

MÉMOIRE

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

Noémie POITOU

présenté au jury en juin 2020

**Stimulation des prérequis mathématiques
Proposition d'une mallette de jeux à destination des parents
et des professionnels de la petite enfance**

MÉMOIRE dirigé par
Sandrine MEJIAS, Maître de conférences, Université de Lille, Lille

Lille – 2020

Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier l'ensemble des personnes ayant contribué à ce mémoire.

Marie, sans toi ce travail n'aurait pas été le même. Merci pour tout, de ton sens du détail à ta motivation !

Madame Mejias, vous avez su nous soutenir et nous rassurer malgré les nombreux aléas. Merci pour votre écoute, votre disponibilité et votre bienveillance.

Madame Fragnon, votre enseignement a porté ses fruits : je pense « triple code ». Merci pour les réflexions que vous nous avez apportées, pour ce mémoire et avant.

À l'ensemble des membres du jury : merci pour votre intérêt et le temps consacré à la lecture de ce mémoire.

À l'équipe Kids e-Stim 2018-2020 et future et à l'équipe luxembourgeoise : merci pour votre aide et votre sens du partage.

À tous les yeux attentifs qui se sont posés sur les différentes versions : un immense merci pour votre investissement !

Je souhaite également remercier mes merveilleuses maîtres de stage et leurs patients, l'équipe administrative et pédagogique du département, mon indéfectible partenaire de forums (et bien plus) et la promotion 2020 : vous avez tous contribué à faire grandir la graine d'orthophoniste qui est arrivée à Lille il y a cinq ans.

Enfin, je remercie plus personnellement six petits chats impertinents et sept loutres du chemin vert, des montagnards beaux et forts et des sudistes ensoleillés, une passionnée de poivre, une amoureuse de thé gingembre-citron, des amis et des futures orthophonistes loin des yeux mais près du cœur.

Résumé :

La prévention des difficultés mathématiques commence dès la maternelle, sous la forme d'un accompagnement parental ou d'interventions scolaires de stimulation des prérequis mathématiques. Il est alors important de fournir des outils de stimulation à l'entourage des jeunes enfants. L'efficacité des jeux de société a été démontrée. Face à l'utilisation croissante des nouvelles technologies, pourtant décriées, il est aussi nécessaire d'évaluer l'éventuelle plus-value des tablettes, en comparant l'efficacité d'entraînements prémathématiques utilisant ces deux supports et appariés en durée d'intervention et en aptitudes visées.

Nous avons analysé les codes numériques, les compétences et les numérosités abordés dans deux entraînements préexistants supportés par 30 jeux de société et 54 activités sur tablette, ainsi que l'appariement entre ces entraînements. De nombreuses différences ayant été relevées, de nouveaux jeux de société entièrement appariés aux activités sur tablette ont été créés.

Nous proposons ainsi une mallette de 18 jeux de société – dont 10 possédant plusieurs variantes – appariés à 37 activités sur tablette. Ces jeux et activités travaillent certaines compétences prédictives des aptitudes mathématiques futures. Ils sont organisés selon une progression prenant en compte les numérosités travaillées et, en seconde intention, les codes numériques présentés.

Leur utilisation dans des études interventionnelles permettra de soulever des pistes d'amélioration des jeux de société et de comparer les bénéfices des deux supports. Les orthophonistes pourront s'appuyer sur ces résultats pour accompagner les parents d'enfants à risque de difficultés mathématiques. Ils pourront aussi leur transmettre les jeux de société, qui seront prochainement accessibles gratuitement, accompagnés d'une notice d'utilisation de la mallette.

Mots-clés :

compétences mathématiques précoces, stimulation, maternelle, jeux de société, tablettes

Abstract :

Preventing mathematics difficulties starts as early as preschool, with parental guidance or school interventions focusing on early mathematics abilities. It is thus fundamental to provide tools to parents and teachers. The effectiveness of play-based activities (e.g., board or cards games) has been proven. Considering the increasing use of new technologies, although widely criticized, it seems necessary to evaluate the possible benefits of tablets, by comparing the efficiency of matched mathematics trainings using these two medias.

We analyzed 30 play-based activities and 54 tablet activities used in a previous interventional study and the matching between these two training programs. We focused on the numerical codes, the mathematics skills and the numerical range it covered. Numerous discrepancies were found, so we created new play-based activities strictly paired with the tablet activities.

We therefore present a package containing 18 play-based activities – 10 of which have several variations – matched with 37 tablet activities. These activities target skills identified as

« arithmetic efficiency predictors ». They follow a gradation which considers the numerical range and the numerical codes involved.

The use of these activities in interventional studies will allow to suggest improvements of the play-based activities and to compare the benefits of the two medias. Speech and language therapists will have the possibility to rely on these results to offer advice to parents of children at risk for developing mathematics difficulties. The play-based activities, soon available and free of charge, along with instructions for using the package, could then be shared with the parents.

Rebords :

early mathematical skills, intervention, preschool, play-based activities, tablets

Table des matières

| | |
|---|-----------|
| Introduction..... | 1 |
| Contexte théorique, buts et hypothèses..... | 2 |
| 1. Les compétences mathématiques précoces..... | 2 |
| 1.1. Qu'est-ce que « le nombre » ?..... | 2 |
| 1.1.1. La représentation analogique..... | 2 |
| 1.1.2. Les codes symboliques..... | 3 |
| 1.2. Le développement des compétences mathématiques : un modèle en quatre étapes...3 | |
| 1.2.1. Un système numérique de base chez le très jeune enfant..... | 4 |
| 1.2.2. Le développement du code verbal à l'école maternelle..... | 4 |
| 1.2.3. L'entrée dans les apprentissages formels : le code arabe..... | 6 |
| 1.2.4. La ligne numérique mentale ordinale, deuxième niveau du sens du nombre....6 | |
| 1.3. Quels attendus à quel âge ?..... | 7 |
| 1.3.1. Quelques âges-repères à retenir..... | 7 |
| 1.3.2. Les attendus en fin d'école maternelle en France..... | 7 |
| 2. Le rôle de l'environnement..... | 8 |
| 2.1. Les habitudes parentales..... | 8 |
| 2.2. L'intérêt des jeux de plateaux..... | 9 |
| 3. Les entraînements dans la recherche, des pistes pour l'école ?..... | 10 |
| 3.1. Les cibles de l'entraînement : système numérique exact, système numérique approximatif..... | 10 |
| 3.2. L'apport des nouvelles technologies..... | 11 |
| 3.2.1. Les écrans, un média controversé..... | 11 |
| 3.2.2. La tablette, un nouveau mode de stimulation des mathématiques ?..... | 12 |
| 4. Buts et hypothèses du mémoire..... | 14 |
| 4.1. Objectifs de prévention..... | 14 |
| 4.2. Objectifs de recherche..... | 15 |
| Méthode..... | 15 |
| 1. Description du matériel collecté..... | 15 |
| 2. Axes d'étude du matériel..... | 16 |
| 3. Critères de création du nouveau matériel..... | 16 |
| Résultats..... | 17 |
| 1. Avant : analyse des activités proposées dans la précédente étude et de leur appariement | 17 |
| 1.1. Analyse des activités prémathématiques sur tablette..... | 17 |
| 1.1.1. Codes numériques présents..... | 17 |
| 1.1.2. Compétences abordées..... | 18 |
| 1.1.3. Progression des entraînements..... | 18 |

| | |
|---|-----------|
| 1.2. Analyse des jeux de société prémathématiques..... | 19 |
| 1.2.1. Codes numériques présents..... | 19 |
| 1.2.2. Compétences abordées..... | 19 |
| 1.2.3. Progression des entraînements..... | 20 |
| 1.3. Qualité de l'appariement..... | 20 |
| 1.3.1. Comparaison d'ensemble des deux entraînements..... | 20 |
| 1.3.2. Comparaison par activités synchrones..... | 22 |
| 2. Après : vers une mallette progressive contenant des entraînements appariés..... | 22 |
| 2.1.1. Modification de l'ordre de certaines activités tablette..... | 22 |
| 2.1.2. Présentation générale des jeux de société..... | 23 |
| 2.1.3. Appariement des activités libres du dernier entraînement..... | 23 |
| 2.1.4. Contenu de la mallette..... | 24 |
| Discussion..... | 24 |
| 1. Choix effectués lors de l'analyse et limites..... | 24 |
| 2. Comparaison du contenu de la nouvelle mallette avec les données de la littérature..... | 25 |
| 2.1. Compétences stimulées et compétences prédictives..... | 25 |
| 2.2. Les limites de l'entraînement sur tablette..... | 26 |
| 2.3. Les jeux de société : une double limite..... | 26 |
| 3. Pistes de développement futur..... | 27 |
| 4. Perspectives orthophoniques..... | 28 |
| Conclusion..... | 28 |
| Bibliographie..... | 30 |
| Liste des annexes..... | 36 |
| Annexe n°1 : Avant – activités proposées dans la précédente étude et appariement..... | 36 |
| Annexe n°2 : Après – activités proposées dans la nouvelle mallette et compétences travaillées..... | 36 |
| Annexe n°3 : Livret d'utilisation de la mallette..... | 36 |

Introduction

Dans la société actuelle, les mathématiques font partie intégrante du quotidien. Leur maîtrise joue un rôle primordial dans l'épanouissement scolaire, l'intégration sociale et l'avenir professionnel (Duncan, Dowsett, et al., 2007 ; Chiswick, Lee, & Miller, 2003 ; Ritchie & Bates, 2013 ; cités par Cornu, 2018).

