



MEMOIRE

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

Claire BOISDRON

soutenu publiquement en juin 2019

Intérêt de l'utilisation du support tablette dans le développement des capacités mathématiques en maternelle

MEMOIRE dirigé par

Sandrine MEJIAS, PhD, MCU, Université de Lille, Lille

Lille – 2019

Remerciements

Je tiens en premier lieu à remercier Mme Mejias, directrice de ce mémoire, pour son aide et son soutien tout au long de la réalisation de cette étude. Merci pour le temps accordé aux nombreuses relectures et pour vos remarques constructives et bienveillantes. Merci pour votre disponibilité et votre écoute.

Je souhaite également remercier les autres étudiantes qui ont travaillé sur ce projet. Tout d'abord les anciennes 5^{ème} année qui ont démarré le projet, mais également celles de cette année avec lesquelles j'ai eu le plaisir de travailler : Alexandra Renaud, Emeline Chambon, Laura Mohamed, Aurélia Robert, Océane Vasseur, Anaïs Jomard.

J'exprime ma reconnaissance aux directeurs d'établissements, enseignants et élèves pour leur très bon accueil lors des passations et entraînements.

Je remercie tout particulièrement mes parents et ma famille pour leur soutien et encouragements au cours de la rédaction de ce mémoire et plus largement tout au long de mes études.

Enfin, un immense merci à mes amies de promotion sans qui ces années d'études à Lille n'auraient pas été les mêmes.

Résumé :

Actuellement, de nombreuses questions tournent autour de l'impact de l'utilisation de la tablette, notamment dans les milieux scolaires. Dans cette expérimentation, nous étudions donc l'intérêt de l'utilisation de cet outil dans le développement des prérequis mathématiques en maternelle, par rapport à un usage plus classique du « papier-crayon ». Une population de 157 enfants, de 4 à 6 ans, a ainsi été recrutée dans les écoles de la circonscription d'Arras, afin de participer à cette étude qui présente le design suivant : « pré-test – entraînements – post-tests – post-tests de maintien ». Suite à l'évaluation initiale, les enfants ont été répartis dans trois groupes d'entraînement différents : Prémath tablette, prémath « papier-crayon » et visuospatial tablette. Les entraînements se sont ensuite déroulés sur une période de 10 semaines, à raison de 2 séances de 30 minutes par semaine. L'impact de chaque entraînement a ensuite été évalué grâce aux post-tests. Les résultats de cette étude sont en accord avec la littérature existante, et permettent de conclure à une utilisation combinée des outils, tablette et « papier-crayon », pour un développement optimal des compétences numériques. Ces résultats proposent des pistes d'actions au niveau orthophonique, notamment sur un plan de prévention et de prise en charge précoce.

Mots-clés :

Cognition mathématique – Maternelle – Tablette – Jeux de société – Orthophonie.

Abstract :

Currently, many questions revolve around the impact of the use of the tablet, especially in school settings. In this experiment, we therefore study the interest of using this tool in the development of mathematical prerequisites in kindergarten, compared to a more traditional use of « pencil-paper ». A population of 157 children, aged 4 to 6, were recruited from schools in the Arras district to participate in this study, which presents the following design : « pre-test - training - post-test - post-test - maintenance post-test ». Following the initial assessment, the children were divided into three different training groups : Tablet premat, pencil-paper premat and visuospatial tablet. Then, training sessions took place over a period of 10 weeks, at the rate of 2 sessions of 30 minutes per week. The impact of each training session was then evaluated through post-tests. The results of this study are in line with the existing literature, and lead to the conclusion that tools, tablets and « pencil-paper » should be combined for an optimal development of digital skills. These results propose courses of action at the speech and language therapy level, in particular on a prevention and early care plan.

Keywords :

Mathematical cognition – Kindergarten – Tablet – Board games – Speech therapy.

Table des matières

Introduction	1
Contexte théorique, buts et hypothèses	2
1. Tablettes numériques et école	2
1.1. Généralités.....	2
1.2. Point de vue et attentes des élèves	3
1.3. Point de vue des enseignants	3
2. Les prérequis mathématiques	4
2.1. Quels sont-ils ?.....	4
2.2. Pourquoi les entraîner ?.....	5
2.3. Quels sont les effets socio-économiques sur ces prérequis ?	5
3. Prérequis mathématiques, tablette et école.....	6
3.1. Usage du numérique en maternelle	6
3.2. Quelle utilisation en mathématiques ?	6
3.3. Impact du milieu.....	7
4. Rôle de l'orthophoniste	7
4.1. L'orthophonie et les mathématiques.....	7
4.2. Usage du numérique en rééducation orthophonique de la cognition mathématique	8
5. Buts et hypothèses	9
Méthode	9
1. Population participant à l'étude	10
2. Procédure et matériel	11
2.1. Phase de pré-test (Janvier 2018).....	11
2.2. Entraînements (11 à 14 séances de Février à Avril 2018)	12
2.3. Post-tests (Mai 2018)	12
2.4. Post-tests de maintien (Novembre 2018)	12
3. Traitement des données	13
Résultats	13
1. Résultats aux pré-tests	13
2. Résultats aux post-tests.....	14
3. Evolution	15
4. Aspects qualitatifs	17
Discussion	18
1. Implications de ces résultats pour la prise en charge orthophonique	20
1.1. Les mathématiques en orthophonie.....	20
1.2. L'usage des tablettes en rééducation	20
1.3. Elargissement de l'usage de la tablette dans la pratique orthophonique.....	21

1.4. Réflexion personnelle.....	21
2. Limites de l'étude et suite de Kids-eStim.....	22
Conclusion	23
Bibliographie.....	24
Liste des annexes.....	Erreur ! Signet non défini.
Annexe A1 : Lettre d'information, autorisation parentale et questionnaire	Erreur ! Signet non défini.
Annexe A2 : Tâches des pré- et post-tests	Erreur ! Signet non défini.
Annexe A3 : Contenu des entraînements prémath « papier-crayon » ..	Erreur ! Signet non défini.
Annexe A4 : Contenu des entraînements prémath tablette.....	Erreur ! Signet non défini.

Introduction

Depuis quelques années, l'utilisation d'appareils numériques tend à se répandre de plus en plus dans toutes nos pratiques quotidiennes. Chaque année, le Baromètre du numérique, document recensant les pratiques des Français, est publié par l'ARCEP¹, le CGE² et l'Agence du Numérique. En 2017, le CREDOC³, qui réalise cette étude des pratiques, a dévoilé que 73 % des français possédaient un smartphone. Une comparaison avec les années passées montre l'importante ascension de l'usage de cet outil puisqu'en 2016, 71 % des français possédaient un smartphone, tandis qu'en 2011 seulement 17 % des français en possédaient un. L'usage de la tablette était quant à lui un peu moins important puisqu'en 2017, 44 % des français utilisaient cet outil numérique (CREDOC, 2017). Ces outils sont d'ailleurs de plus en plus utilisés dans les domaines scientifiques tels que les mathématiques (calculatrices, logiciels de géométrie, programmation, etc.), car ils permettent d'obtenir des résultats très précis dans un temps très court notamment. Ils permettent également de résoudre des problèmes qui restaient insolubles avec les techniques classiques de type papier-crayon (Nougier, 2001). Ces mathématiques, qui sont enseignées dès le plus jeune âge en milieu scolaire (dès la maternelle), sont habituellement peu appréciées de la population générale. Or, en France, les élèves accordent une grande importance à leur classement par rapport aux autres élèves de leur établissement. Ceci aurait un impact considérable sur leur image de soi en mathématiques (OCDE, 2014). Selon cette étude PISA, parmi les pays de l'OCDE, 59 % des élèves de 15 ans se disent inquiets quand ils pensent à leurs cours de mathématiques et aux difficultés qu'ils y ressentent. En effet, les résultats présentés par le ministère de l'Education Nationale français (2013) montre une augmentation de cette anxiété de 16,6 % en 2003 à 22,4 % en 2009 (Vauthier, Paquet, Krumm, & Tarquinio, 2017). Or les compétences et résultats en mathématiques auraient un impact important sur l'ensemble de la scolarité des élèves (Ma, 1999), mais également sur leur avenir professionnel (Dutrévis & Toczek, 2007). Selon une étude, l'anxiété provoquée par les mathématiques pourrait être telle que les régions du cerveau, stimulées habituellement lors d'une menace physique ou de la présence d'une douleur, seraient alors activées (Lyons & Beilock, 2012). Pour tenter de pallier ces difficultés sur le long terme, des études ont prouvé les bénéfices apportés par une intervention précoce, notamment dans ce domaine des mathématiques. En effet, l'entraînement des compétences, et notamment des prérequis, a montré des effets positifs et sur le long-terme chez des enfants du primaire et du secondaire (Ramey & Ramey, 2004). Cet entraînement des compétences précoces, développées dès l'entrée en maternelle, détient donc un rôle crucial sur l'avenir tant scolaire que professionnel des élèves.

Dans ce cadre il convient de se demander si, entre l'outil numérique et le « papier-crayon », une méthode est plus efficace que l'autre pour stimuler l'apprentissage des prérequis mathématiques en maternelle. Nous commencerons par faire un état des lieux des connaissances actuelles sur l'utilisation des tablettes et outils technologiques dans les établissements scolaires et les cabinets d'orthophonie. Nous exposerons ensuite la méthode utilisée pour la réalisation de l'étude avant de présenter les résultats obtenus. Grâce à ceux-ci,

¹ ARCEP : Autorité de Régulation des Communications Electroniques et des Postes.

² CGE : Conseil Général de l'Economie.

³ CREDOC : Centre de Recherche pour l'Etude et l'Observation des Conditions de vie.

nous pourrons discuter de l'intérêt de l'utilisation de la tablette dans les écoles, mais également élargir nos observations aux cabinets d'orthophonie.

Contexte théorique, buts et hypothèses

Dans un premier temps, nous présenterons l'usage qui est fait de la tablette dans les établissements scolaires. Dans un second temps, nous présenterons les différents prérequis nécessaires aux futurs apprentissages mathématiques. Nous confronterons ensuite ces derniers au monde scolaire et à la tablette. Enfin, nous parlerons du rôle de l'orthophoniste dans les troubles de la cognition mathématique ainsi que de l'usage du numérique au sein des rééducations.

