évaluation sur la refondation de la politique de l'éducation prioritaire, 2014). En s'intéressant aux avancées scientifiques en matière de pédagogie et de développement de l'enfant, le gouvernement et l'éducation nationale souhaitent proposer aux élèves dès le plus jeune âge, un enseignement adapté et efficace, et en adéquation avec les nouvelles technologies maintenant à disposition de tout un chacun. Faire rentrer l'école dans l'ère du numérique est donc également un des objectifs de l'enseignement actuel en France, et ceci afin de proposer aux élèves des supports attrayants, intuitifs et ludiques.

L'enseignement des mathématiques est donc devenu une préoccupation majeure de l'éducation nationale. Les premières notions arithmétiques sont enseignées dès la maternelle, et les programmes s'adaptent régulièrement pour suivre les avancées des recherches scientifiques. Ainsi, selon Thévenot et Masson (2013), la meilleure façon d'acquérir des connaissances est d'allier un entraînement direct des procédures avec la découverte et la compréhension des concepts qui les sous-tendent : s'entraîner « à faire » et comprendre « pourquoi on le fait ». Pour

les mathématiques, il est important de travailler conjointement les différentes représentations d'un nombre (verbale, arabe, analogique). Ces notions se retrouvent dans le rapport de Villani et Torossian (2018), commandé par le gouvernement pour réagir à la situation de plus en plus inquiétante des élèves français dans le domaine mathématique. Ce rapport énumère 21 mesures à mettre en œuvre pour favoriser l'enseignement des mathématiques. Parmi ces dernières, on retrouve la nécessité de passer par la manipulation, la verbalisation puis l'abstraction dans l'apprentissage des mathématiques.

1.4. L'étude KIDS eStim

Ce mémoire s'inscrit dans le cadre de l'étude KIDS e-STIM lancée en 2017 sous la direction de Sandrine Mejjias, maître de conférences à l'Université de Lille, et neuropsychologue. En partenariat avec l'Université du Luxembourg, l'Ecole Supérieure du Professorat et de l'Éducation de Lille et le Ministère de l'Éducation Nationale et l'Université de Lille (Département d'Orthophonie et laboratoire SCAlab), l'objectif de cette étude interventionnelle est d'évaluer les effets d'un entraînement précoce des compétences numériques chez des enfants de moyenne et grande sections de maternelle (MSM et GSM) ainsi que d'analyser l'impact du type de support utilisé et du milieu socio-économique. L'ensemble de ce projet vise à récolter des informations qui permettront par la suite d'établir des programmes de stimulation précoce des compétences mathématiques pour les populations à risque de développer des difficultés ou troubles d'apprentissage dans le domaine numérique.

Durant l'année 2017/2018, des enfants issus d'écoles de la circonscription d'Arras ont été intégrés à l'étude. Se situant en milieux urbain et rural, ces écoles rassemblent des élèves issus de milieux socio-économiques divers. Après le recueil des autorisations parentales nécessaires pour débiter l'étude, les élèves ont chacun été évalués lors d'un pré-test, puis répartis dans trois groupes différents. La répartition a été faite dans le but de constituer des groupes homogènes, et comparables sur plusieurs aspects (âge, sexe, performance aux pré-requis mathématiques et habiletés visuo-spatiales).

Les enfants ont ensuite bénéficié d'un entraînement spécifique dispensé sur une période de dix semaines, à raison de deux sessions par semaine :

- Un entraînement des compétences mathématiques précoces et élémentaires selon l'une ou l'autre des modalités suivantes (les compétences entraînées sont similaires quelle que soit la modalité) :
 - o Entraînement classique à l'aide de jeux de plateau (entraînement type « papier-crayon »). Nous l'appellerons PMPC (Pré-requis Mathématiques Papier-Crayon).
 - o Entraînement sur tablette numérique, que nous appellerons PMT (Pré-requis Mathématiques Tablette).
- Un entraînement des compétences visuo-spatiales proposé sur tablette numérique, que nous appellerons HVS (Habilités Visuo-Spatiales).

Les enfants ont ensuite été évalués de nouveau lors des post-tests, comportant les mêmes épreuves que les pré-tests (à l'exception du test d'intelligence générale de la WNV, échelle non-verbale d'intelligence), afin que les résultats soient comparables.

2. Objectifs

Après avoir analysé statistiquement les premiers effets des entraînements sur les compétences des enfants de moyenne et grande sections de maternelle par la mesure de leur évolution entre les pré-tests et les post-tests, ce mémoire s'attachera à observer les résultats des enfants aux tests de maintien, c'est-à-dire aux tests effectués six mois après la fin des entraînements. En s'intéressant spécifiquement aux premières épreuves mathématiques formelles, nous essayerons de déterminer si un des trois entraînements proposés par l'étude Kid-eStim facilite l'apprentissage des premières notions mathématiques formelles enseignées en classe préparatoire.

3. Hypothèses

Au vu des données actuelles de la littérature, nous pouvons nous attendre à observer un effet positif de l'entraînement, quel que soit le support utilisé ou les compétences travaillées.

Chaque entraînement propose des activités ciblées sur des compétences spécifiques. Ainsi l'entraînement visuo-spatial propose des tâches de repérage spatial, de reconnaissance visuelle, d'orientation spatiale, de reproduction de figures tandis que l'entraînement des pré-requis mathématiques propose un travail de comptage et de transcodage. Nous nous attendons à ce que chaque groupe progresse préférentiellement dans les tâches mettant en jeu les compétences travaillées spécifiquement lors des séances d'entraînement.

De plus, bien que les recherches sur la persistance des bénéfices d'un entraînement spécifique des compétences numériques chez de jeunes enfants soient peu nombreuses, les études existantes montrent qu'un maintien des compétences est possible. C'est pourquoi nous espérons observer un maintien des tendances qui auront été relevées lors des analyses des pré- et post-tests.

Nous nous attacherons également à étudier les résultats des participants aux épreuves mathématiques formelles, introduites en début de cycle élémentaire (i.e. additions, soustractions) et à déterminer si un des trois types d'entraînement facilite la réussite à ses épreuves.

Méthodologie

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

Nous avons pu bénéficier de la collaboration de multiples partenaires, à savoir l'Université de Lille (Département d'Orthophonie et laboratoire 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.

Ce sont les étudiantes de cinquième année de l'année 2017/2018 qui ont débuté la partie pratique du projet, et qui tenaient le rôle d'expérimentateur pour les pré-tests et les différents entraînements. Nous sommes actuellement huit étudiantes de cinquième année à avoir pris la suite des expérimentations, pour les passations des post-tests en mai 2018 et des tests de maintien pendant les mois de septembre et octobre 2018. Nous avons ponctuellement reçu l'aide d'étudiantes d'autres années, venues dans le cadre de stages ayant pour objectif de participer à une recherche scientifique.

1. Population

Cent quatre-vingt-quinze enfants âgés de 3 ; 01 ans à 7 ; 02 ans, scolarisés dans huit classes différentes moyenne et grande sections de maternelle issues de cinq écoles publiques de la circonscription d'Arras (Nord) ont été initialement sélectionnés pour participer à l'étude. Ces écoles ont été sélectionnées pour représenter au mieux la population française générale : c'est pour quoi elles ne sont pas intégrées à un réseau d'éducation prioritaire et ne sont pas connues pour avoir un niveau d'éducation supérieur à la moyenne nationale. Les critères d'inclusions pour participer à l'étude étaient les suivants : une scolarisation en moyenne ou grande section de maternelle, le français devait être la langue maternelle, et l'enfant ne devait pas posséder de dossier MDPH.

Une fois les autorisations parentales récoltées, 172 enfants ont pris part à la passation des pré-tests. Puis, la répartition des élèves dans chacun des trois groupes d'entraînement s'est faite de façon à ce qu'ils soient appariés en âge et en terme de QI (analysé par le test d'intelligence présent dans les pré-test). 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 niveau scolaire (MS/GS), et en niveau de performance scolaire.