Des capacités innées permettant de traiter les nombres sont retrouvées à travers les espèces et les cultures. Rats, singes, bébés, peuples de cultures dites « primitives », tous peuvent comparer et estimer approximativement des grandes quantités et s'en représenter précisément des petites (Feigenson, Dehaene, & Spelke, 2004). Le développement du langage et la confrontation aux nombres arabes permet ensuite à ceux qui y sont exposés d'associer des symboles à ces représentations analogiques et de développer de nouvelles compétences telles que l'arithmétique (von Aster & Shalev, 2007).

Pourtant, nous ne sommes pas tous égaux face aux nombres. Des difficultés peuvent apparaître à différents niveaux, les apprentissages numériques faisant en outre intervenir des facteurs cognitifs (ex. langage, mémoire de travail, traitement visuo-spatial), socio-émotionnels et environnementaux (Kaufmann, Wood, Rubinsten, & Henik, 2011).

La rééducation orthophonique vise à réduire et compenser ces difficultés (Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche, 2013). Cependant, nous pouvons constater que les enfants sont souvent pris en charge tardivement – Thominet (2018) observe par exemple une formulation fréquente de la première plainte entre neuf et onze ans – alors que des écarts inter-individuels dans les habiletés numériques de base sont observés dès les moyenne et grande sections de maternelle (MSM et GSM) d'après Mejias et Schiltz (2013). La prévention des difficultés mathématiques, qui appartient aussi au champ de compétences des orthophonistes, est donc un enjeu majeur. Elle peut notamment prendre la forme de sensibilisations auprès de l'entourage des jeunes enfants, ainsi que d'interventions de stimulation des compétences mathématiques précoces (ex. Starkey, Klein, & Wakeley, 2004).

Dans le cadre du projet KIDS e-Stim mené par l'Université de Lille et au sein duquel se situe ce mémoire, des entraînements prémathématiques progressifs et appariés ont été imaginés sur deux supports : des tablettes – à partir d'activités issues de Pazouki et al. (2018) – et des jeux de société. Ils visent à stimuler les compétences mathématiques précoces et à comparer les bénéfices apportés par chaque support. L'objet du présent mémoire est la révision de l'appariement entre les entraînements proposés sur les deux supports. Une nouvelle mallette de jeux de société stimulant les prérequis mathématiques sera ainsi créée. Le matériel constituera un outil de recherche en sciences cognitives. Il pourra être utilisé dans des études interventionnelles afin (1) de valider son efficacité et (2) de comparer son apport à celui des activités prémathématiques sur tablette numérique, auxquelles il sera apparié en matière de compétences et numérosités travaillées. Ces activités pourront aussi être utilisées au quotidien par les parents ainsi que par différents professionnels de la petite enfance, notamment les enseignants de maternelle.

Dans un premier temps, nous situerons notre travail dans un contexte théorique : nous définirons la notion de nombre et présenterons le développement mathématique précoce, nous mettrons en avant le rôle des stimulations parentales et des interventions en milieu scolaire. Ensuite, la méthodologie du mémoire sera détaillée. Les résultats concernant l'appariement des entraînements d'origine et les modifications apportées seront enfin présentés et discutés.

Contexte théorique, buts et hypothèses

En premier lieu, des notions concernant le développement des compétences mathématiques précoces sont apportées. Le rôle de l'environnement et des stimulations parentales est ensuite mis en avant. Enfin, nous présentons différentes cibles et de nouveaux supports des entraînements prémathématiques.

1. Les compétences mathématiques précoces

Les mathématiques sont « *une science qui étudie [...] les propriétés d'objets abstraits et les relations qui s'établissent entre eux* » (Brin, Courrier, Lederlé, & Masy., 2011). Par *objets abstraits* sont entendus les figures géométriques, l'espace... les nombres. Mais comment se représente-t-on les nombres ?

1.1. Qu'est-ce que « le nombre » ?

D'après Dehaene (1992), les nombres sont représentés mentalement et manipulés sous trois formats (Figure 1) : les codes analogique, verbal et visuel.

Ces codes sont utilisés pour la réalisation de toute tâche faisant appel aux nombres. La mise en correspondance des codes est désignée par le terme de *mapping sémantique*. Le *transcodage* fait référence au passage d'un code à l'autre.

1.1.1. La représentation analogique

Le code analogique correspond au « sens du nombre ». C'est une représentation non symbolique des quantités, présente de façon innée au travers des espèces et des cultures. Il reposerait sur deux systèmes numériques de base, que nous détaillons ci-dessous (Feigenson et al., 2004).

Le système numérique exact, ou précis (SNE)

Le système numérique exact permet de percevoir et traiter intuitivement, rapidement et précisément de petites quantités sans les compter, selon un processus nommé *subitizing*. Il est admis que cette capacité est limitée à des collections de trois ou quatre éléments (Lafay, Saint-Pierre, & Macoir, 2013 ; Obersteiner, Reiss, & Ufer, 2013).

Des performances similaires, mais résultant d'un apprentissage, seraient possibles pour de plus grandes numérosités lorsque les collections sont présentées sous forme de patterns organisés en représentations canoniques. Le terme de *subitizing conceptuel* est alors utilisé (Obersteiner et al., 2013). Ces représentations sont dépendantes des cultures (ex. dans notre société : représentations des doigts, constellations de points comme sur un dé). Chacun apprend à reconnaître les représentations canoniques propres à sa culture en y étant exposé.

Le système numérique approximatif (SNA)

Le système numérique approximatif permet de percevoir et traiter approximativement de plus larges quantités, grâce aux processus d'*estimation* et de *comparaison* (Lafay et al., 2013). Contrairement au SNE, un objet concret ne correspond pas à une représentation mentale précise : les représentations y sont continues, modélisées sur une ligne numérique.

La ligne numérique mentale (LNM)

Le sens du nombre serait représenté mentalement sous la forme d'une ligne numérique orientée spatialement de gauche à droite et obéissant à une compression logarithmique : à gauche, les petites quantités y seraient ainsi bien différenciées, permettant un traitement exact. Plus les quantités augmentent, plus leurs représentations seraient situées à droite et plus elles seraient compressées. Deux effets en découlent dans des tâches de comparaison de nombres arabes ou verbaux ou de quantités analogiques (i.e., « quelle quantité est la plus grande ? ») : l'effet de distance – il est plus facile et rapide de comparer des quantités éloignées l'une de l'autre ; et l'effet de taille – pour une même distance, la comparaison est plus simple et rapide pour les petites quantités (Dehaene, 2010).

Cette LNM serait aussi activée lors de tâches d'estimation (i.e., « combien ? ») et de placement de quantités sur une ligne numérique représentée physiquement (ex. placer un nombre sur une droite annotée 0 à gauche et 10 à droite).

1.1.2. Les codes symboliques

Les codes symboliques reposent sur des symboles choisis arbitrairement et dépendant des cultures. Le code verbal se rapporte à la forme verbale orale et écrite des nombres (ex. /dis/, dix) ; le code visuel à la forme arabe (ex. 10).