1. Tablettes numériques et école

1.1. Généralités

De tout temps l'école s'est appliquée à prendre en compte les avancées technologiques en les insérant au sein de ses établissements. Une première avancée importante a été faite lors du premier plan informatique présenté par le premier ministre Laurent Fabius le 25 Janvier 1985. Ce plan IPT (Informatique pour tous) avait alors trois objectifs : initier les 11 millions d'élèves français à l'outil informatique, ouvrir cet outil informatique à tous les citoyens et former les 110 000 enseignants dans l'année (Baudé, 2015). C'est également lors de la mise en place de ce plan que les premières technologies tactiles ont fait leur apparition dans les établissements scolaires avec le stylo optique de l'ordinateur MO5 de chez Thomson (Villemonteix, Hamon, Nogry, Séjourné, Hubert, & Gélis, 2014).

Depuis, dans le cadre de diverses expérimentations au sein des écoles, notamment celles débutées à partir de 2010, de plus en plus de classes se voient dotées de tablettes numériques (Villemonteix & Khaneboubi, 2012). Ces expérimentations ont plusieurs buts. Parmi eux on retrouve notamment le besoin d'avoir une idée plus claire des conditions de mise en place de ces outils numériques, et les changements qu'ils occasionnent dans le fonctionnement des classes. On relève également l'envie de déterminer la place et le rôle que peuvent jouer ces nouvelles technologies dans les différents apprentissages proposés par l'école, et donc dans les programmes scolaires.

Ces outils numériques présentent de nombreux avantages (Villemonteix et al., 2014). On retrouve notamment le caractère mobile et facile de manipulation de ces tablettes. L'utilisation de l'interface tactile, c'est-à-dire le fait de manipuler avec le doigt, est souvent qualifiée de naturelle, intuitive. Les enfants sont donc capables d'accéder à une bonne prise en main de l'outil de façon très rapide. D'autre part, cet outil permettrait de favoriser et de diversifier les interactions sociales entre les élèves à travers les différents travaux collaboratifs qu'il est possible de mettre en place (Villemonteix et al., 2014; Villemonteix & Khaneboubi, 2012). Parmi les avantages de cet outil on retrouve également l'augmentation de la motivation des élèves. En effet, un rapport de 2011 d'une étude menée à Longfield Academy dans le Kent, expose le retentissement positif important de l'utilisation de tablettes sur la motivation mais également sur les capacités de recherche, de communication et de collaboration des élèves (Heinrich, 2016). Ces résultats sont cependant à relativiser car ce n'est pas la tablette

seule qui a amené ces changements, mais son introduction a été réalisée dans un cadre plus large de modifications pédagogiques. Enfin, un dernier avantage que l'on peut relever est que les élèves, comme les enseignants, s'habituent assez rapidement à ce nouveau mode de fonctionnement, qui nécessite finalement peu de réorganisation des pratiques en classe. On notera d'ailleurs que les tablettes numériques sont utilisables dans presque toutes les matières scolaires enseignées (français, mathématiques, sciences, histoire, etc.) (Villemonteix & Khaneboubi, 2012).

Des inconvénients sont également décrits dans les études et doivent être pris en compte. Dans le rapport de Villemonteix et Khaneboubi (2012), certains enseignants relèvent par exemple des soucis au niveau de la motricité fine, sans pour autant arriver à déterminer s'il s'agit d'un trouble chez certains élèves ou bien d'une mauvaise adaptation de l'application pour les élèves. Les autres inconvénients concernent principalement les questions techniques et logistiques à savoir la connexion Wifi, le rechargement des tablettes, le stockage et la gestion des fichiers, etc. La recherche d'applications à visée pédagogique est également d'autant plus laborieuse que peu d'entre elles sont dédiées au domaine scolaire (Villemonteix & Khaneboubi, 2012). D'autre part, il a été mis en évidence par Karsenti et Fiévez (2013) que la distraction des élèves était beaucoup plus importante lorsqu'ils utilisaient les tablettes. Selon les enseignants interrogés au cours de cette étude il s'agirait même du premier défi pédagogique à relever avec l'introduction des outils numériques dans les classes.

1.2. Point de vue et attentes des élèves

Dans une étude de Villemonteix et al. (2014), dont les données ont été récoltées entre 2013 et 2014, des élèves de CE1 à CM2 ont pu exprimer leur point de vue sur l'outil tablette. Les enfants ont alors déclaré apprécier les facilités de transport et d'utilisation des tablettes numériques, ainsi que les larges possibilités que celles-ci offraient notamment dans l'accès aux fichiers et logiciels de cours. L'aspect ludique de cet outil a également été relevé à de nombreuses reprises. Les élèves ont d'ailleurs expliqué que cela augmentait leur motivation et leur permettait d'apprendre en s'amusant. Lors de cette étude, quelques élèves ont comparé cet outil numérique à l'outil plus classique du papier-crayon. Les avis divergeaient alors puisque pour certains l'usage de la tablette permettait notamment de limiter les douleurs au poignet qui peuvent être présentes lors de l'utilisation du papier-crayon tandis que d'autres avançaient que la prise de notes à la main permettait une meilleure mémorisation des informations. Finalement, les élèves ont aimé travailler sur tablettes mais ont déclaré être tout à fait capables de s'en passer. Ils souhaiteraient pouvoir allier les différents outils (tablettes et papier-crayon) dans leurs apprentissages (Villemonteix et al., 2014).

1.3. Point de vue des enseignants

Une étude en particulier a recueilli le point de vue des enseignants sur l'introduction de la tablette numérique dans leur classe. En effet, selon les analyses de Villemonteix et al. (2014), l'utilisation des tablettes s'ajoute à ce qui est déjà proposé en classe mais ne s'y substitue pas totalement. Cela permet de faire de nouvelles propositions, voire de créer de nouvelles étapes dans les apprentissages comme par exemple au niveau du graphisme où les élèves peuvent au préalable travailler le sens des lettres avec leur doigt avant de passer à l'écriture classique avec un crayon. Cette étude relève qu'une majorité d'enseignants utilise la tablette au moins une fois par semaine, et que son usage concerne principalement des

entraînements et exercices. Selon les enseignants interviewés dans cette étude, les élèves seraient plus autonomes dans la réalisation des tâches demandées. En revanche, il serait plus difficile d'afficher plusieurs éléments en même temps sur la tablette, pour avoir accès à une aide par exemple, ce qui aurait poussé certains professeurs à revenir à une aide papier plus classique. L'étude de Villemonteix et al. (2014) permet de compléter et de conforter les résultats de Karsenti et Fievez (2013). De nombreuses questions ont été posées aux élèves comme aux enseignants. Parmi les avantages on retrouve des deux côtés la facilité d'accès à l'information ainsi que la portabilité de l'outil. Les enseignants soulignent cependant qu'il s'agit là d'une importante source de distraction, surtout lorsque les élèves ont accès à internet. Un autre inconvénient évoqué est que les élèves auraient plus de difficultés à produire des textes longs. Enfin, les enseignants expriment leur nécessité de formation au numérique ainsi que leur besoin de temps pour intégrer au mieux ces nouveaux outils dans leurs pratiques.

2. Les prérequis mathématiques

2.1. Quels sont-ils ?

Il a été proposé par certains auteurs que trois prérequis principaux forment la base des apprentissages mathématiques futurs : le développement du sens du nombre, le passage à la représentation symbolique et le développement des capacités d'inhibition (Deshaies, Miron, & Masson, 2015). Le développement du sens du nombre tout d'abord se base sur plusieurs capacités, dont certaines seraient innées selon Dehaene (2011, cité dans Deshaies et al., 2015). En effet, dès le plus jeune âge nous serions capables de comparer deux quantités sans avoir à les dénombrer par exemple (Fuhs & McNeil, 2013). En fait, le bébé, comme l'animal, serait capable de traiter de façon approximative des quantités présentées sous une forme analogique, et ce avec une précision tout à fait correcte (Brannon, 2006). Les bébés pourraient même rapidement réaliser des petits calculs et repérer des erreurs opératoires (Lafay, Saint-Pierre, & Macoir, 2013). Cette capacité d'approximation des quantités serait à la base du développement des capacités mathématiques (Dehaene, 2011). Le passage à la représentation symbolique quant à lui serait sous-tendu par ce que Dehaene et Cohen (2007) appellent le recyclage neuronal. Cette théorie avance que nous ne possédons pas de façon innée les capacités permettant de lire des chiffres ou des lettres. Tout en développant notre langage oral, nous serions donc amenés petit à petit à acquérir les nombres sous leur forme symbolique et ce grâce à un système de reconversion de certaines régions cérébrales comme les sillons interpariétaux. Enfin, le développement des capacités d'inhibition serait également un préalable aux apprentissages des mathématiques. Ces capacités permettraient d'inhiber certaines stratégies afin de mettre en place des mécanismes menant à la réussite de la résolution d'un problème par exemple. Il s'agit donc là d'apprendre à inhiber certaines stratégies inefficaces (Lubin, Lanoë, Pineau & Rossi, 2012, cité dans Deshaies et al., 2015).

2.2. Pourquoi les entraîner ?

Nous utilisons les mathématiques à tout moment dans notre quotidien. Les enseigner à l'école permet de transmettre aux élèves une certaine organisation et rigueur qui leur permettra de mieux appréhender la société par la suite (Deshaies et al., 2015). Les mathématiques en maternelle permettent notamment de développer la logique ainsi que les conceptions spatiales, géométriques et numériques de l'enfant (Pierrard, 2011). Actuellement, les études tendent à montrer que la façon d'appréhender les premiers apprentissages mathématiques, ainsi que l'acquisition précoce de certains prérequis conditionnent la suite, réussite ou échec, des apprentissages mathématiques, et de façon plus large la réussite scolaire (Clark, Pritchard, & Woodward, 2010 ; Duncan et al., 2007). Ces éléments sont confirmés par l'étude de Desoete et Grégoire (2006) qui met en évidence le lien indéniable qui existe entre les différentes compétences pré-numériques (compétences logiques, procédures de comptage, connaissance du système numérique, calcul et numérosité). En effet, les résultats ont montré que les enfants ayant une note supérieure à la moyenne en CP avaient des meilleurs prérequis mathématiques en maternelle que les enfants ayant une note inférieure à la moyenne en CP. Les auteurs ont ainsi trouvé une équivalence significative entre les résultats obtenus en CP et les compétences de ces mêmes enfants en maternelle. Enfin, d'autres études ont montré qu'il existait un lien entre mémoire de travail et capacités mathématiques (Bull & Scerif, 2001). Andersson et Lyxell (2007) ont d'ailleurs conclu dans leur étude que les enfants présentant des troubles des mathématiques avaient une mémoire de travail déficitaire. De même, un lien entre mémoire visuo-spatiale et capacités mathématiques a été mis en avant par Kyttälä (2008). Dès lors, il conviendra de prendre en compte ces éléments dans les différents entraînements des prérequis mathématiques qui pourront être proposés aux élèves.