A l'issue de la période d'entraînement, et de la récolte des post-tests, les effectifs analysables étaient au nombre de 157. La Figure 2 présente le suivi des effectifs tout au long de l'étude. La récolte de données a repris dès octobre 2018, avec les passations des tests de maintien.

Les écoles maternelles ont été recontactées et ont accepté de nous accueillir à nouveau pour tester les enfants. Les écoles primaires de secteur, où s'est dirigée la majeure partie des élèves de GSM intégrés à l'étude ont été contactées et se sont vu expliquer le projet Kid-eStim. Si une école primaire a refusé de nous recevoir (une classe de CP de 30 élèves n'a donc pas pu être testée) la majorité des équipes éducatives que nous avons rencontrées se sont montrées accueillantes et intéressées par le projet et ses résultats. C'est pourquoi nous leur transmettrons les conclusions de nos recherches lorsque toutes les analyses auront été menées à terme.

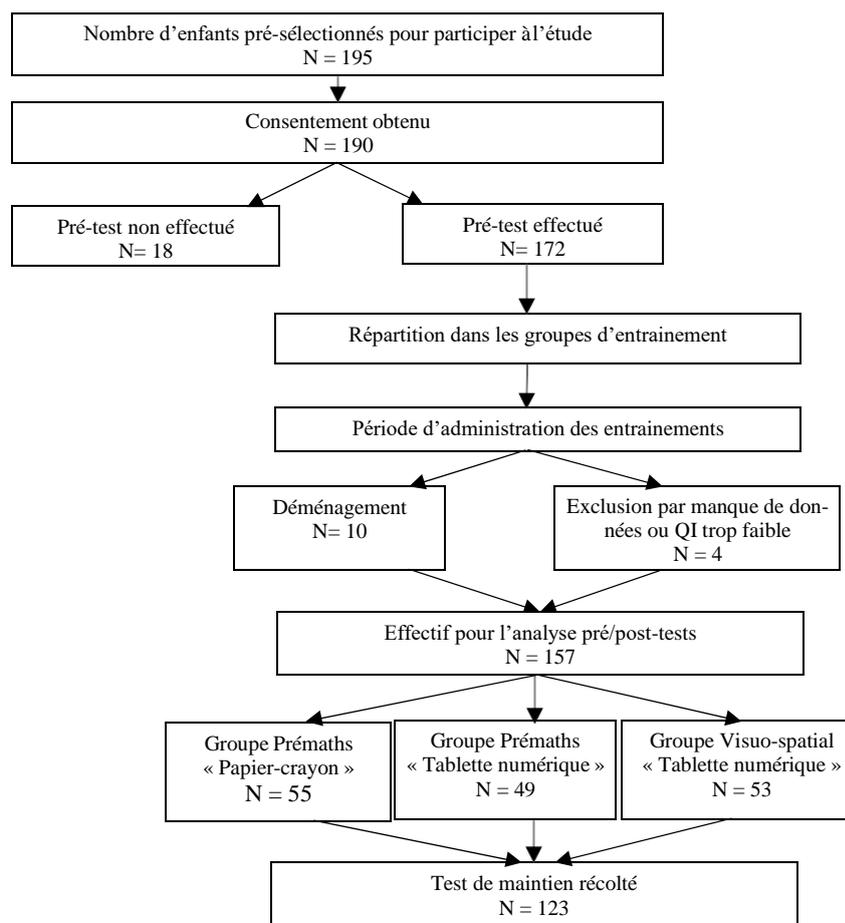


Figure 2. Suivi et répartition des effectifs.

Le Tableau 1 représente les effectifs des tests de maintien. Au total, 46 enfants ayant suivi les entraînements n'ont pas pu participer aux tests de maintien, soit parce qu'ils étaient absents lors de la passation des tests, soit parce qu'ils n'ont pas poursuivi leur scolarité dans leur école de secteur, soit parce qu'il n'a pas été possible d'effectuer les passations dans leur établissement.

Tableau 1. Effectifs des groupes de maintien.

	Enfants non testés	Enfants appartenant au groupe HVS	Enfants appartenant au groupe PMT	Enfants appartenant au groupe PMPC	Total
GSM	8	19	16	16	51
CP	38	18	22	32	72
Total		37	38	48	123

2. Matériel et procédure

2.1. Procédure

Les enfants sélectionnés pour participer à l'étude, dont les autorisations parentales avaient été récupérées ont pu être évalués à l'aide des pré-tests. A la suite de cette première évaluation, les élèves ont été équitablement répartis en trois groupes, équilibrés en termes de nombre de filles et de garçons, de niveau scolaire (MSM / GSM) et d'intelligence. Il était prévu que les résultats des pré-tests aident à cette répartition, mais les analyses ayant pris du retard, ce sont les enseignants respectifs de chaque classe qui ont réparti les enfants, grâce à leur connaissance des élèves.

Les différentes phases de l'intervention ont débuté en janvier 2018, lors de l'évaluation des enfants à l'aide des pré-tests, sur une durée de trois semaines. L'administration des trois types d'entraînement s'est étalée sur une durée de 10 semaines, à raison de deux sessions de 20 minutes par semaine. Les post-tests ont ensuite été réalisés en avril 2018, et la récolte de ces données a duré un mois. Les tests de maintien ont été proposés aux élèves de grande section de maternelle et de classe préparatoire dès octobre 2018, et se sont terminés à la fin du mois de novembre 2018.

2.2. Matériel

Administration et contenu des pré-tests et des post-tests

Le contenu des pré- et post-tests et l'organisation de l'étude suivant le modèle pré-test/entraînements/post-tests se sont en grande partie inspirés des travaux de Cornu et al. (2017). L'équipe luxembourgeoise s'est intéressée aux prédicteurs des compétences mathématiques et a élaboré un protocole d'entraînements précoces sur outil numérique, composé de stimulations numériques spécifiques et de stimulations visuo-spatiales.

Le matériel utilisé pour l'évaluation des enfants se composait d'un protocole imprimé destiné à être rempli par l'examineur, et d'un livret de passation, également sous format papier, destiné à l'enfant. Chaque examinateur avait en sa possession un classeur contenant les planches d'épreuves à présenter aux enfants.

Les enfants ont été testés individuellement, sur leur temps de classe, généralement dans une salle mise à notre disposition par l'école. La durée de passation allait de 40 à 60 minutes par enfant. Afin de limiter les biais liés à l'examineur et que chaque élève soit évalué dans les mêmes conditions, les consignes à donner à l'oral étaient spécifiées sur le protocole.

Les mêmes protocoles ont été utilisés pour les pré-tests et les post-tests. Seule l'épreuve évaluant l'intelligence non-verbale (épreuve des matrices non-verbales de la WNV) n'était présente que dans les pré-tests.

Les subtests ont été choisis pour évaluer les compétences cognitives générales telles que la mémoire et l'intelligence non-verbale, et les compétences cognitives numériques spécifiques (i.e. le SNP et le SNA). Le Tableau 2 ci-dessous détaille chacune des épreuves présentes dans les pré-tests et précise le descriptif de chaque tâche. Les différentes représentations numériques, selon le modèle de Dehaene (1992), utilisées dans chaque épreuve sont précisées en bleu.

Tableau 2. Epreuves administrées lors des pré-tests et des post-tests.