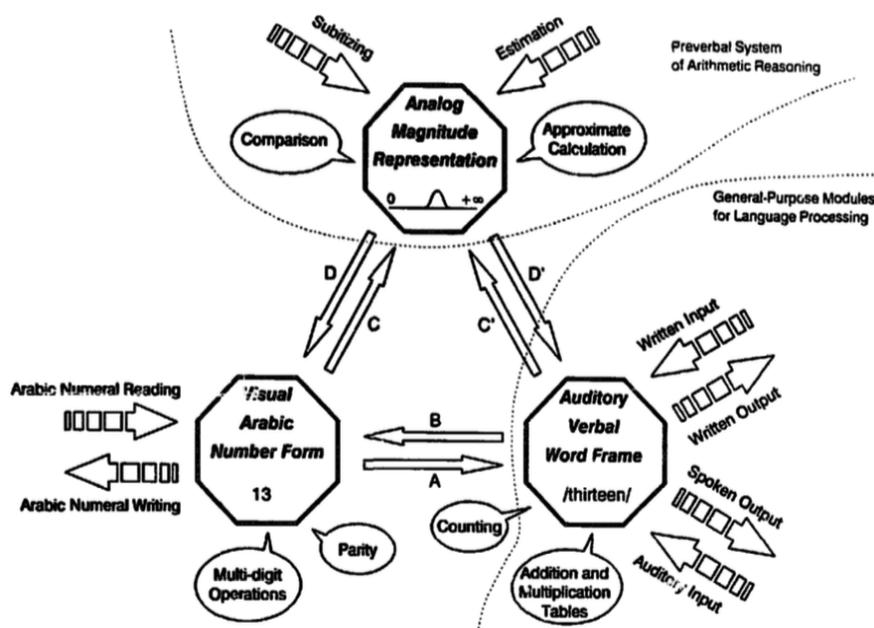


Figure 1 : Modèle du triple code (issu de Dehaene, 1992)

Le nombre possède donc trois facettes, dont la maîtrise est nécessaire pour résoudre les tâches numériques. Nous allons maintenant aborder le développement, chez le jeune enfant, de ces trois codes et des processus associés ; ainsi que leur rôle prédictif pour les apprentissages mathématiques ultérieurs.

1.2. Le développement des compétences mathématiques : un modèle en quatre étapes

Selon von Aster et Shalev (2007), les très jeunes enfants possèdent une représentation sémantique analogique des nombres constituant un système numérique de base, mais leurs

habiletés sont différentes de celles démontrées par les adultes qui peuvent se référer à la LNM. En complément au modèle du triple code, les auteurs exposent donc un développement en quatre étapes hiérarchiques. Deux niveaux de sens du nombre sont finalement distingués, l'un, inné, permettant la représentation des quantités et l'autre, résultant des apprentissages et du lien entre les différents codes, soutenant les procédures arithmétiques plus complexes (Berch, 2005). Nous présentons ici les quatre étapes de ce modèle en soulignant l'importance de chaque compétence pour le développement futur.

1.2.1. Un système numérique de base chez le très jeune enfant

Différents paradigmes expérimentaux (ex. l'analyse du temps de regard, la succion non nutritive) permettent de mettre en évidence l'existence de représentations exactes et approximatives des quantités numériques chez les enfants (Feigenson et al., 2004). Leur utilisation dans un grand nombre d'études a permis de montrer que, dès leur naissance, les enfants ont un sens du nombre. Ils sont sensibles à la numérosité, c'est-à-dire au nombre d'objets dans un lot.

En effet, les bébés discriminent de manière exacte des petites numérosités inférieures ou égales à trois (Butterworth, 2005). À six mois, les enfants peuvent aussi discriminer deux quantités plus importantes si l'une est le double de l'autre (ratio de un pour deux) : Xu et Spelke (2000) ont habitué seize enfants de six mois à voir des patterns de points dont les caractéristiques perceptives (brillance, surface et circonférence totales des points) ont été contrôlées. Un groupe d'enfants a été habitué à voir des patterns de huit points, l'autre de seize. Les deux types de patterns ont ensuite été présentés dans un ordre aléatoire à tous les enfants. Le temps de regard a été enregistré par un observateur naïf aux variables utilisées. Dans cette phase, les enfants habitués à voir huit points ont regardé plus longtemps les patterns de seize points et vice versa. L'allongement du temps de regard pour la nouvelle numérosité témoigne de la capacité de discrimination. Celle-ci se précise au cours du développement, atteignant un ratio de sept pour huit chez les adultes (Feigenson et al., 2004).

Ce système numérique de base, qui permet d'appréhender rapidement et précisément des quantités, de les estimer, les comparer, fournit aux enfants le sens du nombre. Il constitue une base sur laquelle les représentations précises et symboliques verbale et arabe pourront se construire (Lafay et al., 2013 ; von Aster & Shalev, 2007). Le subitizing serait un prédicteur des compétences mathématiques futures ; les représentations approximatives sont quant à elles corrélées aux performances arithmétiques mais leur aspect prédicteur reste discuté (Lafay et al., 2013 ; Landerl, 2019).

1.2.2. Le développement du code verbal à l'école maternelle

Selon von Aster et Shalev (2007), les enfants apprennent ensuite, avant l'entrée en école élémentaire, à associer aux quantités perçues (nombre d'objets, de sons...) un symbole verbal : le mot-nombre. La variabilité de ce mapping (ex. face à un pattern de dix points présenté plusieurs fois, répondre cinq, dix, quinze /vs/ répondre neuf, dix, onze) est d'ailleurs prédictive des futurs apprentissages mathématiques formels (Libertus, Odic, Feigenson, & Halberda, 2016).

Les enfants développent, pendant cette période, différentes habiletés – comptage, stratégies de dénombrement, récupération des faits arithmétiques (ex. compléments à dix). Nous allons maintenant détailler les deux premières.

Le comptage : réciter la chaîne numérique

L'acquisition du code verbal débute vers deux ans par l'apprentissage d'un lexique, les mots-nombres, qui sont ensuite combinés selon une syntaxe. La complexité du code verbal dépend de la langue : alors que le chinois par exemple est très régulier, le code verbal français comporte des irrégularités (base dix non apparente de onze à seize, quatre-vingt-dix...). Mais quelle que soit la langue de l'enfant, l'élaboration de la chaîne numérique se déroule en cinq étapes (Fuson, Richards, & Briars, 1982) : l'enfant récite d'abord les nombres comme une comptine, un tout indifférencié (chapelet). Il peut ensuite réciter la chaîne numérique depuis le début et jusqu'à une borne supérieure (chaîne insécable), puis à partir d'une borne inférieure donnée ou entre deux bornes (chaîne sécable). Par la suite, il comprend que les mots-nombres sont des unités numériques qui se rapportent à une quantité, laquelle est signalée par leur place dans la chaîne verbale (chaîne numérique). Cette compréhension débute par la quantité « un », les autres mots-nombres désignant alors « plus qu'un » (Landerl, 2019). Progressivement, l'enfant l'élargit à l'ensemble des mots-nombres. Enfin, il apprend à compter à rebours (chaîne bidirectionnelle).

Au sein de ces étapes, la chaîne numérique n'est pas toujours conventionnelle. Trois parties peuvent être distinguées : une partie stable (l'enfant dit toujours les mots-nombres dans le même ordre) et conventionnelle (dans le bon ordre), une partie stable mais non conventionnelle, une partie ni stable ni conventionnelle. Petit à petit, la partie stable et conventionnelle s'accroît. La chaîne numérique est généralement acquise vers sept ans.

Le dénombrement : déterminer précisément une numérosité, petite ou grande

Le dénombrement consiste à déterminer exactement une quantité, en associant le pointage de chaque objet à un mot-nombre (comptage). Gelman et Gallistel (1978) ont identifié cinq principes dont la maîtrise est nécessaire au dénombrement :

- *l'ordre stable* – la chaîne numérique doit être stable ;
- *la correspondance terme à terme* – chaque mot-nombre énoncé doit correspondre au pointage (visuel ou manuel) d'un objet, et vice-versa ;
- *la cardinalité* – le dernier mot-nombre prononcé correspond à la quantité d'objets. Ce concept serait acquis tardivement, après ceux d'ordre stable et de correspondance terme à terme. Ainsi, un enfant qui n'a pas encore acquis la cardinalité pourra pointer des objets et y associer un mot-nombre mais ne pourra pas, ensuite, répondre à la question « combien y en a-t-il ? » sans recommencer à dénombrer (Landerl, 2019) ;
- *la non-pertinence de l'ordre* – quel que soit l'ordre dans lequel les objets sont pointés, la quantité finale reste la même ;
- *l'abstraction* – tout peut être dénombré (ex. des iris et des tulipes peuvent être dénombrés ensemble si le nombre de fleurs est cherché).

Si l'apprentissage de la chaîne numérique est une étape importante dans le développement de l'enfant, sa seule connaissance ne prédit pas les performances mathématiques futures. Pour une même numérosité, le dénombrement est un bien meilleur prédicteur que le comptage. Néanmoins, à compétences de dénombrement égales, un enfant capable de compter plus loin sera avantagé (Manfra, Dinehart, & Sembianti, 2014). Soutenir ces deux compétences est donc essentiel, d'autant plus que leur développement renforce la compréhension du concept de nombre (Lafay et al., 2013 ; Landerl, 2019).

1.2.3. L'entrée dans les apprentissages formels : le code arabe

Lier les représentations arabes aux représentations analogiques et verbales intervient dans un troisième temps (von Aster & Shalev, 2007). Le mapping entre le code arabe et les représentations analogiques, qui est un prédicteur des compétences arithmétiques, serait indirect et passerait par le code verbal (Landerl, 2019).