2.3. Quels sont les effets socio-économiques sur ces prérequis ?

D'après Ramani et Siegler (2008), il existerait un réel effet de la catégorie socio-économique sur les compétences mathématiques des enfants lors de leur entrée à l'école. En effet, les enfants venant de familles à faibles revenus arriveraient à l'école avec moins de connaissances mathématiques que leurs pairs venant de familles aisées. Cette étude a notamment pointé le manque de jeux comme étant à l'origine de cette faiblesse. Ils ont effectivement observé que ces enfants, de 4 à 5 ans, issus de familles à bas revenus ne jouaient jamais ou très peu à des jeux de plateau, ce qui, pour les auteurs, participerait pourtant fortement à l'acquisition de certaines connaissances mathématiques. Pour conclure leur étude, ils ont montré qu'en proposant des sessions d'entraînement, il était possible de combler de façon efficace et sur le long terme les lacunes de ces enfants (Ramani & Siegler, 2008). Une autre étude, sur des enfants scolarisés en classe de 6ème, a de son côté permis de mettre en évidence l'impact du milieu de vie sur les compétences mathématiques en faisant le lien entre capacités de résolution de problèmes et niveau socio-économique (Rajotte, Giroux, & Voyer, 2014).

3. Prérequis mathématiques, tablette et école

3.1. Usage du numérique en maternelle

Pierrard (2011) indique que l'objectif des programmes, dits de mathématiques, proposés par l'Education Nationale pour les classes de maternelle, est d'aider l'enfant à développer des capacités logiques et mathématiques lui permettant de résoudre une « situation problème » dans un certain contexte. Cela passe par des activités diverses de type jeux, défis, énigmes, etc. Il ne s'agit pas là de mathématiques comme on l'entend généralement, mais plus d'activités permettant de développer des compétences numériques par la suite. Ainsi, le but est d'aider l'enfant à se décentrer de lui-même afin de pouvoir prendre un point de vue autre. De plus, il est aujourd'hui largement reconnu que la répétition permet une meilleure mémorisation d'un procédé. C'est en répétant de nombreuses fois un même type d'exercice que nous acquérons le savoir sous-tendu par l'activité (Pierrard, 2011). Ces deux aspects sont proposés par la tablette. Le côté ludique de cet outil numérique est par ailleurs mis en avant, et est reconnu par les élèves l'utilisant (Villemonteix et al., 2014). Cet aspect est d'autant plus important que le jeu fait intégralement partie du fonctionnement de l'enfant : tout doit passer par le jeu. Cela lui permet de faire ses propres expériences mais également de se développer de façon harmonieuse (UNESCO, 1979). D'autre part, l'outil numérique permet un grand nombre de répétitions d'un même exercice, sous différents formats, et ce de façon très simple. Il n'est plus nécessaire d'imprimer de nouveaux exemplaires pour refaire un exercice par exemple. D'autant que la plupart des applications proposent un grand nombre d'items pour une même tâche, ce qui facilite la répétition à grande échelle et de façon rapprochée.

3.2. Quelle utilisation en mathématiques ?

Dans le bulletin officiel du programme de l'école maternelle (Bulletin officiel de l'Education Nationale, 2015), on retrouve des recommandations concernant le domaine « Explorer le monde » et plus particulièrement le sous-domaine « Explorer le monde du vivant, des objets et de la matière ». Il y est demandé de mettre en contact les enfants avec les outils numériques, afin de leur apprendre à s'en servir de façon adaptée. De même, on retrouve dans les attendus en fin de maternelle, que chaque enfant sache utiliser les objets numériques tels l'appareil photo, la tablette et l'ordinateur. Le ministère de l'Education Nationale (2015) recommande que ces outils soient utilisés en complément de matériels manipulables plus classiques qui sont nécessaires au bon développement des capacités numériques des élèves. Selon l'étude de Villemonteix et al. (2014), les enseignants se servent de la tablette à diverses fins. Elle est ainsi utilisée pour faire un état des lieux des connaissances des élèves à un moment donné ou pour vérifier les prérequis nécessaires à une nouvelle activité. D'autre part, elle permet de partager des documents à l'ensemble de la classe de façon très simple et instantanée. Grâce à cet outil, il est également possible de procurer une aide aux élèves grâce à des fiches ou mémos par exemple. Les élèves travaillent alors en autonomie relative, l'enseignant pouvant à tout moment surveiller l'avancée des travaux depuis sa propre tablette. Il a cependant été noté que cet outil ne proposait souvent que peu de feedback quant aux productions des enfants. Il est donc nécessaire que l'enseignant puisse revenir avec l'élève sur certains points non compris (Villemonteix et al., 2014). De façon plus générale, on a observé qu'avec l'arrivée de ce nouvel outil dans les

classes, de nouvelles formes d'enseignements étaient testées. Ainsi, les enfants sont amenés à travailler en binômes (Besnier & Gueudet, 2016), en groupes ou encore en ateliers par exemple, et ce de façon autonome ou avec l'aide de l'enseignant ou de l'ATSEM⁴. Enfin, du côté des enseignants, une étude a détaillé les différents rôles que ceux-ci prenaient lorsqu'ils utilisaient les outils numériques dans leur classe de mathématiques. On y retrouve un rôle d'assistant technique, pour aider à la résolution de problèmes directement liés à la tablette, ou encore un rôle de conseiller, afin d'aider les élèves dans la résolution des problèmes mathématiques qui leurs sont posés (Zbiek, Heid, Blume & Dick's, 2007, cité dans Carlsen, Erfjord, Hundeland, & Monaghan, 2016).

3.3. Impact du milieu

Selon l'étude PISA, la France fait partie des pays où la différence entre les résultats des élèves, en sciences, selon leur niveau socio-économique est la plus importante. Ce statut est donc reconnu comme ayant un impact important sur la scolarité des élèves, ceux issus de milieux favorisés obtenant de meilleurs résultats. Les auteurs de l'étude insistent cependant sur le fait qu'il ne s'agit pas pour autant d'un facteur déterminant à lui seul l'évolution des élèves (Lafontaine, Crépin, & Quittre, 2017). Concernant les pratiques numériques au quotidien, Mercklé et Octobre (2012) ont observé que les enfants issus de milieux favorisés avaient accès aux outils numériques plus tôt dans leur enfance que les autres enfants. Dans le but de pallier ces écarts entre les différents niveaux socio-culturels, le ministère de l'Education Nationale a fait le choix d'équiper de façon un peu plus importante les établissements reconnus en éducation prioritaire en supports numériques. La DEPP⁵ recense ainsi en 2015 environ 24 postes informatiques pour 100 élèves contre 22 pour 100 dans les autres établissements. Les élèves étant dans cette étude, pour 58 %, âgés de moins de 5 ans. De façon générale, on observe donc une importante augmentation d'outils numériques dans les écoles. Enfin, l'impact positif d'activités informatisées sur les résultats scolaires des enfants a été montré par Wilson, Dehaene, Dubois et Fayol (2009). Ces auteurs ont développé un jeu appelé « La course au nombre » ayant pour objectif de développer le sens du nombre chez les élèves de maternelle. Les résultats de l'étude sont significatifs et concluent à un impact positif de cette activité, particulièrement chez les enfants issus de milieux défavorisés.

4. Rôle de l'orthophoniste

4.1. L'orthophonie et les mathématiques

Parmi les multiples missions de l'orthophoniste, on retrouve la prise en charge des différents types de troubles des apprentissages que peuvent présenter les enfants, tels que la dyslexie, la dysorthographe ou encore la dysgraphie par exemple. Les mathématiques peuvent également faire partie de ces troubles des apprentissages. Deux grands types de difficultés sont généralement développés à savoir la dyscalculie et les troubles du raisonnement logico-mathématique. Kosc propose en 1974 une définition de la dyscalculie développementale. Il la décrit comme étant « un trouble structurel des capacités mathématiques qui a son origine dans un désordre génétique ou congénital des parties du

⁴ ATSEM : Agent Territorial Spécialisé des Ecoles Maternelles.

⁵ DEPP : Direction de l'Évaluation, de la Prospective et de la Performance.

cerveau qui sont le substrat anatomo-physiologique direct de la maturation des capacités mathématiques ajustées à l'âge, sans un trouble simultané des fonctions mentales générales » (Kosc, 1974, p.47). Les troubles du raisonnement logico-mathématique quant à eux, s'inscrivent dans une démarche piagétienne, ou approche constructiviste. Celle-ci consiste à voir le développement du raisonnement de l'enfant comme une suite d'étapes à franchir de façon successive, en passant par l'expérimentation de divers schèmes sensori-moteurs. Dans le cas du raisonnement logico-mathématique, le jeune enfant doit en premier lieu comprendre le principe de permanence de l'objet. Il pourra ensuite acquérir les notions de conservation, de sériation et d'inclusion dans le but de développer le sens du nombre par la suite (Piaget & Szeminska, 1941). Ces différents troubles sont donc pris en charge par l'orthophoniste et sont regroupés sous l'AMO (Acte médical orthophonique) 10,2 « Rééducation des troubles de la cognition mathématique (dyscalculie, troubles du raisonnement logico-mathématique...) » (Ministère des solidarités et de la santé, 2018). La notion de cognition mathématique est apparue plus récemment et consiste à se baser sur la compréhension du fonctionnement et de l'organisation des systèmes, notamment neuronaux. Contrairement à la conception piagétienne, qui s'appuie sur un système de logique d'opérations, la cognition mathématique s'appuie quant à elle sur un système de signification et de développement des représentations. Auparavant peu connu dans les cabinets, ce type de prise en charge commence à se développer grâce aux diverses formations proposées, ainsi que les cours aujourd'hui dispensés lors de la formation initiale.

4.2. Usage du numérique en rééducation orthophonique de la cognition mathématique

En orthophonie, il existe quelques batteries informatisées permettant l'évaluation de la cognition mathématique, telles que Examath 8-15 (Helloin & Lafay, 2016) et MathEval (Heremans, 2009). On trouve également de nombreux jeux téléchargeables sur tablette ou sur ordinateur pouvant servir de support à la rééducation orthophonique. Parmi ces derniers on retrouve notamment « La course au nombre » (Wilson et al., 2009), ainsi que « L'attrape-Nombres » (Dror, 2011). Ces jeux s'adressent globalement à des enfants de 4 à 10 ans, et permettent, selon les auteurs, de découvrir « les concepts de base du nombre et de l'arithmétique ».