Compétences évaluées	Tâche	Description de la tâche
Intelligence générale	. Matrices non-verbales de la WNV	. Observer une matrice incomplète et choisir l'élément manquant parmi 4 ou 5 propositions
Aptitudes visuo-spatiales	. Orientation spatiale . Lequel est différent ? . Lesquels sont les mêmes ?	. Désigner la forme différente des autres . Désigner la forme identique au modèle
	. Relations spatiales	. Reproduire le modèle en reliant les points
SNP : Chaîne numérique et dénombrement	. Comptage libre (code verbal oral) . Comptage à partir de (code verbal oral) . Comptage en arrière (code verbal oral) . Quel est le chiffre manquant ? (code verbal oral) . « How Many Task » (représentation analogique → code verbal oral)	. Compter le plus loin possible à voix haute . Compter à voix haute à partir d'une borne . Compter à rebours à partir d'une borne . Compléter une série de nombres par celui qui manque . Dénombrer des éléments (ici, des cailloux)
Transcodage	. Lecture de nombres à voix haute (code arabe → code verbal oral)	. Lire un nombre écrit en code arabe
SNA : épreuves de comparaison de quantités	. Vitesse motrice	. Epreuve préalable aux 3 épreuves suivantes : barrer le plus vite possible la forme noire parmi 2 formes (noire et blanche)
	. Comparaisons symboliques à 1 chiffre (code arabe) . Comparaisons symboliques à 2 chiffres (code arabe) . Comparaisons non symboliques (patterns de points) (représentation analogique) . Ligne numérique	. Barrer le plus grand chiffre parmi 2 . Barrer le plus grand nombre parmi 2. . Barrer l'image contenant le plus de points parmi 2. . Placer un chiffre donné sur une ligne allant de 0 à 20

Gnosies digitales	. Epreuve de Galifret-Granjon	. Une des mains de l'enfant lui est cachée. L'examineur touche un des doigts et l'enfant doit montrer sur un modèle de quel doigt il s'agit.
Mémoire	. Mémoire de travail verbale : Empans envers . Mémoire à court terme visuelle : Epreuve de Corsi	. Répéter à l'envers une suite de noms de couleurs énoncée oralement par l'examineur . Désigner dans l'ordre d'apparition les boites bleues présentées précédemment, parmi un ensemble de boites.
Capacités additives	. Additions verbales avec support digital (représentation analogique et code verbal oral) . Additions verbales avec chiffres arabes (code arabe et code verbal oral)	. 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)

Le but des pré-tests était d'obtenir le profil cognitivo-numérique des participants. Afin de constituer des groupes d'entraînement homogènes, les résultats de ces tests auraient dû aider à la répartition des enfants dans chaque groupe. Cependant les analyses n'ont pu être réalisées avant la répartition.

Administration et contenu des entraînements

Les sessions d'entraînement ont été dispensées par les étudiantes de 5^{ème} année de 2017/2018, sur le temps de classe. Les enseignants des différentes classes ont pu participer à l'administration des entraînements et dans un souci d'équité et d'organisation, les élèves non intégrés à l'étude ont également pu prendre part aux activités, sans qu'aucune donnée ne soit récoltée les concernant.

Quatorze sessions d'entraînement ont été proposées dans chaque classe, et les élèves ont en moyenne participé à douze sessions d'entraînement de vingt minutes chacune. La moyenne de participation des enfants est équilibrée pour chaque groupe d'entraînement (Tableau 3). Pour éviter tout biais d'attachement, les expérimentateurs changeaient régulièrement de groupe d'entraînement.

Tableau 3. Moyenne du nombre de sessions administrées par enfant pour chaque entraînement

Groupe d'entraînement	Groupe HVS	Groupe PMT	Groupe PMPC
Nombre moyen de séances d'entraînement suivies	12,4	12,5	12,8

Le groupe PMPC (Pré-Mathématique Papier Crayon) proposait des activités de stimulations concrètes des compétences numériques précoces et préalables au développement des compétences mathématiques ultérieures. Des activités comme la manipulation de dé, de jetons et/ou de cartes ont été mises en place lors des sessions d'entraînement avec les enfants. En accord avec la littérature, et comme nous l'avons déjà vu précédemment, les jeux de plateau linéaires ont été préférés aux jeux de plateau circulaire (Siegler & Ramani, 2008). Les activités ont été conçues et choisies pour travailler les trois types de représentation issus du modèle de Dehaene, représenté plus haut dans ce mémoire : représentation analogique, verbale, arabe. Si les activités se voulaient répétitives, il y avait néanmoins une progression de difficulté, par augmentation de la numérosité (de trois en début d'entraînement à dix dès la quatrième semaine). Le détail des activités proposées dans ce groupe est consultable en Annexe 2 (A8).

Le groupe PMT (Pré-Mathématiques Tablette) proposait aux enfants des tâches de stimulations des compétences numériques, comparables aux tâches proposées dans le groupe PMPC. La progression et le type d'activité étaient appariés entre les deux groupes.

Les activités étaient accessibles sur les tablettes numériques via l'application « Ma-Grid » élaborée par l'équipe luxembourgeoise de Cornu et al. (2017). Un QR code unique pour chaque enfant a permis le suivi et l'anonymisation des données.

Si les tablettes proposaient un support uniquement visuel et non verbal (en proposant des numérosités sous forme arabe ou analogique), certaines activités nécessitaient néanmoins la présentation d'un livret modèle aux enfants, afin qu'ils puissent réaliser l'activité demandée. Les numérosités étaient dans ces cas-là présentées sous forme verbale. Les trois représentations numériques ont donc également été entraînées dans le groupe PMT. Les activités proposées, décrites en Annexe 2 (A9), ont été proposées de manière redondante, à l'instar des autres groupes, afin de favoriser les apprentissages.

Les enfants intégrés au groupe d'entraînement HVS (Habilités Visuo-Spatiales) ont également pu effectuer les tâches proposées sur tablette numérique, grâce à l'application « Ma-Grid » et l'identification par QR code. Les compétences visuo-spatiales étaient ici spécifiquement entraînées à travers des activités de repérage spatial, d'orientation, de représentation et manipulation mentale d'une image, de reproduction de modèles. Le détail des activités proposées se trouve en Annexe 2 (A10). Les résultats de ce groupe aux différents tests proposés permettront d'observer les impacts d'un entraînement visuo-spatial sur le développement des futures compétences mathématiques. Ces analyses se placeront dans la continuité des recherches menées par Cornu et ses collaborateurs (2017).

Administration et contenu des tests de maintien

Les tests de maintien ont été proposés aux participants six mois après la fin des entraînements. Ils ont donc concerné les élèves de grande section de maternelle et de CP, respectivement en moyenne section et grande section de maternelle durant l'année 2017/2018. Les tests ont été administrés sur les temps et lieu de classe des élèves. Les enfants ont cette fois-ci été testés en groupe, à raison d'une dizaine d'enfants par examinateur. La session de test durait généralement entre 45 et 60 minutes par groupe.

Le matériel utilisé pour l'évaluation des enfants se composait d'un livret de passation individuel, distribué à chaque enfant au début de la session d'examen et d'un carnet destiné aux expérimentateurs, contenant des consignes détaillées et les items d'évaluation. Certaines consignes étaient illustrées au tableau pour en faciliter la compréhension. Afin de limiter les biais liés à l'examineur et que chaque groupe d'élèves soit évalué dans les mêmes conditions, les consignes à donner à l'oral étaient spécifiées sur le protocole.

Les tests de maintien ont été conçus pour contenir les épreuves les plus sensibles selon la littérature actuelle, pour évaluer les compétences mathématiques. Le Tableau 4 présente chacune des épreuves proposées aux participants, et détaille leur contenu.

Les épreuves de combinaisons additives et de résolutions d'opérations n'ont été proposées qu'aux élèves de CP, puisqu'elles évaluaient les apprentissages mathématiques, abordé seulement à partir du cycle élémentaire.

Tableau 4. Epreuves administrées lors des tests de maintien.