Le développement du code arabe est plus formel que celui des codes analogique et verbal. L'enfant apprend à reconnaître les nombres arabes, à juger de leur parité, à les utiliser dans des calculs écrits. Les performances globales en mathématiques à six-sept ans sont corrélées à la maîtrise de ces nombres arabes, notamment leur identification, la recherche d'un nombre arabe manquant parmi une suite, leur comparaison et leur placement sur une ligne numérique représentée physiquement (Lafay et al., 2013). Les performances à ces tâches sont aussi corrélées à la représentation de la LNM (Booth & Siegler, 2008), qui est la dernière étape du modèle de von Aster et Shalev (2007).

1.2.4. La ligne numérique mentale ordinale, deuxième niveau du sens du nombre

Von Aster et Shalev (2007) proposent une apparition tardive de la LNM, qui fait suite au développement des codes symboliques. Cette ligne numérique représenterait l'ordinalité (l'ordre des nombres) et permettrait donc d'identifier la position des nombres par rapport à leurs voisins.

Feigenson et al. (2004) soutiennent que la LNM répond à une compression logarithmique mais qu'en grandissant l'enfant apprend à compenser cette compression. Booth et Siegler (2006, 2008) et Siegler et Booth (2004) montrent en effet que la représentation de la LNM devient progressivement linéaire entre l'école maternelle et le début de l'école élémentaire, au fur et à mesure de l'exposition aux nombres : l'enfant comprend que le passage d'un nombre au suivant correspond toujours à l'ajout de la même quantité, un. Ils ajoutent que, dès la maternelle, les résultats sur des tâches d'estimation sont affectés par la représentation de la LNM et que sa linéarité prédit l'acquisition de nouvelles informations numériques, en particulier les problèmes arithmétiques.

Von Aster et Shalev (2007) présentent donc quatre étapes sérielles, que l'on peut retrouver au quotidien en demandant simplement son âge à un enfant : il répond souvent d'abord en montrant ses doigts (« j'ai "comme ça" »), puis associe une réponse numérique verbale. Plus tard, il peut répondre à l'écrit avec un nombre arabe. Petit à petit, il est capable de dire quel âge il avait avant et aura après.

Selon Kucian et Kaufmann (2009), l'utilisation de chaque code (analogique, verbal, arabe) active initialement une zone cérébrale spécifique. Au cours du développement, les liens augmentent entre les trois représentations et l'activation d'une zone par l'utilisation d'un code se propage aux autres zones. Les trois représentations du nombre entrent donc en interaction et se soutiennent mutuellement dans leur développement. Les représentations analogiques, innées, permettent de développer les codes symboliques exacts, lesquels renforcent le code analogique (Landerl, 2019 ; Mejias & Schiltz, 2013). Récemment, Elliott, Feigenson, Halberda, et Libertus (2019) ont étudié les liens entre précision du SNA et compétences mathématiques chez 193 enfants de 3 à 5 ans. Ils ont proposé trois fois à six mois d'écart une tâche de comparaison non symbolique et une évaluation mathématique standardisée

(contenant notamment dénombrement, comparaison symbolique, reconnaissance des nombres symboliques, calculs simples). Ils ont montré que la précision du SNA chez les jeunes enfants influence les compétences mathématiques ultérieures et qu'inversement les compétences mathématiques précoces prédisent la précision future du SNA.

Ainsi, les compétences mathématiques ne cessent de se développer et de s'enrichir mutuellement. Certaines acquisitions sont tout de même attendues selon l'âge des enfants.

1.3. Quels attendus à quel âge ?

Afin de répondre à cette question, nous proposons des repères issus de la littérature internationale. Nous présentons ensuite les attendus en fin d'école maternelle française.

1.3.1. Quelques âges-repères à retenir

Butterworth (2005) propose quelques jalons concernant le développement des habiletés numériques. Nous reprenons ici les principaux repères concernant l'enfant d'âge maternel et proposons en complément quelques données issues d'autres articles (Tableau 1). Nous soulignons que la plupart de ces données proviennent d'enfants européens et américains et ne sont pas spécifiques à la langue française. Les âges indiqués doivent être compris comme des repères, non comme des normes développementales.

Tableau 1 : Âges repères du développement mathématique précoce, d'après Butterworth (2005) et complété par Feigenson et al. (2004), Fuson (1988), Stock et al. (2009)

| Âge | Compétences |
|------------|--|
| 0;0 an | Discrimination de petites numérosités Discrimination de grandes numérosités, selon un ratio qui diminuera au cours du développement (Feigenson et al., 2004) |
| 2;0 ans | Début de l'apprentissage de la chaîne numérique Terme à terme dans une tâche de partage |
| 2;6 ans | Début de la compréhension des mots-nombres : « un » renferme la quantité « un », les autres veulent dire « plus qu'un » |
| 3;0 ans | Dénombrement de petites collections |
| 3;6 ans | Comptage correct jusqu'à 10 pour la plupart des enfants (Fuson, 1988) Utilisation du principe de cardinalité pour établir la numérosité d'une collection |
| 4;0 ans | Utilisation des doigts comme support pour les additions |
| 4;5 ans | Comptage correct jusqu'à 20 pour la plupart des enfants (Fuson, 1988) |
| 5;6 ans | Comptage correct jusqu'à 40 |
| Fin de GSM | Acquisition des trois grands principes du dénombrement : terme à terme, cardinalité, ordre stable, mais tous ne sont pas acquis par tous les enfants (Stock, Desoete, & Roeyers, 2009) |

Les jalons développementaux présentés concernent des enfants qui sont la plupart du temps scolarisés et abordent différentes compétences mathématiques à l'école maternelle. L'école française a ainsi des attentes spécifiques qui servent aussi de repères.

1.3.2. Les attendus en fin d'école maternelle en France

En maternelle, les enfants ont pour objectif de « découvrir les nombres et leurs utilisations », c'est-à-dire de comprendre les fonctions cardinale et ordinale des nombres (Ministère de l'éducation nationale, de l'enseignement supérieur et de la recherche, 2015). À la fin de la GSM, les enfants français doivent savoir compter jusqu'à 30 et lire les nombres

arabes jusqu'à 10. Ils doivent être capables de reconnaître et produire des quantités dans une représentation canonique (constellations du dé, doigts de la main). Enfin, ils doivent être en mesure d'estimer et comparer des quantités ainsi que de les dénombrer en respectant les principes d'abstraction, de non-pertinence de l'ordre, de terme à terme, de cardinalité et d'ordre stable.

L'école maternelle vise donc à développer les trois codes numériques et à renforcer leurs liens, compétences prédictives des performances mathématiques futures.

Néanmoins, les enfants n'entrent pas tous à l'école avec les mêmes connaissances et ne sont pas égaux face aux apprentissages (Jordan et al., 2006). Des facteurs plus généraux, cognitifs et non cognitifs, interviennent dans leur développement, tels que l'attention visuo-spatiale, le langage, la mémoire de travail, le raisonnement, les facteurs socio-émotionnels (Kaufmann et al., 2011). Or, comme nous l'avons argumenté *supra*, les nombreuses compétences mathématiques développées par les enfants dans leurs premières années de vie prédisent leurs apprentissages numériques futurs. Afin de fournir les mêmes chances d'apprentissage à tous les enfants, il est important de soutenir leur développement et de résoudre leurs difficultés avant l'entrée dans les apprentissages formels. Dans cette optique, l'environnement familial et les stimulations proposées à l'école ont un rôle primordial.

2. Le rôle de l'environnement

La place des parents dans le développement du langage et de la lecture est promue par de nombreuses actions de prévention, comme *Un bébé un livre* où des orthophonistes distribuent des livres dans les maternités. De ce fait, des rituels de lecture partagée (ex. l'histoire du soir) sont mis en place dans de nombreuses familles. Bien qu'il soit moins médiatisé, le rôle des parents dans le développement mathématique est tout aussi précieux.

2.1. Les habitudes parentales

Les écarts précoces de performances mathématiques entre enfants peuvent être expliqués par trois grands types de caractéristiques parentales (Elliott & Bachman, 2018).

Premièrement, les représentations parentales concernant les mathématiques : l'attitude des parents envers les mathématiques, matière souvent aimée ou détestée, leurs croyances sur l'apprentissage des mathématiques et leur importance ainsi que leurs attentes concernant le niveau mathématique de leurs enfants sont en lien avec les compétences numériques des enfants.

Deuxièmement, l'utilisation de termes numériques : la fréquence avec laquelle les parents utilisent du vocabulaire mathématique au quotidien (ex. « il est arrivé deuxième ») est aussi corrélée aux compétences mathématiques des enfants, sans qu'un lien de causalité clair ne soit déterminé.