D'autre part, la tablette constitue aujourd'hui un outil de remédiation intéressant notamment pour les patients présentant des troubles des apprentissages. Wickert (2015) envisage la tablette comme un outil de compensation à l'école, et particulièrement dans le cas d'enfants dyslexiques-dysorthographiques. Pour l'auteur, cela permet de rendre les élèves plus autonomes dans leurs démarches scolaires. Elle continue en expliquant que le rôle de l'orthophoniste est d'aider l'enfant à s'approprier au mieux l'outil, puis d'indiquer ses recommandations dans le PAI (Projet d'accueil individualité) ou PAP (Projet d'accueil personnalisé) de l'enfant. Enfin, concernant la rééducation, Wickert suggère que la tablette permet de développer la métacognition de ses patients grâce à certaines fonctions et applications de l'outil, au moins dans le cadre des dyslexies-dysorthographies.

5. Buts et hypothèses

Le but de ce mémoire est de compléter les connaissances actuelles concernant l'usage des tablettes numériques dans les écoles, et plus particulièrement dans les classes de maternelle. Plus précisément, ce mémoire a pour objectif de comparer les bénéfices de l'usage de la tablette par rapport à un usage plus classique des activités « papier-crayon » dans le domaine de la cognition mathématique.

Depuis quelques années, on trouve parmi les objectifs des programmes scolaires l'utilisation des supports numériques (Bulletin officiel de l'Education Nationale, 2015). Nous avons cependant peu de recul quant aux retentissements de l'intégration de ces nouveaux outils dans les établissements. Selon la méta-analyse de Goulding et Kyriacou (2008), les TIC⁶ permettraient d'améliorer les capacités de compréhension et de raisonnement en algèbre chez les élèves, au moins jusqu'à l'âge de 16 ans. Ces résultats seraient d'autant plus significatifs pour les élèves ayant un bon niveau de départ. Réciproquement, les élèves présentant des difficultés scolaires obtiendraient de meilleurs résultats sur des supports classiques de type « papier-crayon ». La méta-analyse de Michko (2007) quant à elle, concerne des étudiants en ingénierie et remet en question les effets bénéfiques liés à l'usage des TIC. En effet, la synthèse des résultats des études recensées présente un intérêt plus modéré, l'impact des TIC pouvant aller jusqu'à être négatif en faisant chuter les résultats des élèves dans certains cas.

L'étude Kids-eStim dans laquelle ce mémoire s'inscrit a été jusqu'à présent menée dans des zones scolaires favorisées. Au vu de la littérature existante, nous supposons que l'impact des tablettes numériques sur les résultats sera positif, voire que ceux-ci seront supérieurs à ceux du groupe « papier-crayon ». Nous espérons notamment une amélioration des résultats pour les épreuves de type calcul, ordinalité et système numérique approximatif qui font appel à des capacités de compréhension et de raisonnement. Nous supposons également que les résultats de ce dernier groupe seront malgré tout améliorés de façon significative suite aux entraînements. Enfin, nous postulons que les enfants utilisant les tablettes au cours des entraînements feront preuve d'une plus grande motivation mais que le niveau de distractibilité sera également important.

Méthode

L'étude Kids-eStim (2017) dans laquelle s'inscrit ce mémoire implique la collaboration de différents chercheurs, issus de l'Université de Lille (SCALab) et de l'Université du Luxembourg (ECCS unit, FLSHASE), ainsi que la participation de nombreux étudiants, notamment en orthophonie, pour la passation des protocoles de pré- et post-test ainsi que la réalisation des entraînements. Par ailleurs, ce projet est développé dans le cadre d'une collaboration avec l'ESPE Lille Nord-de-France et l'Académie de Lille.

⁶ TIC : Technologies de l'information et de la communication.

Le Comité d’Ethique d’Etablissement de l’Université de Lille a évalué le projet, et a émis un avis favorable à sa mise en place (2017-1-S55). La CNIL ayant également autorisé ce projet, et le traitement des données sous couvert d’anonymat (traitement n° SC20171127-001), grâce à l’utilisation de QR code, l’étude a pu débuter dans les écoles de la circonscription d’Arras en décembre 2017.

Les parents des enfants participants ont fourni leur consentement libre et éclairé par écrit et les enfants ont consenti verbalement à participer aux activités. En préambule, une lettre d’information, un formulaire de consentement ainsi qu’un questionnaire parental (cf. Annexe A1) sur les habitudes de vie relatives à l’usage des supports de jeux (ex. tablette numérique, jeux de société) ont été remis aux parents par les enseignants.

1. Population participant à l’étude

Au début de l’étude, 195 enfants de moyenne et de grande section de maternelle (4-6 ans) ont été recrutés dans les écoles de la circonscription d’Arras. Suite aux pré-tests, la répartition des enfants au sein des différents groupes d’entraînement a été effectuée de manière pseudo-aléatoire, en fonction des résultats, afin que les groupes soient homogènes et comparables sur différents aspects (âge, sexe, performances aux prérequis mathématiques et habiletés visuo-spatiales). Cette distribution est présentée dans le Tableau 1.

Tableau 1. Répartition des sujets dans les groupes d’entraînement.

		Moyenne	Ecart type
Prémath tablette (N = 49)	Age en mois	62.73	7.64
	MNV ⁷	11.86	3.15
Prémath papier-crayon (N = 55)	Age en mois	61.67	6.28
	MNV	11.89	2.84
Visuospatial tablette (N = 53) (Non traité dans ce mémoire)	Age en mois	60.75	7.18
	MNV	11.77	3.48

Les échantillons ont bien été appariés en âge ($p = 0.44$) et en termes de QI (mesuré à l’aide des MNV ; $p = 0.95$). Les groupes étaient de ce fait similaires, en termes d’âge et de raisonnement non verbal, avant le début des entraînements.

En ce qui concerne les critères d’inclusion et d’exclusion, comme il s’agit d’une intervention incluse dans le programme scolaire des écoles participant au projet, tous les enfants présents de la classe ont pris part aux entraînements. Cependant, seules les données des enfants ayant reçu une autorisation parentale ont été traitées. Ont également été exclus de l’étude les enfants présentant un dossier MDPH⁸.

⁷ MNV : Matrices non verbales de l’échelle d’intelligence non verbale de Weschler.

⁸ MDPH : Maison départementale des personnes handicapées.

La Figure 1 présente le suivi des effectifs et leur répartition au cours de l'étude. A terme, les données de 157 enfants ont été retenues dans l'analyse pré- versus post-test.

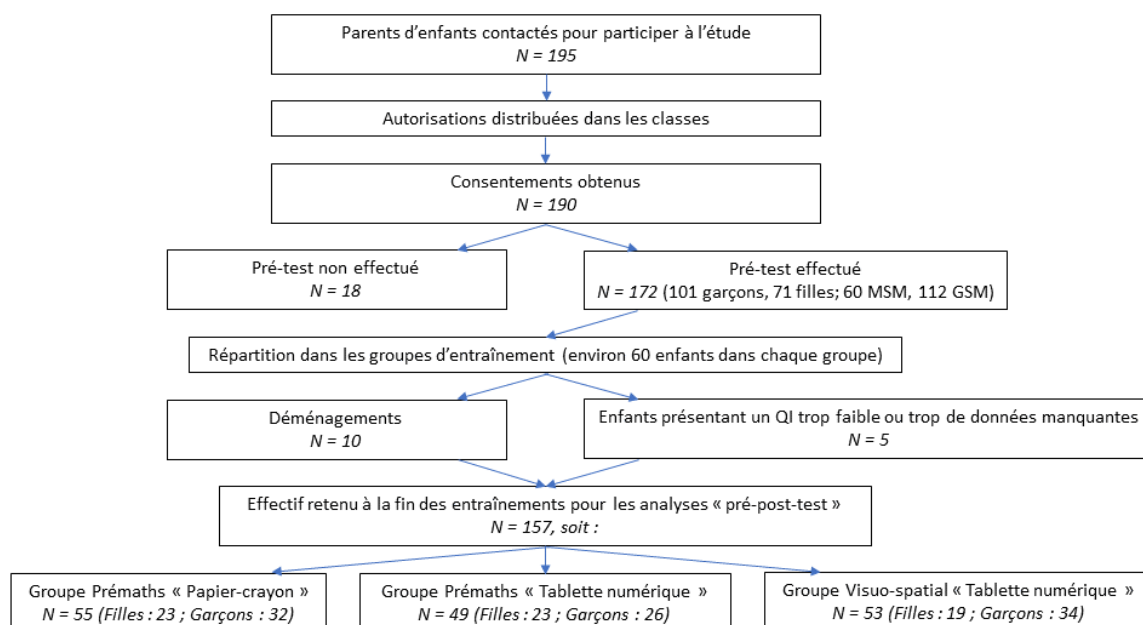


Figure 1. Présentation de l'évolution de la population.

2. Procédure et matériel

La procédure mise en place a suivi un design « pré-test – entraînements – post-test – post-test de maintien ». Les pré-tests ont servi à mesurer les performances initiales des enfants. L'entraînement a permis de développer les compétences ciblées par l'utilisation d'un support tablette ou d'un support « papier-crayon ». Les post-tests ont permis d'évaluer l'impact de ces entraînements. Enfin, les post-tests de maintien ont servi à évaluer l'impact de ces entraînements sur le long terme.

2.1. Phase de pré-test (Janvier 2018)

L'objectif de cette première phase a été d'identifier les profils cognitivo-numériques des enfants. La mesure a porté sur les systèmes cognitifs généraux (ex. intelligence non verbale, mémoire de travail, mémoire à court terme, mémoire visuo-spatiale, compétences visuo-spatiales et gnosies digitales), les facteurs cognitifs spécifiques (ex. système numérique exact et système numérique approximatif), ainsi que les compétences numériques plus avancées (ex. additions, connaissance des chiffres arabes). Le descriptif précis des épreuves se trouve dans les annexes (cf. Annexe A2).

Le protocole était appliqué en individuel et durait de 40 à 60 minutes. Les consignes à donner étaient spécifiées sur le protocole afin d'éviter un éventuel biais lié au testeur.

2.2. Entraînements (11 à 14 séances de Février à Avril 2018)

Pendant 10 semaines, les enfants ont été entraînés à raison de 2 séances de 30 minutes par semaine. Ces entraînements, de difficulté croissante, avaient lieu sur le temps de classe et étaient réalisés par les étudiants en orthophonie ainsi que les enseignants volontaires et formés. Ceci, afin de pouvoir interchanger régulièrement les groupes et ainsi éviter tout biais relatif à l'entraîneur.