Compétences évaluées	Tâche	Description de la tâche
Connaissances des chiffres	Jugement symbole numérique/symbole non-numérique Dictée de nombres	. Entourer les chiffres et barrer ce qui n'est pas un chiffre . Ecrire en chiffres arabes un nombre entendu à l'oral
SNA	Comparaison de chiffres arabes (1 et 2 chiffres) Ligne numérique	. Entourer le plus grand nombre parmi deux . Placer un chiffre donné sur une ligne allant de 0 à 20.
SNP	Dénombrement Combinaisons additives à 4, 5 et 6 Séries additives et soustractives en 1 minute	. Compter le nombre d'éléments dessinés . Trouver le chiffre manquant, pour que sur chaque ligne, l'addition des deux chiffres soit égale à un résultat donné. . Résoudre le plus d'opérations possible en 1 minute
Chaîne numérique	Ordinalité	. Juger si les chiffres sont rangés dans l'ordre (du plus petit au plus grand)
Habiletés visuo-spatiales	Orientation spatiale . Lequel est différent ? . Lesquels sont les mêmes ? . Relations spatiales	. Désigner la forme différente des autres . Désigner la forme identique au modèle . Reproduire le modèle en reliant les points

3. Traitement des données

A la fin des passations, pour les pré-tests et les post-tests, chacune des étudiantes de 5^{ème} année intégrées à l'étude a corrigé et encodé dans un unique tableur les protocoles qu'elle avait récoltés. La correction et l'encodage des protocoles ont chacun été soumis à une double vérification, afin d'éviter des erreurs dans les données finales.

Les données ont été analysées à l'aide du logiciel SPSS Statistic 25.

Résultats

1. Analyses pré/post-tests

Nous avons choisi de comparer les résultats obtenus par les élèves aux pré-tests et aux post-tests. Pour être plus facilement analysables et comparables, les scores bruts ont été convertis en valeur POMP (percent of maximum performance / pourcentage de performance maximale), et ramenés sur 1. Les tableaux d'analyses détaillés, disponibles en Annexe 1 (A1-A3), rassemblent les données statistiques concernant l'évolution de chacun des groupes aux différentes épreuves proposées lors des tests. Nous avons choisi d'effectuer trois sortes d'analyses : une comparaison des résultats obtenus par groupe pour les élèves de moyenne section de maternelle (A11), une comparaison des résultats obtenus par groupe pour les élèves de grande section de maternelle (A12) et une comparaison des résultats obtenus par groupe pour l'ensemble des enfants (A13).

Une analyse de variance ANOVA a été réalisée pour déterminer l'existence ou non d'une différence significative entre les moyennes des trois groupes. Si une telle différence existait, les tests post hoc de comparaison multiple ont été utilisés pour observer les différences inter-groupes. Nous avons utilisé deux tests de différence significative. D'un côté, le test LSD (least significant difference), utilisé pour tester l'hypothèse nulle que toutes les moyennes de la population sont égales. Il s'agit d'une méthode utilisée pour contrôler les erreurs de type I lorsque l'on compare plusieurs paires de moyennes. D'un autre côté, le test de Bonferroni, qui utilise le test t de Fischer pour comparer les moyennes des groupes deux à deux et ajuste le degré de signification en divisant 0,05 par le nombre de comparaisons à effectuer. Il diminue donc le risque de commettre une erreur de type I. C'est celui que nous privilégierons dans les analyses qui suivent.

Tâches visuo-spatiales

Dans les tâches visuo-spatiales, en observant la différence des moyennes (réalisées avec les valeurs POMP pour chaque épreuve) entre le post-test et le pré-test, nous constatons une progression des trois groupes d'entraînements (Orientation spatiale : HVS = .11 ; PMT = .02 ; PMPC = .05 ; Relation spatiale : HVS = .12 ; PMT = .08 ; PMPC = .10). Il existe une différence

d'évolution significative entre les groupes à l'épreuve d'orientation spatiale, $p = .038$ (voir A13), par rapport au groupe PMT (Tableau 5).

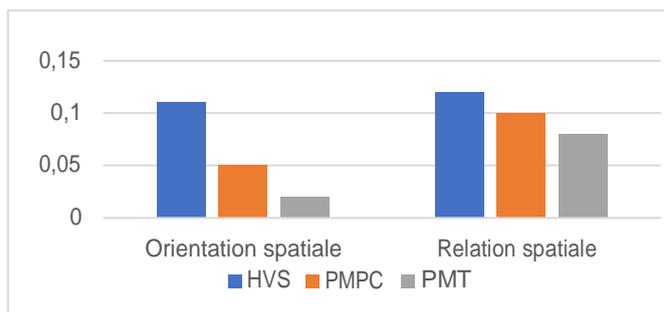


Figure 3. Moyennes d'évolution dans les épreuves visuo-spatiales pour les trois groupes d'entraînement.

Tableau 5. Test de différence significative de Bonferroni à l'épreuve d'orientation spatiale.

		<i>p-valeur.</i>
<i>Groupe HVS</i>	Groupe PMT	.038
	Groupe PMPC	.256
<i>Groupe PMT</i>	Groupe HVS	.038
	Groupe PMPC	1.000
<i>Groupe PMPC</i>	Groupe HVS	.256
	Groupe PMT	1.000

Tâches de traitement numérique approximatif

En ce qui concerne les épreuves se rapportant au système numérique approximatif, les trois groupes progressent dans les épreuves de comparaison symbolique à 1 et 2 chiffres (1 chiffre : HVS = 1.40 ; PMT = 1.94 ; PMPC = 2.57 ; 2 chiffres : HVS = 1.15 ; PMT = 2.00 ; PMPC=1.07) et non-symbolique (HVS = 3.66 ; PMT = 3.41 ; PMPC = 2.89) (Annexe 1, A3). En moyenne section, on observe une progression significative du groupe d'entraînement PMT à l'épreuve de comparaison symbolique à 1 chiffre ($p = 0.037$) par rapport au groupe d'entraînement visuo-spatial (Figure 4)

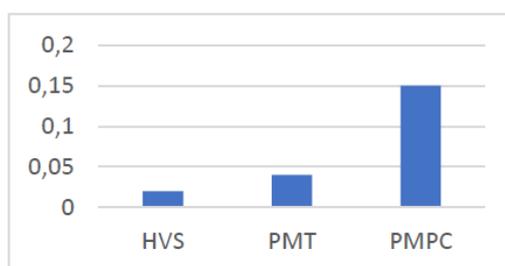


Figure 4. Moyennes d'évolution des trois groupes d'entraînement à l'épreuve de comparaison symbolique à un chiffre chez les MSM

Tâches évaluant la maîtrise de la chaîne numérique

Dans les épreuves de manipulation de la chaîne numérique, les groupes ayant suivi les entraînements pré-mathématiques semblent progresser davantage que le groupe HVS (Figure 5).

En effet, à l'épreuve de comptage libre, le groupe PMPC progresse significativement plus que le groupe HVS, $p = .015$. De plus, la différence entre le groupe PMPC et PMT est marginale, très proche du seuil significatif ($p = .064$) (Tableau 5).

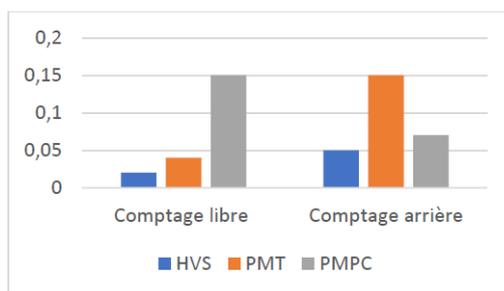


Figure 5. Moyennes d'évolution des trois groupes aux épreuves de comptage libre et comptage arrière

Tableau 6. Test de différence significative de Bonferroni à l'épreuve de comptage libre.