Troisièmement, les pratiques parentales : la capacité des parents à créer un environnement d'apprentissage numérique riche serait un facteur prédictif des compétences mathématiques. Plus précisément, une étude auprès de 110 enfants de 5;11 ans en moyenne a montré, à l'aide de questions aux enfants, d'un questionnaire parental et de tests standardisés, que les performances en résolution de problèmes numériques quotidiens et dans des tâches exactes (comptage, correspondance terme à terme) sont prédites par la quantité d'informations numériques apprises à la maison (Benavides-Varela et al., 2016). Les activités mathématiques

permettant ces apprentissages sont formelles – activités visant directement le développement des mathématiques, ex. le comptage, l'identification de nombres arabes – ou informelles – activités autres au cours desquelles le nombre peut être indirectement abordé, ex. les courses, la cuisine, les comptines, les jeux de société (Skwarchuk, Sowinski, & LeFevre, 2014). Selon l'activité, les informations apportées et leur pertinence varient (Ramani & Siegler, 2014 ; Susperreguy, Douglas, Xu, Molina-Rojas, & LeFevre, 2020).

Intégrer les tâches numériques à des jeux permet ainsi des apprentissages plus nombreux et plus solides (Siegler & Ramani, 2009). Nous allons maintenant nous intéresser plus particulièrement aux jeux de plateaux, supports fréquents des jeux de société familiaux, des activités scolaires proposées en maternelle et des matériels de rééducation orthophoniques.

2.2. L'intérêt des jeux de plateaux

Les jeux de plateaux désignent une catégorie de jeux de société dans lesquels les joueurs avancent leurs pions sur un parcours selon le nombre de cases indiqué par un dé, une roulette ou une carte. Différentes caractéristiques justifient leur intérêt numérique (Ramani & Siegler, 2014).

Les jeux de plateaux permettent tout d'abord de renforcer le sens du nombre en fournissant des indices multi-sensoriels. En effet, « *plus le nombre apparaissant sur la roulette ou le dé est grand, (a) plus la distance parcourue par le pion est importante, (b) plus le déplacement prend de temps, (c) plus le nombre de mouvements faits par l'enfant pour aller de case en case est important, et (d) plus l'enfant prononce de mots-nombres en dénombrant les déplacements du pion* » (Siegler & Booth, 2004, p. 441, traduction libre).

Les plateaux linéaires (ex. Echelles et Serpents), par opposition aux circulaires (ex. Jeu de l'Oie), soutiennent par ailleurs la représentation linéaire de la LNM (Elofsson, Gustafson, Samuelsson, & Träff, 2016 ; Siegler & Ramani, 2009) laquelle, nous l'avons vu, est prédictive des apprentissages mathématiques (Siegler & Booth, 2004).

Enfin, l'utilisation de plateaux numérotés, par opposition à des plateaux aux cases vierges colorées, favorise l'identification des nombres arabes et le développement de la chaîne numérique verbale si l'on incite les joueurs à nommer les cases sur lesquelles ils passent, i.e. dire « onze, douze, treize » en avançant de trois depuis la case '10' (Ramani & Siegler, 2008).

Les jeux de plateaux, en situation duelle ou en petits groupes, permettent ainsi de développer le SNA – estimation sur une ligne numérique, comparaison de grandes quantités – et le SNE – identification des nombres arabes, comptage, dénombrement, résolution de problèmes arithmétiques (Ramani & Siegler, 2014).

L'intérêt de l'implication environnementale et des jeux de société pour le développement mathématique ayant été démontré, nous formulons dès lors le premier but de notre mémoire : proposer aux parents et professionnels de la petite enfance une mallette de jeux de société visant la stimulation des compétences mathématiques précoces.

Par ailleurs, afin de combler les écarts de performances mathématiques entre les jeunes enfants, des programmes d'entraînement peuvent également être mis en place en école maternelle. Leur développement et leur validation font l'objet d'études interventionnelles (Cornu, 2018 ; Obersteiner et al., 2013 ; Outhwaite, Faulder, Gulliford, & Pitchford, 2019 ; Outhwaite, Gulliford, & Pitchford, 2017). Nous présentons ces entraînements *infra*.

3. Les entraînements dans la recherche, des pistes pour l'école ?

Pour stimuler au mieux les compétences mathématiques par ces programmes d'entraînement, le choix des cibles et des supports est capital. Nous les abordons successivement au sein des prochains paragraphes.

3.1. Les cibles de l'entraînement : système numérique exact, système numérique approximatif

Nous avons vu dans une première partie que les représentations numériques exactes prédisent les compétences arithmétiques symboliques futures. Nous avons aussi fait valoir l'importance des représentations approximatives, corrélées aux performances futures mais dont l'aspect prédictif n'est pas certain. La question du système à entraîner pour obtenir les meilleurs résultats se pose donc.

Plusieurs études vantent les mérites d'un entraînement du SNA. Cependant, la majorité contiennent de nombreux biais qui limitent la portée de leurs résultats : très faibles effectifs rendant peu interprétables les effets de taille, analyses statistiques peu développées, groupes contrôles absents ou manquant de pertinence (entraînement plus court ou non mathématique), résultats peu critiqués et contradictions dans l'analyse (voir pour revue Szűcs & Myers, 2017). Des études plus rigoureuses sont donc nécessaires pour déterminer l'influence d'un entraînement approximatif sur les compétences arithmétiques symboliques.

Obersteiner et al. (2013) ont comparé les effets de trois entraînements portant sur le SNA uniquement, le SNE uniquement et les deux combinés auprès de 147 enfants allemands. Les enfants ont dû résoudre des tâches numériques faisant appel aux nombres arabes, nombres verbaux oraux et représentations non symboliques ; gagnant ainsi des diamants pour avancer sur un plateau. L'entraînement du SNA a consisté en des tâches de comparaison, estimation et calcul approximatif où les collections étaient disposées aléatoirement. Le plateau représentait une ligne continue, l'enfant devant juger approximativement jusqu'où avancer. Dans l'entraînement du SNE, il a été demandé à l'enfant de choisir, parmi deux quantités différant d'une unité, celle égale à une quantité présentée au-dessus. Les collections étaient disposées en patterns organisés par regroupements de cinq. Le plateau était divisé en plusieurs lignes de cinq cases apparentes. Le groupe combinant les deux entraînements a alterné entre les tâches approximatives et exactes selon les sessions. Un jeu de langage a été proposé à un quatrième groupe contrôle. Les enfants ont bénéficié de 10 sessions de 30 minutes, réparties en 4 semaines. Le pré-tests et post-tests ont consisté en des tâches exactes, approximatives et arithmétiques dans lesquelles seule la vitesse a été prise en compte. L'entraînement approximatif a permis des gains sur les tâches approximatives, l'entraînement exact sur les tâches exactes, sans généralisation d'un système à l'autre. Les deux entraînements ont amélioré les performances arithmétiques globales. L'entraînement combiné approximatif + exact n'a pas permis de gain significatif, cependant les enfants ont bénéficié de moins de sessions avec chaque matériel que dans les groupes ciblant un seul entraînement. Il serait donc intéressant d'étudier le résultat de l'entraînement combiné sur vingt sessions avant de conclure sur son efficacité. Nous soulignons enfin que tous les effets étaient très faibles, seule limite de cette étude relativement aux autres entraînant le SNA.

Ainsi, les données scientifiques actuelles ne permettent pas de conclure sur les bénéfices comparés d'un entraînement du SNA et/ou du SNE. Dans le projet KIDS e-Stim, que nous présenterons *infra* et au sein duquel nous nous inscrivons, le choix a été fait de proposer un entraînement conjoint privilégiant tout de même les tâches exactes et le lien entre les codes analogique, verbal, arabe.

D'autre part, la question des supports d'entraînement est aussi majeure. Nous avons abordé les bénéfices liés aux jeux de société. Qu'en est-il des nouvelles technologies ?

3.2. L'apport des nouvelles technologies

Depuis 2015, le programme d'enseignement de l'école maternelle fait référence aux outils numériques : « *le rôle de l'école est de leur donner des repères pour en comprendre l'utilité et commencer à les utiliser de manière adaptée (tablette numérique, ordinateur, appareil photo numérique...)* » (Ministère de l'éducation nationale, de l'enseignement supérieur et de la recherche, 2015, p.21). Ce support est aussi de plus en plus courant dans les pratiques orthophoniques. Une étude réalisée en 2019 auprès de 76 orthophonistes a en effet révélé que 93,65 % d'entre eux utilisent parfois ou souvent les nouvelles technologies en rééducation, majoritairement avec les enfants de 4 à 19 ans (Hacot, 2019).

Pourtant, les écrans sont fréquemment décriés. Nous allons exposer brièvement les dessous de cette polémique puis nous nous intéresserons à l'utilisation des médias numériques dans la stimulation des compétences mathématiques.