Les trois types de groupe étudiés se répartissaient ainsi :

- Groupe prémaths « papier-crayon » (PMPC)
 - o Jeux individuels ou collectifs
 - Issus en partie de l'étude de Cornu, Schiltz, Pazouki et Martin (2017)
 - o Supports de type : papier-crayon, jeux de plateau, manipulation de jetons...
 - Les activités sont décrites dans les annexes (cf. Annexe A3)
- Groupe prémaths tablette numérique (PMT)
 - o Jeux individuels
 - Issus de l'application « MaGrid » (Cornu, Pazouki, Schiltz, Fischbach, & Martin, 2018)
 - Les activités sont décrites dans les annexes (cf. Annexe A4)
 - o Support tablette
- Groupe « capacités visuo-spatiales » (non traité dans ce mémoire)
 - o Support tablette
 - o Activités uniquement visuo-spatiales

2.3. Post-tests (Mai 2018)

Les protocoles de post-tests étaient identiques à ceux utilisés en pré-test à l'exception du subtest « matrices non verbales de la MNV », évaluant l'intelligence non verbale, qui n'était pas reproposé. En effet, ce subtest avait été administré en tant que mesure contrôle pour une répartition équilibrée des enfants dans les différents groupes d'entraînement.

La passation de ces post-tests était individuelle et s'effectuait en 30 à 50 minutes, l'objectif étant d'observer les effets des entraînements.

2.4. Post-tests de maintien (Novembre 2018)

Les protocoles utilisés pour les post-tests de maintien ne contenaient pas exactement les mêmes épreuves que lors des pré- et post-tests. Cependant, ils permettaient également d'évaluer les effets des entraînements sur les compétences visuo-spatiales et numériques, telles que la ligne numérique, le système numérique exact et approximatif, ou encore les additions et soustractions. Les passations s'effectuaient ici en collectif.

3. Traitement des données

Afin de pouvoir suivre la cohorte et l'évolution des enfants selon les groupes d'appartenance, les données récoltées ont été pseudo-anonymisées dès la première phase d'encodage des résultats. Différents types d'analyses ont été effectuées à différents moments de l'étude (1) validation des tâches pré-tests ; (2) répartition des enfants au sein des groupes ; (3) impact des entraînements. C'est précisément ce dernier point qui a permis d'évaluer l'impact et la spécificité des entraînements sur l'évolution des compétences mathématiques et des habiletés visuo-spatiales des enfants. En fonction du type d'entraînement reçu, les performances des groupes (comparaisons entre les performances aux pré- et post-tests) sur des mesures spécifiques des habiletés sous-tendant l'acquisition des mathématiques (telles que le développement de la chaîne numérique, les capacités de comptage et de dénombrement, la représentation analogique des nombres arabes et des quantités non-symboliques, etc.) ont été comparées à l'aide d'un Modèle Linéaire Général à Mesures Répétées.

Résultats

L'analyse statistique a été effectuée grâce aux tests T de Student et au test de Levene. Les résultats ont été ramenés selon la norme POMP (pourcentage de performance maximum rapporté sur 1) ou PAEL (différence entre la cible et la réponse de l'individu en réponse absolue, notée sur 20). Compte-tenu de la littérature existante nous nous attendons à obtenir de meilleurs résultats pour le groupe PMT. L'évolution pourrait notamment être particulièrement significative sur les tâches de système numérique approximatif, d'ordinalité et de calcul. Nous ne nous attacherons par la suite qu'aux résultats obtenus par les groupes PMPC et PMT, sans tenir compte de ceux obtenus par le groupe visuo-spatial tablette.

1. Résultats aux pré-tests

Les prétests permettent d'apprécier le niveau de compétence initial des enfants, et ainsi, de les répartir dans les groupes d'entraînement. Les résultats obtenus pour chaque groupe sont présentés dans le Tableau 2. On y observe des moyennes équivalentes entre les deux groupes ($p_s \geq .15$). Ceci pour toutes les compétences évaluées, ce qui marque une absence de différence significative entre les deux groupes. Les groupes prémath « papier-crayon » (PMPC) et prémath tablette (PMT) sont donc similaires avant le début des entraînements, moyenne et grande sections confondues.

Tableau 2. Résultats aux pré-tests par groupe (PMPC et PMT) : comparaison de moyennes pour échantillons indépendants.

Mesures	PMPC	PMT	<i>p</i> -valeur ^c
	Moyenne (ET)	Moyenne (ET)	
COMPETENCES GENERALES (NON SPECIFIQUES AUX MATHEMATIQUES)			
Mémoire à court terme			
Mémoire verbale (POMP)	.32 (.25)	.33 (.24)	.75
COMPETENCES SPECIFIQUES AUX MATHEMATIQUES			
Système numérique approximatif (SNA)			
Lignes numériques (PAEL)	1.99 (1.29)	2.02 (1.08)	.89
Comparaison symbolique (1 digit)	7.04 (4.04)	8.27 (4.55)	.15
Comparaison symbolique (2 digits)	5.73 (4.40)	5.65 (3.79)	.93
Comparaison non-symbolique	12.11 (5.79)	13.65 (6.54)	.21
Système numérique exact (SNE) (Développement de la chaîne numérique)			
Comptage libre (POMP)	.49 (.26)	.54 (.25)	.27
Comptage à partir de (POMP)	.60 (.40)	.62 (.37)	.83
Décompter (POMP)	.32 (.35)	.30 (.31)	.78
Comptage avec bornes (POMP)	.46 (.33)	.46 (.28)	.99
Développement du comptage			
Enumération (POMP)	.82 (.23)	.84 (.25)	.79
Lecture de nombres arabes (POMP)	.43 (.27)	.41 (.23)	.66
Ordinalité (POMP)	.49 (.32)	.44 (.33)	.40
Additions digitales (POMP)	.43 (.35)	.44 (.37)	.85
Additions nombres arabes (POMP)	.32 (.34)	.29 (.34)	.56

^aLes *p*-valeurs sont calculées à partir d'analyses de comparaisons de moyennes pour échantillons indépendants.

2. Résultats aux post-tests

Les post-tests ont pour but quant à eux d'évaluer l'impact des entraînements sur les compétences des enfants. Les résultats obtenus pour chaque groupe sont présentés dans le Tableau 3. On y observe des moyennes équivalentes sur les différentes tâches proposées entre les groupes PMPC et PMT, ce qui est confirmé par une absence de significativité au regard de la *p*-valeur de chaque tâche ($ps \geq 0.10$). Les résultats aux post-tests de chaque échantillon sont donc similaires, aucune tendance ne semble se dégager.

Tableau 3. Résultats aux post-tests par groupe (PMPC et PMT) : comparaison de moyennes pour échantillons indépendants.

Mesures	PMPC	PMT	<i>p</i> -valeur ^a
	Moyenne (ET)	Moyenne (ET)	
COMPETENCES GENERALES (NON SPECIFIQUES AUX MATHEMATIQUES)			
Mémoire à court terme			
Mémoire verbale (POMP)	.39 (.27)	.36 (.19)	.53
COMPETENCES SPECIFIQUES AUX MATHEMATIQUES			
SNA			
Lignes numériques (PAEL)	1.83 (1.06)	1.72 (1.91)	.61
Comparaison symbolique (1 digit)	9.59 (4.33)	10.20 (4.7)	.49
Comparaison symbolique (2 digits)	6.78 (3.75)	7.65 (5.57)	.35
Comparaison non-symbolique	15.11 (5.80)	17.06 (5.94)	.10
SNE (Développement de la chaîne numérique)			
Comptage libre (POMP)	.63 (.25)	.56 (.25)	.37
Comptage à partir de (POMP)	.67 (.35)	.62 (.35)	.51
Décompter (POMP)	.38 (.34)	.45 (.32)	.31
Comptage avec bornes (POMP)	.52 (.31)	.53 (.29)	.86
Développement du comptage			
Enumération (POMP)	.80 (.28)	.81 (.29)	.90
Lecture de nombres arabes (POMP)	.55 (.27)	.53 (.25)	.83
Ordinalité (POMP)	.59 (.32)	.61 (.30)	.85
Additions digitales (POMP)	.58 (.38)	.51 (.37)	.36
Additions nombres arabes (POMP)	.39 (.38)	.40 (.36)	.81

^aLes *p*-valeurs sont calculées à partir d'analyses de comparaisons de moyennes pour échantillons indépendants.

3. Evolution

Nous évaluons ici le retentissement de chaque entraînement sur les résultats des enfants pour les différentes compétences étudiées. Nous cherchons ainsi à savoir si ces entraînements ont eu un impact significatif sur le développement de leurs capacités. Le Tableau 4 présente l'évolution des résultats entre le pré-test et le post-test pour chaque groupe, mesurée par leur delta. Globalement, on observe une évolution équivalente des compétences des enfants entre le groupe PMPC et le groupe PMT. Seules les performances en comptage libre du groupe PMPC semblent avoir eu une évolution significativement supérieure à celles du groupe PMT.

Tableau 4. Comparaison de l'évolution entre les groupes (PMPC et PMT).

Mesures	Delta ^a PMPC	Delta PMT	Delta <i>p</i> -valeur ^b
	Moyenne (ET)	Moyenne (ET)	
COMPETENCES GENERALES (NON SPECIFIQUES AUX MATHEMATIQUES)			
Mémoire à court terme			
Mémoire verbale (POMP)	.07 (.19)	.03 (.22)	.28
COMPETENCES SPECIFIQUES AUX MATHEMATIQUES SNA			
Lignes numériques (PAEL)	-.24 (1.23)	-.30 (1.25)	.79
Comparaison symbolique (1 digit)	2.57 (3.50)	1.94 (3.98)	.39
Comparaison symbolique (2 digits)	1.07 (4.97)	2.00 (6.28)	.41
Comparaison non-symbolique	2.89 (5.78)	3.40 (5.45)	.64
SNE (Développement de la chaîne numérique)			
Comptage libre (POMP)	.15 (.20)	.04 (.21)	.01
Comptage à partir de (POMP)	.07 (.41)	.00 (.44)	.41
Décompter (POMP)	.07 (.22)	.15 (.26)	.09
Comptage avec bornes (POMP)	.07 (.26)	.08 (.28)	.92
Développement du comptage			
Énumération (POMP)	-.02 (.29)	-.03 (.34)	.89
Lecture de nombres arabes (POMP)	.13 (.16)	.13 (.16)	.99
Ordinalité (POMP)	.11 (.25)	.17 (.25)	.24
Additions digitales (POMP)	.14 (.34)	.06 (.39)	.23
Additions nombres arabes (POMP)	.08 (.31)	.11 (.34)	.56

^aDelta = différence entre les résultats obtenus aux post- moins pré-tests, par groupe.