		<i>p-valeur</i>
<i>Groupe HVS</i>	Groupe PMT	1.000
	Groupe PMPC	.015
<i>Groupe PMT</i>	Groupe HVS	1.000
	Groupe PMPC	.064
<i>Groupe PMPC</i>	Groupe HVS	.015
	Groupe PMT	.064

A l'épreuve de comptage arrière, ou décomptage, on observe une progression plus importante du groupe PMT (HVS=.05 ; PMT=2.00 ; PMPC=1.07). La différence n'est pas significative ($p = .055$), mais elle est marginale (Annexe 1, A3). Il semble donc important de le noter.

Si l'on regarde les comparaisons de groupes par classes, on observe que les mêmes tendances se dégagent chez les élèves de grande section de maternelles. Les différences intergroupes ne sont pas significatives, mais elles sont néanmoins marginales, (pour l'épreuve de comptage libre, $p = .072$; pour l'épreuve de comptage arrière, $p = .078$) (voir Annexe 1, A2)

2. Analyse des tests de maintien

Pour l'analyse des tests de maintien, nous avons choisi de calculer les moyennes des résultats des enfants pour chaque épreuve. Nous avons ensuite comparé ces moyennes par groupe d'entraînement.

En suivant le même schéma que pour l'analyse des pré- et post-tests, une analyse ANOVA a été effectuée, permettant d'objectiver ou non une différence significative entre les groupes. Les tests post hoc ont permis de comparer chacun des groupes, deux à deux, afin de déterminer s'ils se différencient les uns des autres.

Afin de pouvoir répondre à nos hypothèses, concernant les effets de l'entraînement sur le développement des compétences nécessaires à l'entrée dans les apprentissages formels en classe préparatoire, les résultats ont été analysés par classe (grande section de maternelle et CP). Nous commencerons par l'analyse des résultats des élèves de grande section de maternelle.

Analyse des résultats obtenus par les élèves de grande section de maternelle

Dans les analyses ANOVA (déterminant ou non une différence intergroupe), il n'apparaît pas de différence significative entre les trois groupes d'entraînement aux épreuves de connaissance des chiffres (i.e. identification de chiffres et dictée, respectivement $F(2) = .17, p = .848$ et $F(2) = .50, p = .611$), comparaison arabe ($F(2) = 2.39, p = .103$), de dénombrement ($F(2) = .37, p = .691$) ou d'habiletés visuo-spatiales (i.e. jugement de similarité et jugement de différence, respectivement $F(2) = .87, p = .424$ et $F(2) = .211, p = .811$).

On retrouve une différence significative entre les groupes à l'épreuve de maîtrise de la chaîne numérique, épreuve d'ordinalité, $F(2) = 2.54, p = .089$. Cette différence est en faveur du groupe PMPC sur le groupe HVS.

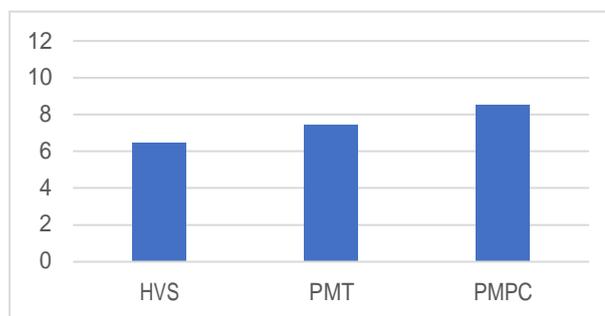


Figure 6. Moyennes des scores obtenus à l'épreuve d'ordinalité des tests de maintien pour les trois groupes, en GSM

A l'épreuve de comparaison de nombres arabes, les analyses LSD révèlent une différence entre les groupes HVS et PMPC, $p = .036$, en faveur de l'entraînement des pré-requis mathématiques via un support classique (Tableau 7)

Tableau 7. Analyse LSD de différence significative des moyennes des trois groupes à l'épreuve de comparaison de nombres arabes, en GSM

Epreuve	Type d'analyse	Groupe (1)	Groupe (2)	Différence des moyennes (1-2)	p-valeur
CpaPOMP	LSD	HVS	PMT	-.079	.201
			PMPC	-.131	.036
		PMT	HVS	.079	.201
			PMPC	-.052	.414
		PMPC	HVS	.131	.036
			PMT	.052	.414

Analyse des résultats obtenus par les élèves de classe préparatoire

Tableau 8. Résultats de l'analyse ANOVA des tests de maintien, chez les CP.

Epreuves	ddl	F	<i>p-valeur</i>
IdChiffresPomp	2	.631	.535
DictéePomp	2	1.416	.250
CpaPomp	2	.512	.602
DénombrPomp	2	2.139	.126
OrdinalitéPomp	2	.292	.748
MaisonPomp	2	.359	.700
Calculs rapides	2	.377	.687
LeqDifPomp	2	3.355	.041
LeqMemePomp	2	.812	.448

Ainsi, nous n'observons pas de différences significatives aux épreuves de connaissances de chiffres (identification de chiffres et la dictée). L'épreuve évaluant la connaissance de la chaîne numérique (épreuve « ordinalité »), ne montre également pas de différence significative. L'épreuve de comptage (i.e. « dénombrement ») et de comparaison symbolique (i.e. « cpa »), n'ont pas permis de différencier les trois groupes.

Dans les tâches visuo-spatiales, si nous n'observons pas de différence à l'épreuve de jugement de similarité, il existe néanmoins une différence significative à l'épreuve de jugement de différence $F(2) = 3.355$, $p = .041$ (Tableau 8). Le groupe PMPC obtient des résultats significativement supérieurs au groupe HVS à cette épreuve (Figure 8)

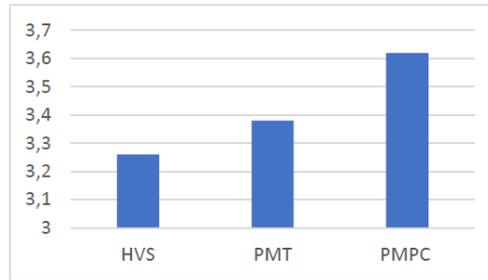


Figure 8. Moyennes des trois groupes à l'épreuve de jugement de différence des tests de maintien, en CP.

Les épreuves de calculs (subtests « maison » et « calculs rapides »), évaluant les compétences mathématiques formelles, n'ont pas montré de différence significative entre les groupes (respectivement $F(2) = .359, p = .700$ et $F(2) = .377, p = .687$).

Discussion

1. Discussion des résultats

Les analyses présentées ci-dessus semblent être en accord avec notre première hypothèse, supposant qu'un entraînement spécifique dans un domaine améliore spécifiquement les compétences dans ce domaine.

Les analyses des pré/post-test montrent de ce fait une évolution plus importante du groupe HVS par rapport au groupe PMT aux épreuves d'orientation spatiale et de relation spatiale. D'autre part, les entraînements pré-mathématiques (PMPC et PMT) semblent favoriser une amélioration des compétences en manipulation de la chaîne numérique. En effet, les résultats à l'épreuve en comptage libre montrent une évolution positive plus conséquente chez le groupe PMPC que chez le groupe HVS. Il en est de même pour les résultats des épreuves de comptage à rebours, bien que la réalisation de cette tâche ne soit pas spécifiquement entraînée lors des entraînements PMPC, mais entraînée dans les groupes PMT. Cela semble aller dans le sens d'une amélioration globale de la maîtrise de la chaîne numérique avec un entraînement spécifique des compétences mathématiques. En moyenne section de maternelle, le groupe PMT améliore ses compétences de traitement approximatif, à l'épreuve de comparaison symbolique à un chiffre, de façon plus importante que les autres groupes.

Il est important de préciser que, d'après la littérature, un travail des compétences visuo-spatiales permettrait également l'amélioration de la ligne numérique mentale, et des capacités de résolutions de problèmes (Crollen & Noël, 2017). Néanmoins nous n'observons pas ici d'amélioration préférentielle du groupe HVS à l'épreuve de placement de numérosités sur une ligne numérique mentale.