3.2.1. Les écrans, un média controversé

Il n'est pas rare de voir dans les salles d'attente des cabinets orthophoniques des affiches alarmantes concernant les écrans (ex. comparant des dessins d'enfants selon le temps d'exposition à la télévision ; Winterstein & Jungwirth, 2006) ou d'autres présentant des recommandations (ex. « 4 temps sans écran = 4 pas pour mieux avancer : pas le matin, pas pendant les repas, pas dans la chambre de l'enfant, pas avant de se coucher » ; Duflo, 2016). Les études à l'origine de ces campagnes de prévention sont principalement centrées sur la télévision. Une exposition trop précoce ou trop intense à ce média favorise le surpoids, nuit à la qualité du sommeil, réduit les capacités d'attention-concentration, diminue les habiletés sociales et modifie le comportement, entrave le développement cognitif et les apprentissages scolaires (Clément & Duris, 2017 ; Duch, Fisher, Ensari, & Harrington, 2013 ; Harlé & Desmurget, 2012 ; Vanderloo, 2014). Plus que le contenu des émissions regardées, c'est l'infériorité des stimulations par rapport à celles reçues lorsque la télévision est éteinte qui entraîne ces effets (ex. Chonchaiya & Pruksananonda, 2008 concernant les retards de langage).

Paradoxalement, DeWitt (2017) propose dans un TEDtalk¹ un « *futur dans lequel nous serions excités de voir un enfant d'âge préscolaire interagir avec un écran* » (traduction libre). Il est en réalité important de distinguer les écrans non-interactifs comme la télévision des écrans interactifs comme la tablette. Clément et Duris (2017) soulignent qu'à l'heure actuelle aucune étude n'a mis en évidence un effet négatif des médias numériques interactifs. Si Desmurget (2019) critique sévèrement ces propos, il admet toutefois que « *personne ne conteste que certains outils numériques [...] peuvent constituer des supports d'apprentissage pertinents, dans le cadre de projets éducatifs ciblés, mis en place par des enseignants*

1 Note. TEDtalk : courte vidéo en accès libre, issue d'une présentation réalisée lors d'une conférence ou d'un autre événement de l'organisme TED (Technology, Entertainment, Design), accessible sur <https://www.ted.com>.

qualifiés » (p. 232). Herodotou (2018) rapporte ainsi chez les enfants de deux à cinq ans un meilleur sentiment d'efficacité personnelle par l'usage des tablettes, de même que des effets positifs sur l'acquisition de nouvelles compétences en sciences, mathématiques et résolution de problèmes. Plus spécifiquement, le transfert des acquis numériques précoces à des situations proches serait amélioré grâce à la tablette chez les enfants de faible niveau socio-économique.

Les médias numériques interactifs ont néanmoins des limites. L'interaction entre l'adulte et l'enfant permise par ces supports soutient en réalité plus le développement cognitif que le support en lui-même (Clément & Duris, 2017 ; Herodotou, 2018 ; Neumann & Neumann, 2014). Les « serious games » (jeux sur ordinateur ciblant des apprentissages spécifiques) sont aussi plus efficaces lorsqu'ils sont réalisés en groupe et que d'autres méthodes sont utilisées en complément (Wouters, van Nimwegen, van Oostendorp, & van der Spek, 2013).

Considérant à la fois les limites des écrans et les apports des médias numériques interactifs, Tisseron (2013) sensibilise à la régulation et non à l'interdiction de ces outils, par la règle 3-6-9-12 ans. Avant l'âge de trois ans, il conseille quatre conditions : une utilisation de logiciels adaptés, avec l'adulte, sur des périodes courtes et dans une optique de jeu. Chez l'enfant d'âge maternel, il insiste sur l'importance du jeu partagé et de l'interaction autour du support numérique.

Ainsi, face à la fois à l'attrait des médias numériques, à leur intérêt pour les apprentissages et à la nécessité de maîtriser leur utilisation, les supports adaptés aux enfants de maternelle se multiplient. Plusieurs logiciels pour ordinateurs ont été développés dans le champ des mathématiques – ex. The Number Race (Wilson & Dehaene, 2004), GraphoGame-Math (Richardson & Lyytinen, 2014) – et utilisés dans des études interventionnelles (pour une critique de ces études, voir Szűcs & Myers, 2017). La démocratisation de la tablette conduit maintenant à la création de nouveaux logiciels et à la conduite d'autres études, que nous allons présenter.

3.2.2. La tablette, un nouveau mode de stimulation des mathématiques ?

À l'école, les tablettes permettent de nouvelles stratégies d'enseignement, un apprentissage personnalisé, plus d'autonomie ainsi qu'une entraide entre élèves et une collaboration spontanée, un regain de motivation et de créativité (Karsenti & Bugmann, 2018 ; Karsenti & Fievez, 2013 ; Villemonteix et al., 2015). Leur efficacité concernant les mathématiques commence à être étudiée.

Outhwaite, Gulliford, et Pitchford (2017) ont réalisé une série de quatre études au Royaume-Uni auprès d'enfants âgés de quatre à sept ans. Une stimulation des concepts mathématiques de base a été proposée en petits groupes allant jusqu'à quinze élèves. Quatre applications mathématiques sur tablette ont été utilisées, regroupant des tâches variées et progressives (ex. complétion de patterns d'objets puis de chaînes numériques, comptage jusqu'à 10, ajouts et soustractions). Chaque enfant a progressé individuellement, à son propre rythme, avec la possibilité de refaire les activités et la nécessité de réussir un quizz pour accéder au niveau suivant.

Dans l'étude 1, 61 enfants de 4 et 5 ans ont bénéficié de l'intervention sur tablette pendant 30 minutes chaque jour d'école durant 6 semaines, en plus de l'enseignement classique. Leurs performances ont été mesurées grâce à un test sur tablette avant et après

l'intervention, ainsi qu'après un délai de 5 mois chez 23 d'entre eux. Les résultats de ces évaluations ont par ailleurs été comparés à ceux d'enfants plus âgés (cinq à sept ans) n'ayant jamais bénéficié de l'intervention sur tablette et constituant un groupe contrôle. Cette étude sur une courte période a montré des bénéfices immédiats et un maintien à cinq mois de l'entraînement tablette sur les compétences scolaires entraînées mais aussi sur des concepts mathématiques tels que le sens du nombre et la compréhension des symboles.

Les *études 2 et 3* répondent aux limites de l'étude 1. Les tests ont été réalisés sur papier afin d'éviter un effet de pratique de la tablette et l'intervention a duré treize semaines. Les pré-tests ont par ailleurs permis d'identifier des enfants en difficultés mathématiques par rapport à leurs pairs (étude 2 auprès d'enfants de quatre-cinq ans) et des enfants présentant de faibles capacités mnésiques (étude 3 auprès d'enfants de cinq-sept ans en difficultés mathématiques). Ces enfants ont plus progressé que leurs pairs, qui ont eux-mêmes plus bénéficié de l'intervention que dans l'étude 1, plus courte.

Enfin, l'*étude 4* a été menée pendant seize semaines à plus faible intensité, soit huit semaines complètes. Elle a comparé les progrès de quinze enfants de quatre-cinq ans sans difficultés mathématiques suivant un enseignement classique, à celles de douze enfants du même âge présentant des difficultés et bénéficiant de l'entraînement sur tablette à la place d'une des activités classiques en classe entière. Tous les enfants ont progressé et ceux présentant initialement des difficultés ont, grâce à l'entraînement sur tablette, rattrapé leurs pairs.

Outhwaite, Faulder, Gulliford, et Pitchford (2019) ont ensuite proposé une intervention mathématique à grande échelle auprès de 389 enfants anglais de 4 et 5 ans scolarisés en fin de GSM. Ils ont utilisé deux applications mathématiques sur tablette similaires à celles des études précédentes. Les enfants ont été répartis en trois groupes : le groupe 1 a bénéficié de l'entraînement sur tablette en plus de l'enseignement classique, le groupe 2 à la place d'une partie de l'enseignement classique (activités de groupes) et le groupe 3 (contrôle) a bénéficié uniquement de l'enseignement classique (en petits groupes et classe entière). Les entraînements ont été proposés 30 minutes chaque jour pendant 12 semaines. Cette étude a montré un bénéfice supérieur de l'entraînement tablette par rapport à l'enseignement classique, qu'il soit réalisé en plus ou à la place de ce dernier.