^bLes *p*-valeurs associés au delta sont calculées à partir d'analyses de comparaisons de moyennes pour échantillons indépendants.

Le Tableau 5 quant à lui, présente l'évolution de chaque groupe entre le pré-test et le post-test. On n'observe pas d'impact significatif du type d'entraînement sur les performances des enfants aux tâches d'énumération, de comptage à partir d'une borne ou de ligne numérique. En revanche, on observe globalement un meilleur impact du « papier-crayon » sur les tâches de système numérique exact ainsi que sur la mémoire à court terme. L'entraînement tablette semble quant à lui avoir un meilleur impact sur les tâches de système numérique approximatif. Les entraînements proposés ont également eu un impact significatif sur l'évolution de la lecture de nombres arabes et l'ordinalité, sans distinction particulière du type d'entraînement. En ce qui concerne le calcul, les additions digitales s'améliorent plus

significativement suite à l'entraînement « papier-crayon » tandis que les additions de nombres arabes évoluent mieux avec les tablettes.

Tableau 5. Comparaison des résultats obtenus aux pré- et post-tests par groupe (PMPC et PMT).

Mesures	PMPC	PMT
	T1 vs T2	T1 vs T2
<i>p</i> -valeur ^a		
COMPETENCES GENERALES (NON SPECIFIQUES AUX MATHEMATIQUES)		
Mémoire à court terme		
Mémoire verbale (POMP)	.01	.39
COMPETENCES SPECIFIQUES AUX MATHEMATIQUES		
SNA		
Lignes numériques (PAEL)	.17	.10
Comparaison symbolique (1 digit)	≤.001	.001
Comparaison symbolique (2 digits)	.12	.03
Comparaison non-symbolique	.001	≤.001
SNE (Développement de la chaîne numérique)		
Comptage libre (POMP)	≤.001	.14
Comptage à partir de (POMP)	.19	.95
Décompter (POMP)	.02	≤.001
Comptage avec bornes (POMP)	.05	.06
Développement du comptage		
Énumération (POMP)	.64	.58
Lecture de nombres arabes (POMP)	≤.001	≤.001
Ordinalité (POMP)	.002	≤.001
Additions digitales (POMP)	.004	.33
Additions nombres arabes (POMP)	.09	.03

^aLes *p*-valeurs sont calculées à partir d'analyses de comparaisons de moyennes (pré- et post-tests) pour échantillons pairés.

4. Aspects qualitatifs

Les observations présentées ici ne sont données qu'à titre qualitatif. En effet, celles-ci n'ont pas été quantifiées au cours de l'étude, il ne s'agit que d'analyses personnelles effectuées par les étudiants en orthophonie au cours des entraînements notamment. Il a par exemple été relevé que les enfants du groupe PMPC étaient, pour la majorité, particulièrement intéressés par les tablettes. Inversement, les enfants du groupe PMT auraient souhaité essayer

également les jeux de société proposés au groupe PMPC. Les activités, en collectif et en autonomie, du groupe PMPC auraient globalement été très appréciées. Pour le groupe tablette, la difficulté des items présentés était croissante. Les enfants auraient donc trouvé les premiers exercices faciles, puis un manque de motivation serait apparu au fur et à mesure de la complexification de ceux-ci. Pas de différence particulière ne semble avoir été relevée entre les deux groupes d'entraînement.

Discussion

Les entraînements « papier-crayon » ayant en partie été repris d'une autre étude (Cornu et al., 2017), nous savions initialement que ceux-ci avaient de grandes chances d'améliorer significativement les compétences numériques des enfants. Le but de cette étude était alors d'évaluer l'impact de l'utilisation des tablettes, par rapport au plus classique « papier – crayon », sur le développement des compétences mathématiques en maternelle. Au vu des écrits existants à ce sujet, nous avons supposé que les résultats du groupe tablette seraient supérieurs à ceux du groupe « papier-crayon » pour certaines épreuves telles que le calcul, l'ordinalité et le système numérique approximatif. En effet, dans la littérature, et notamment dans la méta-analyse de Goulding et Kyriacou (2008), l'utilisation de l'outil technologique aurait un impact plus important sur les domaines faisant appel à des capacités de compréhension et de raisonnement. Cependant, les auteurs relèvent également l'importance de la façon de présenter ces outils aux élèves. La réussite de l'usage de ces matériels dépendrait donc en grande partie des choix pédagogiques des enseignants (Goulding & Kyriacou, 2008 ; Karsenti & Fiévez, 2013).

Ce sont des résultats tout à fait similaires que nous avons pu observer dans cette étude portant sur des enfants de maternelle. En effet, les épreuves mettant en jeu le système numérique approximatif ont été particulièrement réussies dans le groupe PMT. De même, le calcul impliquant des nombres arabes a été significativement amélioré par l'entraînement tablette. Même constat pour la tâche d'ordinalité, même si les résultats de cette dernière épreuve ont également été améliorés dans le groupe PMPC. Les résultats observés dans notre étude, chez des enfants de maternelle, semblent similaires à ceux recensés par Goulding et Kyriacou (2008) dans leur méta-analyse, chez des enfants plus âgés.

Cependant, les résultats du groupe dit « papier-crayon » sont significatifs et conformes à nos attentes. On note par exemple que cet entraînement a eu un meilleur impact, de façon générale, sur les tâches de système numérique exact et de mémoire de travail, par rapport au groupe tablette.

Ces résultats seraient donc en lien avec la littérature déjà existante mais ne permettraient pas de mettre particulièrement en avant l'un ou l'autre des types d'entraînement. Ce qui semblerait le plus intéressant serait alors, comme le recommande le ministère de l'Éducation Nationale (2015), d'utiliser de façon complémentaire ces deux outils. Les différentes compétences pourraient ainsi se développer au mieux. De fait, les outils technologiques ayant montré leur intérêt dans plusieurs études, il serait regrettable de les laisser de côté, d'autant que ces outils sont aujourd'hui omniprésents dans notre quotidien. Parmi les avantages généraux de cet outil, on relève notamment la facilité de manipulation, et donc plus largement d'utilisation, et ce dès le plus jeune âge. De nombreux aspects pratiques sont décrits (portabilité, instantanéité de l'information, etc.). Certaines études décrivent également une

certaine diversification des interactions sociales entre élèves (Villemonteix et al., 2014). De même, la motivation des élèves est régulièrement mise en avant comme dans l'étude de Heinrich (2016). Karsenti et Fiévez (2013) évoquent cependant une hausse de la distractibilité liée à cet outil. Dans notre cas, les outils technologiques permettent particulièrement d'entraîner les compétences liées au système numérique approximatif.

D'un autre côté, la mémoire de travail et le système numérique exact pourraient être améliorés par des entraînements plus classiques de type « papier-crayon ». Cette mémoire de travail fait part ailleurs partie des cofacteurs importants dans le diagnostic de dyscalculie (Andersson & Lyxell, 2007). De fait, il a été montré que son efficacité était essentielle au bon développement des mathématiques par la suite, il est donc nécessaire de la prendre en compte. A cela s'ajoute une autre donnée : la manipulation. Celle-ci fait partie intégrante du bon développement de l'enfant. Il a besoin d'expérimenter physiquement les objets pour les comprendre, de faire du lien entre ce qu'il manipule et ce qu'il en comprend. Selon Bruner (2015), la main irait jusqu'à traduire l'intelligence instrumentale humaine. Main et intelligence serait de ce fait indéniablement liées selon cet auteur. Il semble ainsi primordial de laisser les enfants toucher et expérimenter physiquement les causes et conséquences de leurs actions. De plus, nous pensons que cette manipulation permet aux enfants de développer leur imagination, les réponses à apporter n'étant pas pré-réfléchies comme sur une application, l'enfant est libre de faire ce qu'il veut avec un cube par exemple. Ces temps de jeux permettent également de limiter le caractère impatient des enfants. De nombreuses façons de faire sont possibles, il n'y a pas de récompense ou de réponse immédiate. Les écrans tendent, à notre sens, à favoriser cette impatience en offrant entre autres des stimulations visuelles ou sonores permanentes. Toutefois, Clément et Duris (2017) insistent dans leur publication sur la différence entre un écran interactif et un écran non interactif. Ce dernier pousserait à la passivité et aurait un impact particulièrement négatif et durable sur les différents aspects du développement de l'enfant (langage, poids, attention, concentration, etc.). Les écrans interactifs en revanche, dans le cas d'un usage occasionnel et accompagné d'un adulte, pourraient s'avérer particulièrement intéressants même chez les tout-petits, notamment au niveau de la motricité fine.

Nos observations, sur l'utilisation conjointe de ces outils, sont par ailleurs confirmées par le ressenti des élèves. De fait, dans l'étude de Villemonteix et al. (2014) portant sur des enfants du primaire, ces derniers ont pu donner leur avis sur chacun des outils. L'utilisation conjointe des deux types de procédés semblait ainsi être le plus apprécié des élèves.

D'autre part, Villemonteix et al. (2014) ont montré dans leur étude que la mise en place de travaux collaboratifs sur tablette permettait de favoriser et de diversifier les interactions sociales des enfants. Dans notre recherche, les activités proposées se réalisaient principalement en autonomie, peu d'échanges ont alors pu être observés. Afin de pouvoir effectuer une réelle comparaison il serait donc intéressant de pousser l'étude plus loin. De plus, en dépit de l'accroissement de motivation initiale de l'utilisation de la tablette, Karsenti et Fiévez (2013) ont montré que la distractibilité des élèves était plus importante avec ce type d'outil. Effectivement, les étudiants proposant les entraînements ont relevé avoir un peu plus de difficultés à animer les groupes PMT, du fait de la distractibilité et du manque de motivation des élèves au fur et à mesure de la complexification des items. Nous rappelons qu'il s'agit-là d'observations qualitatives qui n'ont pu être mesurées au cours de l'étude.