De plus, nous n'observons pas d'amélioration préférentielle d'un groupe par rapport à un autre aux épreuves évaluant des compétences mathématiques plus avancées (ex. addition

avec support digital, addition avec support arabe) dans les analyses pré/post-tests. Puisque ces compétences n'ont pas été précisément travaillées dans les différents entraînements et qu'il s'agit de tâches nécessitant un apprentissage formel, ces résultats sont cohérents.

En ce qui concerne l'analyse des tests de maintien des élèves de grande section de maternelle, l'épreuve d'ordinalité est mieux réussie par les élèves du groupe PMPC que par les élèves du groupes HVS en grande section de maternelle. Cette tendance avait déjà été remarquée dans les analyses pré/post-tests, dans la population totale, et chez les élèves de grande section de maternelle, mais pas chez les élèves de moyenne section de maternelle. Il pourrait donc s'agir d'un effet à long terme des entraînements.

L'épreuve de comparaison symbolique montre de meilleures performances du groupe PMPC par rapport au groupe HVS chez les élèves de grande section de maternelle. Lors de l'analyse pré/post-tests, le groupe PMT obtient une évolution plus importante que les autres groupes à cette épreuve, en MSM. Ces observations sont en faveur d'un bénéfice d'un entraînement pré-mathématique, quel que soit le support, sur les compétences d'estimation et de comparaison.

En ce qui concerne l'analyse des tests de maintien des élèves de classe préparatoire, le groupe PMPC obtient une moyenne supérieure au groupe HVS à l'épreuve visuo-spatiale de jugement de différence. Alors que le groupe HVS avait montré une évolution plus importante que les autres groupes à cette épreuve lors de l'analyse pré/post-test, de telles observations semblent aller dans le sens d'un non-maintien des compétences entraînées dans le groupe HVS.

Ainsi, nous observons, six mois après les dernières sessions de travail en groupe, des effets persistants des entraînements, principalement chez les élèves ayant participé aux groupes de stimulations pré-mathématiques. Ces observations laissent présager un maintien des compétences entraînées dans le temps. Néanmoins, le nombre d'épreuves révélant une différence significative entre les groupes est assez faible, et d'autres études devront être menées, afin de confirmer nos premières observations.

Enfin, nous avons émis l'hypothèse qu'un des entraînements favoriserait l'entrée dans les apprentissages arithmétiques formels. Néanmoins, aucun groupe ne montre de résultats significativement supérieurs aux autres aux épreuves de calculs (i.e. « maison » et « calculs rapides ») en CP.

2. Discussion méthodologique

Population

Au début de cette étude, 195 enfants étaient susceptibles de participer aux entraînements. Après recueil des autorisations parentales, 175 enfants ont été répartis dans les trois groupes d'entraînement. Néanmoins, les effectifs totaux des analyses pré/post-tests étaient

de 157 enfants. En effet, ont été retirés de l'étude les enfants dont les résultats aux tests d'intelligence générale de la WNV se sont révélés trop faibles, les enfants ayant changé d'établissement pendant la période d'entraînement et qui ne pouvaient donc plus être suivis, et les enfants pour lesquels il manquait des données (absence lors des pré- ou post-tests).

Les effectifs en début d'entraînement se composaient de 103 garçons et 67 filles. La population n'était donc pas équilibrée en terme de sexe. Afin de compenser cette inégalité, les garçons et les filles ont été répartis équitablement dans chacun des trois groupes.

Au total, 123 protocoles de maintien ont pu être récoltés en octobre 2018. Cet effectif se composait de 51 élèves de grande section de maternelle, et 72 élèves de classe préparatoire. Au niveau des effectifs des groupes d'entraînement, on retrouvait 37 enfants issus du groupe HVS, 38 enfants issus du groupe PMT et 48 enfants issus du groupe PMPC. Si la taille de la population reste valable pour les analyses, elle est réduite par rapport aux à celles des analyses pré/post-tests. Cette perte s'explique notamment par les déménagements d'élèves entre les deux années scolaires sur lesquelles s'est étalée l'étude, et par les absences des élèves lors des passations. En effet, l'organisation des passations entre les écoles et les examinateurs ne permettait pas de revenir deux fois dans une même école pour tester les enfants absents. De plus, une école élémentaire a refusé de participer à la suite de l'étude, nous empêchant ainsi de récolter les données pour une classe entière de CP.

Les enfants ont été recrutés dans des écoles faisant partie de la circonscription d'Arras, en milieu urbain et rural. Les participants étaient donc issus de milieux socio-économiques variés. Cependant, aucune des écoles intégrées à l'étude ne faisait partie d'une zone d'éducation prioritaire (ZEP). En effet, un nouvel échantillon sera recruté l'année prochaine, et l'étude sera reconduite auprès d'enfants issus de milieux socio-économiques défavorisés, afin d'observer le bénéfice d'entraînements précoces des compétences mathématiques auprès de cette population.

Administration des tests

Les tests ont été administrés par les étudiantes en cinquième année d'orthophonie. Les protocoles détaillés, comportant des consignes claires et notifications d'arrêt précises ont permis aux examinatrices de proposer aux participants les mêmes conditions de passation. Néanmoins, lorsque les consignes semblaient ne pas être comprises par les enfants, les examinatrices se permettaient de reformuler l'exercice, afin d'être sûres d'évaluer vraiment les compétences des enfants.

Les épreuves proposées dans les tests se voulaient générales et globales, afin de tester les compétences numériques précoces les plus intéressantes à observer pour étudier le développement mathématique futur. Ainsi, les tests comportaient des épreuves évaluant la connaissance des nombres et de la chaîne numérique mentale, le dénombrement, le transcodage, les compétences de comparaison symbolique et non-symbolique, les habiletés visuo-spatiales, les compétences en calcul.

Au niveau des conditions de passation des tests, il est important de préciser qu'elles

différait en fonction des écoles. En effet, les examinatrices étaient parfois contraintes de se retrouver à plusieurs dans une même salle pour effectuer les passations. De ce fait, l'environnement était plus bruyant, influant sur la concentration des enfants. Il s'agit donc d'un biais attentionnel à prendre en compte.

Limites de l'étude et proposition d'amélioration

Organisation

Au niveau de la coordination et de la mise en place de l'étude, plusieurs difficultés ont été rencontrées.

D'une part, la distance entre les examinateurs (les étudiantes en 5^{ème} année, résidant à Lille) et les différentes écoles (Arras et sa périphérie) a compliqué l'organisation des passations de tests et des entraînements. Les écoles se situant pour la plupart en périphérie d'Arras, un véhicule était nécessaire pour s'y rendre, et seulement quelques-unes des étudiantes en possédaient un. C'est pourquoi il a été difficile de se déplacer une seconde fois lorsque des enfants étaient absents (lors des entraînements ou des tests). Il était ainsi nécessaire de tester un maximum d'enfants d'une école lors d'un déplacement, et c'est pourquoi les élèves se sont parfois retrouvés en surnombre dans une même salle lors de la passation des pré- et post-tests.

D'autre part, les écoles et les enseignants avaient également des obligations et ne pouvaient pas forcément accueillir les étudiantes lorsqu'elles étaient disponibles. Il a été difficile de se coordonner à ce niveau-là également.

C'est pourquoi, pour faciliter l'organisation des futures études qui prendront la suite de la nôtre, il serait profitable de rapprocher les différents intervenants. Cela permettrait notamment de tester moins d'enfants en même temps et de réduire le biais attentionnel évoqué plus haut.

Effectifs

Nous avons constaté également une perte importante d'effectif au cours de l'étude. Certaines de ces pertes étaient liées aux difficultés d'organisation dont nous avons parlé précédemment, d'autres sont la conséquence de déménagements en cours d'année. Cette dernière variable est difficilement contrôlable. Outre ces motifs, une classe entière de classe préparatoire a été perdue lors de la récolte des données des tests de maintien, car une école élémentaire a refusé de participer à notre étude. Cette difficulté aurait pu être anticipée, en contactant plus tôt les écoles élémentaires où les participants étaient susceptibles de continuer leur scolarité, afin de leur expliquer en amont les objectifs de l'étude et sa mise en place, et de répondre à leurs questions.