La stimulation des compétences mathématiques sur tablette est donc efficace, notamment auprès d'enfants en difficultés, et peut être proposée de différentes façons au sein des écoles. Cela est particulièrement intéressant concernant les élèves dont la langue maternelle n'est pas celle utilisée pour l'enseignement en classe et qui ont donc une forte probabilité de manquer certaines informations (Abedi, Courtney, Leon, Kao, & Azzam, 2006 ; Garrett, 2010 ; cités par Cornu, 2018). Remplacer pour eux une partie ou la totalité des enseignements mathématiques classiques par un entraînement sur tablette pourrait s'avérer bénéfique. Le logiciel pour tablettes MaGrid a été développé dans cette optique (Pazouki et al., 2018). Neutre au niveau langagier, car principalement non verbal, il propose 32 activités prémathématiques accompagnées d'un support papier (« livrets d'activités ») permettant un support visuel redondant et une utilisation plus aisée en classe. Son efficacité, en combinaison avec des jeux de société et un accompagnement parental, a été démontrée auprès d'enfants de langue maternelle portugaise au Luxembourg (Cornu, 2018). Néanmoins, aucune étude réalisée par l'équipe luxembourgeoise n'a comparé les bénéfices des activités tablette de l'application MaGrid par rapport à ceux d'un entraînement utilisant seulement des jeux de

société. De la même manière, en 2018, aucune étude n'avait comparé les apports d'entraînements prémathématiques par des jeux de société *versus* des tablettes en écoles françaises.

Ces questions sont discutées dans une étude du projet KIDS e-Stim, réalisée en 2018 auprès de 172 élèves de MSM et GSM de la circonscription d'Arras (Hauts de France, France). Ils ont bénéficié d'un entraînement des prérequis mathématiques bihebdomadaire pendant huit semaines, en sessions de vingt minutes. Deux activités ont été proposées lors de chaque session d'entraînement. Trois groupes ont été formés : un groupe visuo-spatial sur tablette, un groupe prémathématique sur tablette – utilisant une sélection d'activités de MaGrid –, un groupe prémathématique avec des jeux de société. Les enfants des trois groupes ont été entraînés en sous-groupes de quatre à six enfants afin de favoriser l'interaction avec l'expérimentateur et l'utilisation du code oral. Aucune supériorité d'un support prémathématique sur l'autre n'a été relevée (Mohamed, 2019). Cependant, la sélection des activités dans MaGrid et la création des jeux de société ont été réalisées par deux groupes de mémorants distincts. Il se peut donc que l'appariement entre ces deux entraînements, réalisé de façon globale, ne soit pas strictement rigoureux. De plus, certains expérimentateurs auraient manqué de temps pour proposer les deux jeux de société prévus à chaque séance (Lemaire, 2018). Enfin, les écoles participantes correspondaient à des niveaux socio-économiques moyens à élevés. Les résultats ne sont donc pas généralisables aux enfants issus de milieux socio-économiques faibles, or ces enfants sont les plus nécessiteux d'une intervention mathématique précoce (Jordan et al., 2006).

Nous formulons par conséquent le second but de notre mémoire : proposer une mallette de jeux de société qui soit appariée aux entraînements prémathématiques sur tablette de MaGrid sélectionnés dans l'étude KIDS e-Stim. Cela permettra ultérieurement de mener des études interventionnelles comparant les deux supports, dans des milieux socio-économiques variés et auprès d'enfants de langue maternelle française ou étrangère.

4. Buts et hypothèses du mémoire

L'objectif général de ce mémoire est ainsi de créer une mallette de jeux de société appariés à des activités préexistantes sur tablette et visant la stimulation des compétences prémathématiques.

4.1. Objectifs de prévention

Nous avons vu que la stimulation précoce des compétences mathématiques permet aux enfants de maîtriser les prérequis nécessaires au développement arithmétique. Le rôle des parents et des professionnels entourant le jeune enfant est alors majeur. Or, le manque de connaissances concernant le développement mathématique ou le défaut de matériel de stimulation peut être un frein à leur investissement. Notre premier but est donc de leur fournir plusieurs jeux de complexité progressive. Les compétences travaillées sont détaillées en référence au modèle du triple code (Dehaene, 1992) et leur intérêt est appuyé par la littérature scientifique.

Par ailleurs, la prévention et la prise en charge des troubles de la cognition mathématique appartiennent au champ de compétences des orthophonistes (Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche, 2013). Le matériel créé pourra donc être diffusé

par ces professionnels au cours d'actions de prévention auprès des parents et professionnels de la petite enfance. Ils pourront aussi le transmettre aux parents dans une visée d'accompagnement parental, dans le cadre du suivi de jeunes enfants susceptibles de présenter un retard d'acquisition des prérequis mathématiques (ex. enfants de faible niveau socio-économique, enfants présentant un retard ou trouble du langage pouvant retentir sur le code verbal). Notons que plusieurs études interventionnelles à domicile, où du matériel de jeu mathématique était fourni aux parents, ont permis d'améliorer les compétences des enfants (Elliott & Bachman, 2018).

4.2. Objectifs de recherche

La deuxième visée de ce mémoire est de créer des jeux de société rigoureusement appariés à un entraînement préexistant sur tablette. Ces deux supports d'activités pourront par la suite être utilisés et comparés lors d'études interventionnelles en écoles maternelles. Cela permettra à la fois de valider le matériel « jeux de société » proposé dans ce mémoire et d'étudier les apports respectifs des supports en fonction des milieux socio-économiques et linguistiques.

Méthode

La méthodologie a été décomposée en trois temps :

1. Compilation de documents relatifs aux entraînements de l'étude Kids e-Stim 2018.
2. Analyse du matériel selon des axes prédéfinis.
3. Création de la nouvelle mallette de stimulation.

1. Description du matériel collecté

Des tableaux décrivant le contenu et l'ordre des entraînements tablette (activités tablette, AT) et jeux de société (JS) réalisés dans la précédente étude KIDS e-Stim (Bourdon, 2018 ; Mohamed, 2019 ; Walle, 2018) ont permis de synthétiser des données ayant trait aux consignes de chaque activité et à la progression proposée.

L'analyse des AT a été complétée par la lecture de descriptifs fournis par l'équipe luxembourgeoise et le support de 29 livrets d'activités et 25 cartes-activités complémentaires au support tablette. L'obtention d'une tablette sur laquelle était installée le logiciel MaGrid nous a enfin permis de recueillir des détails supplémentaires sur le temps lié à chaque AT et son fonctionnement.

Le matériel JS consistait en 23 fichiers informatisés, correspondant à 37 JS. Parmi ces fichiers, six (correspondant à neuf JS) n'ont pas été utilisés dans la précédente étude mais ont été étudiés dans une optique d'utilisation future éventuelle. Par ailleurs, un JS décrit dans les tableaux n'a pas été retrouvé. Ces fichiers étaient accompagnés de matériel manipulable dont l'inventaire a été réalisé afin de dresser une liste du matériel manquant pour des études interventionnelles futures (13 dés 1-10 arabes, 10 dés 1-6 arabes, 12 dés 1-6 analogiques, 1 dé 1-6 analogique en mousse, 162 chiffres texturés, 48 pions, 1 roulette, 56 pompons, 400 pions de loto).

Au total, 54 AT et 30 JS ont été analysés selon les axes détaillés ci-après.

2. Axes d'étude du matériel

Ces 84 activités ont été étudiées selon les axes suivants :

- Quelle(s) compétence(s) est (sont) travaillée(s) ?
- Quel(s) code(s) est (sont) utilisé(s), en référence au modèle de Dehaene (1992) ?
- Quelles numérosités sont abordées ?
- Quelle(s) manipulation(s) est (sont) réalisée(s) ?
- Les entraînements tablette sont-ils correctement appariés aux entraînements JS, en matière de compétences, codes et numérosités travaillés ?
- Des compétences autres, non numériques, sont-elles mises en jeu dans l'activité ?

Suite à l'étude des activités, l'appariement entre les deux types d'entraînements a été révisé grâce à la création de nouveaux JS.

3. Critères de création du nouveau matériel

Les AT n'étant pas modifiables car empruntées à l'équipe luxembourgeoise, seuls les JS ont pu être remaniés afin d'améliorer l'appariement avec les AT et la cohérence avec les caractéristiques des JS pertinentes pour la stimulation des mathématiques, développées en première partie de ce mémoire.

Les critères suivants ont été définis pour les JS :

1. Le JS doit être apparié à l'AT : les mêmes codes et les mêmes compétences sont entraînés, les numérosités abordées sont identiques. Dans la mesure du possible, les manipulations réalisées sont similaires (ex. ajouter, retirer).
2. Le JS peut apporter des stimulations supplémentaires qui justifient son intérêt, en accord avec la littérature :
 - (a) Les plateaux utilisés doivent être linéaires pour soutenir le passage à une représentation linéaire de la LNM.
 - (b) Le JS est réalisé en petits groupes afin de favoriser l'interaction, l'échange entre enfants et donc la stimulation du code verbal. Il doit convenir pour quatre joueurs tout en étant adaptable à des situations duelles.
 - (c) Le JS est réalisé avec la participation active d'un adulte formé à la mallette d'entraînement.

Les nouveaux JS ont été imaginés et créés en binôme, dans le cadre de ce mémoire et de celui de Marie Bisiaux (2020), permettant un double regard et ainsi une plus grande précision dans les résultats. De plus, ils ont été révisés par la directrice du mémoire afin d'avoir un avis externe et spécialisé. Ce matériel a été élaboré via le logiciel de traitement de texte Pages pour Mac (version 8.2) et les illustrations utilisées sont issues du site pixabay.com mettant à disposition des images libres de droit et gratuites.