1. Implications de ces résultats pour la prise en charge orthophonique

1.1. Les mathématiques en orthophonie

Le domaine de la cognition mathématique fait partie depuis peu du champ de compétences des orthophonistes. Récemment incluse dans la formation initiale, l'étude de ce trouble des apprentissages est encore relativement peu connue. De façon générale, une faiblesse du QI ou un manque de motivation sont souvent invoqués comme cause principale des difficultés mathématiques. Pourtant, on évalue le nombre d'enfants d'âge scolaire présentant une dyscalculie à environ 6-7 % de la population (Butterworth, 2008). Il s'agit bien d'un trouble. La comorbidité avec d'autres troubles des apprentissages est également monnaie courante. En effet, on estime à 25 % la comorbidité dyscalculie-dyslexie (Huc-Chabrolle, Barthez, Tripi, Barthélémy, & Bonnet-Brilhault, 2010), et environ 25,7 % dyscalculie-trouble de l'attention et de l'hyperactivité (Shalev et Gross-Tsur, 1993, cité dans Soppelsa, Albaret, & Corraze, 2009). Les patients se présentant en consultation sont généralement plus âgés que ceux présentant d'autres types de pathologies (retard de langage, oralité, trouble du développement, etc.). Il n'est par exemple pas rare de suivre des adolescents pour ce type de difficultés. Or, comme nous avons pu le voir auparavant, les compétences mathématiques se développent dès le plus jeune âge. Dès la naissance, le bébé aurait par exemple des capacités de traitement approximatif des quantités (Brannon, 2006). Plus largement, le développement correct des compétences mathématiques, par une bonne installation des prérequis numériques en maternelle notamment, conditionnerait la suite des apprentissages, réussite ou échec dans différentes matières, de façon plus générale (Clark, Pritchard, & Woodward, 2010). Afin de prévenir les difficultés potentielles, il paraît alors essentiel de porter une attention particulière sur le développement des capacités numériques primaires. Rares sont les études s'étant intéressées aux apprentissages en maternelle, d'où le sujet de l'étude menée ici. En ce sens, l'intervention orthophonique, par des actions de prévention, est à considérer. Par ce biais, il serait possible d'inciter les parents à jouer avec leur enfant à des jeux de plateaux par exemple, ce qui participerait à l'acquisition de certaines connaissances mathématiques selon Ramani & Siegler (2008). Le rôle de l'orthophoniste dans ce cadre serait donc plus de l'ordre de la prévention et de la prise en charge précoce, afin de limiter, anticiper, ou résorber lorsque cela est possible, les difficultés pouvant exister.

1.2. L'usage des tablettes en rééducation

D'autre part, les applications sur tablette se développent aujourd'hui à une vitesse impressionnante. Pour donner un ordre d'idées, en tapant sur le moteur de recherche Google les mots-clés « applications », « tablette », « mathématiques » et « maternelle », le nombre de résultats obtenus est d'environ 5 400 000. La plupart des logiciels dédiés à l'orthophonie sont développés sur ordinateur. Parmi les plus utilisés dans les cabinets, on retrouve la marque Happyneuron qui propose notamment le logiciel de bilan Examath 8-15 (Lafay & Helloin, 2016), ainsi que les logiciels de rééducation DéCaLigne (Helloin & Lafay, 2018), et SUBÉCAL (Lafay & Helloin, 2019). Le site internet cognitionmath.com est également dédié à la rééducation orthophonique.

Cependant, au vu de l'usage toujours plus important des écrans au sein des foyers, et même chez les tout petits, la majorité des orthophonistes mènent une campagne de prévention contre les écrans relativement massive. De l'affiche dans la salle d'attente aux conseils donnés lors de l'anamnèse, puis au cours de la rééducation, les orthophonistes cherchent à sensibiliser au maximum. Toutefois, et malgré les différentes complications techniques pouvant se présenter (batterie, connexion internet, etc.) (Villemonteix & Khaneboubi, 2012), de plus en plus de tablettes, et autres dispositifs technologiques, semblent faire leur apparition dans les cabinets, comme nous avons pu l'observer au cours de nos différents stages. En effet, les nouvelles possibilités, ainsi que les nouvelles pistes de rééducation, confèrent à ces outils un aspect très attrayant. Face à ces changements, les orthophonistes ont la volonté de faire évoluer leur prise en charge en s'adaptant notamment aux nouveaux éléments à disposition, et selon les recommandations issues des articles scientifiques existants.

Partant de ces constats, il conviendrait donc d'utiliser ces appareils de façon raisonnée. Pour cela, il est nécessaire de toujours garder en tête nos objectifs et de toujours chercher à s'adapter au profil du patient. Il ne serait pas approprié d'utiliser les écrans toute la journée, pour tous les patients. De plus, l'introduction de ce nouveau support ne doit pas pour autant remplacer ce qui était installé au préalable. Dans le cadre d'une rééducation en cognition mathématique, la manipulation, comme nous l'avons déjà vu, reste un principe immuable.

1.3. Elargissement de l'usage de la tablette dans la pratique orthophonique

D'après les résultats observés dans cette étude, la tablette ferait ses preuves dans certains domaines de la cognition mathématique, mais également dans l'installation des prérequis mathématiques. Elle pourrait donc être utilisée à ce titre en prise en charge orthophonique. Mais son usage ne serait pas seulement limité à ce type de rééducation. En effet, son utilisation peut s'élargir à différents types de prises en charge orthophoniques. L'utilisation de cet outil avec des enfants dyspraxiques ou dysgraphiques pourrait notamment s'avérer intéressante. De fait, les élèves soulignent avoir moins de douleurs au poignet grâce à la tablette, par rapport à l'utilisation du crayon (Villemonteix et al., 2014). Dans cette même étude, les auteurs relèvent la facilité d'accommodation des enfants à cet outil, et qui en auraient un usage naturel, presque intuitif. Ces éléments représentent ainsi de nouvelles pistes de rééducation pour ces enfants présentant des difficultés praxiques. D'autres usages de la tablette pourraient encore être proposés en prise en charge orthophonique.

1.4. Réflexion personnelle

De nos jours, les enfants sont presque continuellement confrontés aux écrans : télévision, téléphone portable, tablette, etc. Or, des études ont montré qu'une utilisation trop importante et non appropriée de ceux-ci pouvait être particulièrement néfaste pour le développement des fonctions cognitives. Parmi les domaines les plus atteints on retrouve la réussite scolaire, le langage, l'attention et le sommeil. On observe également une augmentation de l'agressivité (Harlé & Desmurget, 2012). Bach, Houdé, Léna et Tisseron (2013) ajoutent que l'on peut observer, au niveau du comportement, un certain repli sur soi ainsi qu'un manque de concentration et d'attention. Ils recommandent que les enfants aient une activité physique suffisante, et conseillent une utilisation cadrée et accompagnée des

écrans. Pour notre part, nous pensons que l'usage des outils technologiques peut être néfaste s'il n'est pas fait en bonne intelligence. Les milieux défavorisés semblent être, selon ce que nous avons pu observer en stage, les plus importants consommateurs d'écrans. En effet, il semble ressortir des anamnèses que ces enfants jouent peu à des jeux de construction et de manipulation, font peu de jeux symboliques, mais passent beaucoup de temps devant ces écrans. Il nous paraît donc beaucoup plus intéressant de leur présenter, lors des séances d'orthophonie, de nouvelles activités, de nouvelles façons de jouer. Les jeux de plateau, et autres, favorisent l'interaction tandis que les jeux sur ordinateur ou tablette, même s'ils sont adaptés à leur âge, tendent à limiter les échanges et installent l'enfant dans un certain isolement. On revient alors à la notion de repli sur soi évoquée dans l'étude de Bach et al. (2013). Ce sont également des enfants ayant généralement moins de patience et présentant une moins bonne tolérance à la frustration. L'orthophoniste étant le spécialiste du langage et de la communication, il serait par conséquent regrettable de ne pas proposer de situations d'échange à nos patients, qu'ils viennent pour un retard de langage ou pour un trouble du calcul et du raisonnement. Cependant, et en accord avec plusieurs études, l'usage de ces nouvelles technologies favorise une certaine autonomie, ce dès le plus jeune âge, et permet de développer certaines compétences comme nous l'avons vu au préalable. Il conviendrait donc d'avoir un usage réfléchi, ciblé et occasionnel de ces outils au sein de nos rééducations.

2. Limites de l'étude et suite de Kids-eStim

Plusieurs limites ont été observées au cours de la recherche. Les conditions de passation notamment, n'ont pas pu être exactement les mêmes en fonction des établissements qui nous accueillait. Nous ne pouvions pas toujours avoir une salle au calme, ou certaines classes dans lesquelles s'effectuaient les passations affichaient des notions mathématiques aux murs par exemple. Un léger biais au niveau des examinateurs a également pu être observé. En effet, malgré la formation de ceux-ci et la volonté d'effectuer les corrections en groupe, la façon de noter n'a pas toujours été exactement la même. Enfin, les délais entre les différentes passations et entraînements n'ont pas toujours pu être respectés, faute de disponibilités de la part des étudiants ou des établissements participants à l'étude.

Pour faire suite aux résultats obtenus, il serait intéressant de reproduire ce protocole dans des milieux scolaires défavorisés. En effet, Ramani et Siegler (2008) ont montré dans leur étude que des enfants issus de milieux défavorisés, et ayant, de moins bonnes compétences mathématiques à l'entrée à l'école, seraient en capacité de rattraper leur retard grâce à un entraînement adapté. Une comparaison entre les résultats obtenus par les enfants de la circonscription d'Arras et cette nouvelle population serait donc intéressante. Des résultats plus importants pourraient y être attendus. Ceci s'expliquerait notamment par les possibilités de présentation non-verbale offertes par l'outil tablette. En effet, les enfants se trouvant en situation de bilinguisme seraient ainsi sur le même pied d'égalité que les autres enfants, ne devant faire appel qu'à des capacités de compréhension non-verbale, sans barrière de la langue.

Il serait également intéressant d'obtenir des données plus importantes concernant la motivation, la concentration et les types d'échanges provenant de chacun des types d'entraînement. Ceci, afin de ne pas se limiter à l'observation de l'évolution des compétences mais bien d'avoir une vision plus large de l'impact de tel ou tel entraînement.

Conclusion

De nos jours, les outils technologiques font partie intégrante de notre quotidien. A la maison, dans la rue et même à l'école. En effet, de nombreux établissements investissent, selon les recommandations de l'Education Nationale, dans des tablettes et autres outils interactifs. Cependant nous avons actuellement peu de recul quant aux impacts de leur utilisation sur le développement cognitif des enfants. De fait, il existe encore peu d'études sur le sujet, qui s'intéressent au domaine de la cognition mathématique ou à une population d'enfants de maternelle. C'est pourquoi nous avons choisi de nous intéresser à l'impact de la tablette, par rapport à une utilisation plus classique de type « papier-crayon », dans le cadre du développement des mathématiques chez des enfants de maternelle.