Méthodologie

Concernant la méthodologie, la présence d'un groupe contrôle aurait pu être intéressante. En comparant les résultats des enfants ayant bénéficié d'un entraînement des habiletés visuo-spatiales ou mathématiques avec ceux d'enfants ayant reçu une intervention

dans un autre domaine, nous aurions pu déterminer si une partie des progrès observés était liée au développement normal, ou était le corollaire de l'intervention. Dans la présente étude, nos analyses se sont donc concentrées sur la comparaison des résultats des trois groupes aux différentes épreuves. Si l'absence d'un groupe contrôle ne modifie pas la validité de nos conclusions, sa présence aurait permis de déterminer l'impact des entraînements dans les épreuves ou les trois groupes ont évolué de façon similaire.

3. Poursuite de l'étude

L'intervention présentée dans ce mémoire a été réalisée auprès d'un échantillon de population issu de milieux socio-économiques variés. Or dans leur étude, Ramani et Siegler (2011) ont comparé l'évolution des capacités mathématiques chez des enfants venant d'un milieu aisé, et chez des enfants venant d'un milieu défavorisé. Ces enfants ont tous bénéficié de stimulations mathématiques via des activités de jeux de plateaux linéaires, et les résultats ont mis en évidence une amélioration plus importante chez les enfants provenant de milieux socio-économiques faibles que chez les enfants issus d'un milieu plus aisé. Ainsi, afin de reproduire et confirmer les résultats observés par Ramani et Siegler (2011), la présente étude sera prochainement reconduite auprès d'un échantillon de population issu d'écoles appartenant au Réseau d'Education Prioritaire des Hauts-de-France, mais également auprès d'une population issue de milieu socio-culturels plus aisés.

L'analyse combinée des interventions conduites auprès de ces différents environnements socio-culturels permettra de déterminer les bénéfices de chaque entraînement et des différents supports selon le contexte social dont proviennent les enfants. Les conclusions de ces analyses pourront permettre d'identifier les supports et activités les plus profitables aux élèves et pourront par la suite être utilisées dans l'adaptation des programmes scolaires et des supports pédagogiques.

4. Apport de l'étude pour la pratique orthophonique

Les champs de compétences de l'orthophoniste sont nombreux, et la prise en charge des troubles de la cognition mathématique est l'un d'entre eux. Mais, au-delà de proposer des prises en charge rééducatives, l'orthophoniste peut également être amené à mettre en place des actions de prévention des troubles. En s'attachant à déterminer les compétences précoces les plus intéressantes à stimuler chez le jeune enfant pour faciliter le développement des compétences mathématiques, cette étude apporte des résultats et conclusions qui pourront être utilisés dans un objectif préventif.

Qui plus est, le domaine de la cognition mathématique est entré assez récemment dans le domaine d'action de l'orthophoniste, et beaucoup d'entre eux n'ont pas été formés à ces prises en charge dans leur cursus initial. Cette étude (et les recherches qui suivront) en apportant de nouvelles données dans ce domaine, participe à l'avancée des connaissances sur le développement et le fonctionnement de la cognition mathématique. Les données issues de l'étude Kid-eStim pourront être utilisées pour l'élaboration de batteries d'évaluation, ou de matériels de rééducation.

Conclusion

Le projet Kids-eStim a pour objectif d'étudier les effets d'un entraînement précoce des compétences mathématiques et d'en observer les effets à long terme (6 mois après la fin des entraînements).

En 2017, 172 enfants de moyenne et grande section de maternelle ont été intégrés à cette étude. Ils ont été répartis dans 3 groupes d'entraînement, proposant chacun des stimulations spécifiques : un groupe d'entraînement des habiletés visuo-spatiales, un groupe d'entraînement des prérequis mathématiques via un support de type numérique et un entraînement des prérequis mathématiques via un support de type concret et manipulable (papier-crayon). Ils ont été évalués à trois reprises : par des pré-tests, avant le début des entraînements, par des post-test (similaires aux pré-tests, afin que les résultats soient comparables), à la fin des entraînements, et enfin par des tests de maintien, six mois après les entraînements.

Les comparaisons des résultats aux pré- et post-tests ont montré des améliorations significatives des participants préférentiellement dans les domaines pour lesquels ils ont reçu un entraînement spécifique. Ainsi, un entraînement des habiletés visuo-spatiales améliore les compétences aux tâches de repérage et d'orientation spatiale, tandis qu'un entraînement des compétences de base en mathématique améliore la réussite à certaines tâches faisant intervenir les systèmes numériques approximatif et précis.

L'analyse des tests de maintien a montré des effets persistant des entraînements pré-mathématiques et HVS pour certaines épreuves. Néanmoins, les effets observés sont peu nombreux. L'analyse des résultats n'a pas permis de différencier les trois groupes d'entraînement dans les épreuves mathématiques formelles (additions et soustractions).

Ainsi, l'administration d'entraînements spécifiques intensifs, et sur une longue durée a montré des résultats allant dans le sens de la littérature, et de nos hypothèses. Néanmoins, et particulièrement pour les analyses du maintien des compétences, les effets ne sont pas aussi marqués que nous pouvions l'espérer. C'est pourquoi d'autres recherches pourront s'inspirer de cette étude et de nos suggestions afin de mettre en œuvre des protocoles d'expérimentation plus sensibles.

Une autre étude, dans la continuité de celle présentée dans ce mémoire, et toujours dans le cadre du projet Kid-eStim, devrait se mettre en place l'année prochaine, en reproduisant la même expérience dans des écoles situées en zones d'éducation prioritaire, puisque les données issues de la recherche montrent des bénéfices plus importants de ce type de stimulation chez des populations issues de milieux socio-économiques défavorisés.

Références bibliographiques

- Ansari, D., Donlan, C., S.C. Thomas M., Ewing, S., Peen, T., & Karmiloff-Smith, A. (2003). What makes counting count ? Verbal and visuo-spatial contributions to typical and atypical number development. *Journal of experimental child psychology*, 85, 50-62. doi : 10.1016/S0022-0965(03)00026-2.
- Booth, J., & Siegler, R. (2008). Numerical magnitude representations influence arithmetic learning. *Child Development*, 79, 1016 – 1031.
- Bulletin officiel de l'éducation nationale. (2015). Programme de l'école maternelle (No. 2). Ministère de l'éducation nationale, de l'enseignement supérieur et de la recherche.
- Cantlon, J. F., Brannon E. M., Carter E. J., & Pelphey K. A. (2006). Functional Imaging of Numerical Processing in Adults and 4-Y-Old Children. Édité par Stanislas Dehaene. *PLoS Biology*, 4(5) e125. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.0040125>.
- Carr, J. (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(1), 269-286.
- Clements D. H., Sarama J., Wolfe C. B., & Spitler M. E. (2013) Longitudinal Evaluation of a Scale-Up Model for Teaching Mathematics With Trajectories and Technologies: Persistence of Effects in the Third Year. *American Educational Research Journal* 50(4), 812 – 850
- Cornu, V., Schiltz, C., Pazouki, T., & Martin, R. (2017). Training early visuo-spatial abilities: A controlled classroom-based intervention study. *Applied Developmental Science*, 23(1), 1-21.
- Crollen, V., Noël, M-P. (2017) How does space interact with numbers ?. Dans : M. S. Khine, *Visual-spatial ability in STEM education. Transforming research into practice* (p. 241-263). Switzerland :, Springer International Publishing Switzerland
- Dehaene, S. (1992). « Varieties of Numerical Abilities ». *Cognition* 44 (1-2), 1-42. [https://doi.org/10.1016/0010-0277\(92\)90049-N](https://doi.org/10.1016/0010-0277(92)90049-N)
- Dehaene, S. (2011). *The number sense: How the mind creates mathematics* (Revised and Updated Edition).
- Deshaies, I., Miron, J.-M., & Masson, S. (2015). Comprendre le cerveau des élèves pour mieux les préparer aux apprentissages en arithmétique dès le préscolaire. *ANAE*, (134).
- Duncan, G. J., Dowsett, C. J., Claessens, A., Magnuson, K., Huston, A. C., Klebanov, P., ...

- Japel, C. (2007). School readiness and later achievement. *Dev Psychol*, 43(6), 1428-1446. doi: 10.1037/0012-1649.43.6.1428
- Fayol, M., Perros, H., & Seron, X. (2004). Les représentations numériques: caractéristiques, troubles et développement. Dans M. Metz-Lutz, E. Demont, C. Seegmuller, M. de Agostini, & N. Bruneau (Eds.), *Développement cognitif et troubles des apprentissages: évaluer, comprendre et prendre en charge* (pp. 69–107). Marseille, France : Solal.
- Fayol, M. (2013). *L'acquisition de l'écrit : « Que sais-je ? »* (n° 3970) Paris, France : Presses universitaires de France.
- Feigenson, L., Dehaene S., & Spelke E. (2004). Core Systems of Number. *Trends in Cognitive Sciences*, 8(7), 307-14. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2004.05.002>.
- Gunderson, E. A., Ramirez, G., Beilock, S. L., & Levine, S. C. (2012). The relation between spatial skill and early number knowledge: The role of the linear number line. *Developmental Psychology*, 48(5), 1229-1241. <http://dx.doi.org/10.1037/a0027433>
- Hoffmann, D., Mussolin, C., Martin, R., & Schiltz, C. (2014). The Impact of Mathematical Proficiency on the Number-Space Association. *PLoS ONE*, 9(1), e85048. doi: 10.1371/journal.pone.0085048
- Izard, V., Sann C., Spelke E. S., & Streri A. (2009). Newborn Infants Perceive Abstract Numbers. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(25), 10382-85. <https://doi.org/10.1073/pnas.0812142106>.
- 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), 75-94.
- Lipton, J. S., & Spelke, E. S. (2003) Origins of Number sense : large-number discrimination in human infants. *Psychological Science*, 14(5), 396-401. <https://doi.org/10.1111/1467-9280.01453>
- 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.
- Mix, K. S., & Cheng, Y.-L. (2011). The relation between space and math : developmental and educational implications. *Advances in child development and behavior*, 42, 197-243.
- 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.

OCDE (2014), *Résultats du PISA 2012 : Savoirs et savoir-faire des élèves (Volume I) : Performance des élèves en mathématiques, en compréhension de l'écrit et en sciences*, PISA, Éditions OCDE, Paris, France. Repéré à : <http://dx.doi.org/10.1787/9789264208827-fr>.

OCDE. (2016). *PISA 2015, résultats à la loupe*. Repéré à <https://www.oecd.org/pisa/pisa-2015-results-in-focus-FR.pdf>

OCDE (2016), *Résultats du PISA 2015 (Volume I) : L'excellence et l'équité dans l'éducation*, PISA, Éditions OCDE, Paris, France. Repéré à : <http://dx.doi.org/10.1787/9789264267534-fr>

Östergren, R., & Träff, U. (2013). Early number knowledge and cognitive ability affect early arithmetic ability. *Journal of experimental child psychology*, 115(3) 405-421.

Passolunghi, M. C., Vercelloni, B., & Schadee, H. (2007). The precursors of mathematics learning: Working memory, phonological ability and numerical competence. *Cognitive Development*, 22(2), 165-184.

Piaget, J., & Szeminska, A. (1941). *La genèse du nombre chez l'enfant*. Oxford, Royaume-Uni: Delachaux, Niestle.

Piazza, M., Facoetti, A., Trussardi, A. N., Berteletti, I., Conte, S., Lucangeli, D., ... Zorzi, M. (2010). Developmental trajectory of number acuity reveals a severe impairment in developmental dyscalculia. *Cognition*, 116, 33-41

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. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8624.2007.01131.x>

Randel, J. M., Morris, B. A., Douglas Wetzel, C., & Whitehill, B. V. (1992) The effectiveness of Games Educational Purposes : a review of recent research. *Stimulation Gaming*, 23(3), 261. DOI: 10.1177/1046878192233001

Ramey, C. T., & Ramey, S. L. (1998). Early intervention and early experience. *American Psychologist*, 53(2), 109-120. <http://dx.doi.org/10.1037/0003-066X.53.2.109>

Ramey, C. T., & Ramey, S. L. (2004). Early Learning and School Readiness : Can Early Intervention Make a Difference? *Merrill-Palmer Quarterly*, 50(4), 471-491. <https://doi.org/10.1353/mpq.2004.0034>

Romano, E., Babchishin, L., Pagani, L. S., & Kohen, D. (2010). School readiness and later

- achievement: Replication and extension using a nationwide Canadian survey. *Developmental Psychology*, 46(5), 995.
- Sasanguie, D., De Smedt, B., Defever, E., & Reynvoet, B. (2012). Association between basic numerical abilities and mathematics achievement. *British Journal of Developmental Psychology*, 30(2), 344-357. doi: 10.1111/j.2044-835X.2011.02048.x
- Sauvé, L., Renaud, L., & Gauvin, M. (2007). Une analyse des écrits sur les impacts du jeu sur l'apprentissage. *Revue des sciences de l'éducation*, 33(1), 89-107
- SGMAP (2014). *Refondation de la politique de l'éducation prioritaire, rapport final d'évaluation*. Repéré à : <https://www.reseau-canope.fr/education-prioritaire/sinformer/textes-et-rapports-officiels.html> (site consulté le 14/06/2018)
- Siegler, R. S., & Ramani, G. B. (2008). Playing linear numerical board games promotes low-income children's numerical development. *Developmental Science*, 11(5), 655-661.
- Thevenot C., & Masson, S. (2013) Améliorer les compétences numériques. *ANAE*, 123 ,182-188
- Verschaffel, L., Torbeyns, J., & De Smedt, B. (2017). Young children's early mathematical competencies : Analysis and stimulation. CERME 10, Dublin, Ireland.
- Villani C., (2018). *Mission Mathématiques : 21 mesures pour l'enseignement des mathématiques*. Repéré à : <http://www.education.gouv.fr/cid126423/21-mesures-pour-l-enseignement-des-mathematiques.html> (consulté le 15/05/2018)
- Von Aster, M., & Shalev, R. S. (2007). Number development and developmental dyscalculia. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 49, 868–873.
- Xu, F., Spelke E. S., & Goddard, S. (2005). Number sens in human infants. *Developmental Science*, 8(1), 88-101
- Zhang, X., & Lin, D. (2015). Pathways to arithmetic: The role of visual-spatial and language skills in written arithmetic, arithmetic word problems, and nonsymbolic arithmetic. *Contemporary Educational Psychology*, 41, 188-197.

Liste des annexes

Annexe 1 : Livret de passation des tests de maintien pour CP

Annexe 2 : Contenu des entraînements

**Annexe 3 : Tableaux Statistiques issus des analyses comparatives
des pré- et post-tests**

- Tableau 1 : Comparaison des résultats obtenus aux pré-tests et post-tests par groupe (HVS, PMT et PMPC) pour les MSM
- Tableau 2 : Comparaison des résultats obtenus aux pré-tests et post-tests par groupe (HVS, PMT et PMPC) pour les GSM
- Tableau 3 : Comparaison des résultats obtenus aux pré-tests et post-tests par groupe (HVS, PMT et PMPC)