Pour cette étude nous avons recruté 157 enfants de la circonscription d'Arras, de moyenne et de grande section de maternelle (4-6 ans). Suite à un pré-test permettant d'évaluer leurs profils cognitivo-numériques, ces enfants ont été répartis dans trois groupes d'entraînements :

- Groupe prémath « papier-crayon »
- Groupe prémath tablette numérique
- Groupe « capacités visuo-spatiales » (Non traité dans ce mémoire).

Ces sessions d'entraînements ont été dispensées, par des étudiants en orthophonie et les enseignants, pendant 10 semaines à raison de 2 séances de 30 minutes par semaine. L'évolution des performances a ensuite été objectivée grâce à un post-test. Afin d'observer un éventuel impact de ces interventions sur le long terme, des post-tests de maintien ont été proposés à une distance de 6 mois, mais les résultats ne font pas l'objet de ce mémoire.

Dans cette étude, nous avons montré que les tâches du système numérique approximatif avaient été particulièrement améliorées pour le groupe tablette. De même, ce type d'entraînement a permis d'améliorer significativement les résultats des tâches de calcul et d'ordinalité. D'autre part, l'entraînement classique dit « papier-crayon » a quant à lui permis d'améliorer les performances du système numérique exact, de mémoire à court terme et d'ordinalité. Ces résultats sont par ailleurs en accord avec la littérature existante.

Une utilisation conjointe des deux outils semble donc être le plus approprié. Le développement de chaque compétence sera ainsi optimum, chaque outil permettant le développement d'une capacité ciblée. En outre, les résultats des différentes études et les avis des élèves interrogés à ce sujet, vont également dans ce sens d'une utilisation conjointe.

Au niveau orthophonique, l'étude menée ici présenterait plus d'implications théoriques, sous forme d'actions de prévention, que pratiques. Prévention autour de l'usage parfois abusif des écrans, mais également autour du développement précoce des compétences mathématiques et leur prise en charge afin d'éviter des difficultés sur le long terme. L'utilisation de la tablette pourrait également être élargie à d'autres pathologies faisant partie du champ de compétences de l'orthophoniste telles que la dyspraxie ou la dysgraphie.

Enfin, cette étude gagnerait à être reconduite au sein de milieux défavorisés, car une distinction plus forte entre les deux types d'entraînement semblerait pouvoir se dégager, selon la littérature. Une analyse plus précise des aspects motivationnel, distractibilité et quantité d'échanges, en fonction de l'outil utilisé, pourrait également apporter un plus à cette étude.

Bibliographie

- Andersson, U., & Lyxell, B. (2007). Working memory deficit in children with mathematical difficulties : A general or specific deficit ? *Journal of Experimental Child Psychology*, 96(3), 197-228.
- Baudé, J. (2015). *Le plan « Informatique pour tous »*. (5).
- Besnier, S., & Gueudet, G. (2016). *Usages de ressources numériques pour l'enseignement des mathématiques en maternelle : orchestrations et documents*. 9(21).
- Brannon, E. M. (2006). The representation of numerical magnitude. *Current Opinion in Neurobiology*, 16(2), 222-229.
- Bull, R., & Scerif, G. (2001). Executive Functioning as a Predictor of Children's Mathematics Ability : Inhibition, Switching, and Working Memory. *Developmental Neuropsychology*, 19(3), 273-293.
- Bulletin officiel de l'éducation nationale. (2015). *Programme de l'école maternelle* (N° 2). Ministère de l'éducation nationale, de l'enseignement supérieur et de la recherche.
- Carlsen, M., Erfjord, I., Hundeland, P. S., & Monaghan, J. (2016). Kindergarten teachers' orchestration of mathematical activities afforded by technology : agency and mediation. *Educational Studies in Mathematics*, 93(1), 1-17.
- Clark, C. A. C., Pritchard, V. E., & Woodward, L. J. (2010). Preschool executive functioning abilities predict early mathematics achievement. *Developmental Psychology*, 46(5), 1176-1191.
- Cornu, V., Pazouki, T., Schiltz, C., Fischbach, A., & Martin, R. (2018, janvier 11). *Surmonter les barrières linguistiques avec « MaGrid » - un outil de formation de pré-mathématiques pour un contexte scolaire multilingue*. Présenté à 30e colloque de l'ADMEE, Luxembourg.
- 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.
- CREDOC. (2017). *Baromètre du numérique 2017* (N° 17e édition). Consulté à l'adresse Ministère de l'économie et des finances website : https://www.arcep.fr/index.php?id=8571&no_cache=0&tx_gsactualite_pi1%5Buid%5D=2097&tx_gsactualite_pi1%5Bannee%5D
- Dehaene, S. (2011). *The number sense : How the mind creates mathematics* (Revised and Updated Edition).
- Dehaene, S., & Cohen, L. (2007). Cultural Recycling of Cortical Maps. *Neuron*, 56(2), 384-398.
- DEPP. (2015). *L'équipement informatique a doublé en dix ans dans les collèges publics*. Ministère de l'éducation nationale, de l'enseignement supérieur et de la recherche.
- 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).
- Desoete, A., & Grégoire, J. (2006). Numerical competence in young children and in children with mathematics learning disabilities. *Learning and Individual Differences*, 16(4), 351-367.
- Dror, D. (2011). *L'attrape-nombres : [Jeu éducatif]*. Consulté à l'adresse <http://www.attrape-nombres.com/an/home.php?lang=fr>

- Duncan, G. J., Dowsett, C. J., Claessens, A., Magnuson, K., Huston, A. C., Klebanov, P., ... Japel, C. (2007). School readiness and later achievement. *Developmental Psychology*, 43(6), 1428-1446.
- Dutrévis, M., & Toczec, M.-C. (2007). Perception des disciplines scolaires et sexe des élèves : le cas des enseignants et des élèves de l'école primaire en France. *L'Orientation scolaire et professionnelle*, (36/3), 379-400.
- Fuhs, M. W., & McNeil, N. M. (2013). ANS acuity and mathematics ability in preschoolers from low-income homes : contributions of inhibitory control. *Developmental Science*, 16(1), 136-148.
- Heinrich, P. (2016). *The IPAD as a tool for education : A study of the introduction of iPads at Longfield Academy, Kent*. Consulté à l'adresse Naace website : https://learningfoundation.org.uk/wp-content/uploads/2015/12/Longfield-The_iPad_as_a_Tool_for_Education.pdf
- Helloin, M.-C., & Lafay, A. (2018). *DéCaLigne, un programme d'intervention pour la Découverte du Calcul avec la Ligne numérique*. Grenade : HappyNeuron.
- Karsenti, T., & Fiévez, A. (2013). *L'iPad à l'école : usages, avantages et défis. Résultats d'une enquête auprès de 6057 élèves et 302 enseignants du Québec (Canada)*. (CRIFPE). Consulté à l'adresse http://karsenti.ca/ipad/rapport_iPad_Karsenti-Fievez_FR.pdf
- Kosc, L. (1974). Developmental Dyscalculia. *Journal of Learning Disabilities*, 7(3).
- Kyttälä, M. (2008). Visuospatial working memory in adolescents with poor performance in mathematics : variation depending on reading skills. *Educational Psychology*, 28(3), 273-289.
- Lafay, A., & Helloin, M.-C. (2016). *Examath 8-15, batterie informatisée d'examen des habiletés mathématiques*. Grenade : HappyNeuron.
- Lafay, A., & Helloin, M.-C. (2019). *SUBÉCAL, un programme d'intervention basé sur le subitizing et le dénombrement pour le développement du calcul*. Grenade : HappyNeuron.
- Lafay, A., Saint-Pierre, M.-C., & Macoir, J. (2013). Développement des systèmes numériques non symboliques et prédicteurs de réussite mathématique. *Glossa*, (112).
- Lafontaine, D., Crépin, F., & Quittre, V. (2017). Les compétences des jeunes de 15 ans en sciences, en mathématiques et en lecture. Résultats de l'enquête PISA 2015, en Fédération Wallonie-Bruxelles. *Les cahiers des sciences de l'éducation*, (37).
- Lyons, I. M., & Beilock, S. L. (2012). When Math Hurts : Math Anxiety Predicts Pain Network Activation in Anticipation of Doing Math. *PLoS ONE*, 7(10).
- Ma, X. (1999). A Meta-Analysis of the Relationship between Anxiety toward Mathematics and Achievement in Mathematics. *Journal for Research in Mathematics Education*, 30(5).
- Mercklé, P., & Octobre, S. (2012). La stratification sociale des pratiques numériques des adolescents. *RESET*, (1).
- Ministère des solidarités et de la santé. (2018). *Nomenclature générale des actes professionnels* [Journal officiel de la République Française].
- Nougier, J. P. (2001). *Méthodes de calcul numérique* (Hermès).
- OCDE. (2014). *Résultats du PISA 2012 : Des élèves prêts à apprendre : Engagement, motivation et image de soi (Volume III)* [PISA].
- Piaget, J., & Szeminska, A. (1941). *La genèse du nombre chez l'enfant*. Oxford, Royaume-Uni : Delachaux, Niestle.

- Pierrard, A. (2011). *Faire des mathématiques à l'école maternelle*. Grenoble : CRDP de l'Académie de Grenoble.
- Rajotte, T., Giroux, J., & Voyer, D. (2014). Les difficultés des élèves du primaire en mathématiques, quelle perspective d'interprétation privilégier? *McGill Journal of Education*, 49(1).
- 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.
- 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.
- UNESCO. (1979). L'enfant et le jeu : approches théoriques et applications pédagogiques. *Etudes et documents d'éducation*, (34).
- Vauthier, M., Paquet, Y., Krumm, C.-M., & Tarquinio, C. (2017). Vers une nouvelle appréhension des mathématiques par traitement EMDR : actualités et perspectives. *Psychologie Française*.
- Villemonteix, F., Hamon, D., Nogry, S., Séjourné, A., Hubert, B., & Gélis, J.-M. (2014). *Expérience tablettes tactiles à l'école primaire - ExTaTE*. Laboratoire EMA.
- Villemonteix, F., & Khaneboubi, M. (2012). *Utilisations de tablettes tactiles à l'école primaire*. Consulté à l'adresse Journées Communication et Apprentissage Instrumentés en Réseau website : <https://edutice.archives-ouvertes.fr/edutice-00765323/>
- Wickert, G. (2015). Témoignage et pratique au quotidien d'une orthophoniste sur l'utilisation d'une tablette comme outil compensatoire des troubles d'apprentissage. *Rééducation orthophonique*, (264).
- Wilson, A. J., Dehaene, S., Dubois, O., & Fayol, M. (2009). Effects of an Adaptive Game Intervention on Accessing Number Sense in Low-Socioeconomic-Status Kindergarten Children. *Mind, Brain, and Education*, 3(4).