Pour que cette mallette soit utilisée efficacement, une notice d'utilisation a été rédigée, comprenant d'une part une description globale de l'ensemble du matériel et de son intérêt et d'autre part une explication individuelle de chacune des activités. Cette dernière s'est appuyée sur une version simplifiée du modèle du triple code (Dehaene, 1992). Il nous a semblé être le plus complet et visuellement parlant pour rendre compte des compétences entraînées, qui ont de fait été mises en évidence par une couleur différente. Sous ce modèle ont été renseignées

les informations caractéristiques du jeu (nombre de joueurs, matériel nécessaire, but du jeu, règles, adaptations possibles lors d'une utilisation externe à un protocole de recherche).

L'ensemble des JS et cette notice seront ultérieurement publiés sur un site internet dédié aux parents et aux enseignants désirant l'utiliser dans leur classe. Ceci fera l'objet de prochains mémoires.

Résultats

Les résultats de l'analyse des activités prémathématiques utilisées dans l'étude de 2018 sont d'abord présentés. Nous abordons ensuite les modifications proposées dans la nouvelle mallette et son contenu².

1. Avant : analyse des activités proposées dans la précédente étude et de leur appariement

Dans la proposition d'intervention initiale (réalisée pour l'étude 2018), dix semaines d'entraînement sont prévues. L'intervention est bihebdomadaire, soit vingt sessions d'entraînement. La première session contient uniquement une activité (AT ou JS selon le groupe expérimental). La dernière session est libre, l'enfant peut terminer des activités non achevées ou refaire des activités de son choix. Les autres sessions contiennent toutes deux activités. L'ensemble de l'entraînement sur tablette intègre donc 37 AT ; l'ensemble de l'entraînement par des jeux de société 37 JS (composés de 30 jeux différents, 7 étant proposés à 2 reprises).

Nous proposons dans les paragraphes qui suivent une analyse globale de ces activités et de l'appariement entre les deux types d'entraînements (AT et JS). Les consignes, les codes stimulés (en référence au modèle du triple code de Dehaene, 1992) et les compétences entraînées pour chaque AT et chaque JS, ainsi que l'appariement activité par activité, sont détaillés en Annexe 1. L'analyse des activités disponibles mais non proposées dans l'entraînement y est aussi présentée.

1.1. Analyse des activités prémathématiques sur tablette

Les activités prémathématiques sur tablette stimulent plusieurs codes et différentes compétences, selon une progression identique pour tous les enfants. Nous présentons ci-dessous les résultats de leur analyse.

1.1.1. Codes numériques présents

Les 37 AT impliquent l'utilisation des codes numériques analogique et arabe : 8 AT stimulent seulement le code analogique, 13 seulement le code arabe, 16 AT font intervenir les codes analogique et arabe.

Le code numérique verbal n'est pas intrinsèquement présent dans ces activités : il n'est ni proposé en entrée par la tablette, ni demandé en sortie (expression) à l'enfant. Nous notons néanmoins que certains enfants pourraient, en réalisant ces activités, utiliser les nombres verbaux oraux intérieurement ou en chuchotant.

² *Note.* Nous vous invitons également à consulter le mémoire de Bisiaux (2020) pour des informations complémentaires concernant la mallette.

1.1.2. Compétences abordées

Les AT font appel à différentes notions (Figure 2) : les compétences les plus travaillées sont l'appréhension exacte des quantités analogiques (subitizing/dénombrement : 19/37 AT), l'ordinalité des NA (13/37 AT) et le transcodage de l'arabe vers l'analogique (8 à 12/37 AT).

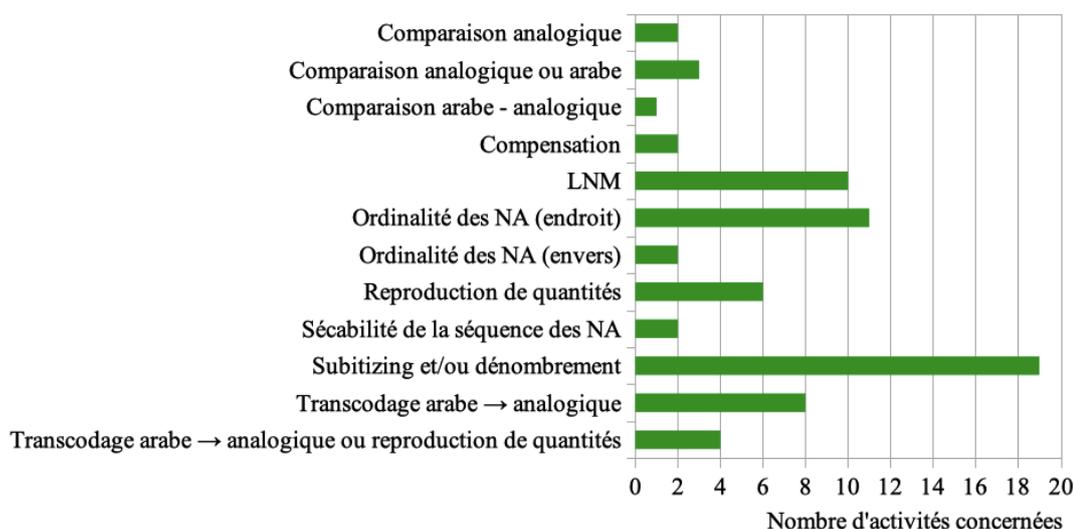


Figure 2 : Compétences entraînées par les AT

Plusieurs activités proposent une double entrée à la fois analogique et arabe à l'enfant, qui doit ensuite produire une quantité analogique. Selon le code d'entrée préférentiellement utilisé par l'enfant, la manipulation effectuée correspondra à une reproduction de quantité analogique ou à un transcodage de l'arabe vers l'analogique.

Nous précisons enfin que le terme de transcodage a été utilisé pour désigner le transcodage pur (production d'un code à partir d'un autre) ainsi que le mapping (mise en correspondance de deux codes).

1.1.3. Progression des entraînements

Les enfants suivent une progression définie, identique pour tous. L'accès aux activités se fait en scannant un QR code détenu par l'adulte qui encadre l'activité. Certaines activités sont réalisées uniquement grâce à la tablette et la réussite d'un item permet la présentation immédiate du suivant ; les enfants ayant terminé avant leurs camarades les attendent en jouant à une activité neutre. D'autres activités nécessitent la présentation des items sur des livrets d'activités dont les pages sont tournées par l'adulte ; les enfants progressent alors au même rythme. Une fois une activité terminée, elle ne peut pas être refaite.

Les numérosités maniées par les enfants dans les AT augmentent progressivement de un à trois jusqu'à un à dix, voire un à vingt dans deux AT (Figure 3). Des retours vers des numérosités inférieures sont régulièrement proposés afin de consolider leur apprentissage. Par exemple, la deuxième activité du premier entraînement de la huitième semaine (S8E1J2) porte sur des numérosités allant de un à sept, alors que les activités précédentes et suivantes font intervenir des numérosités allant jusqu'à huit, neuf et dix.

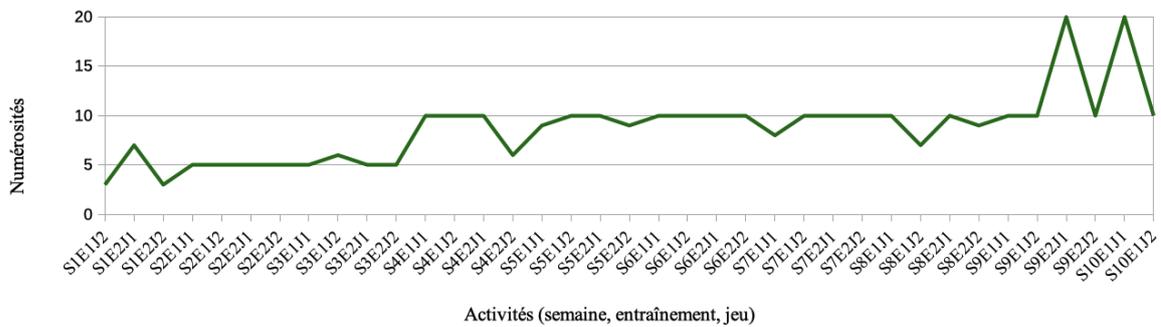


Figure 3 : Évolution de la numérosité maximale des AT au cours des entraînements

Certaines activités présentant des consignes similaires sont proposées avec une entrée uniquement analogique, uniquement arabe ou analogique et arabe. Leur ordre de présentation n'est pas justifié et semble être aléatoire.

1.2. Analyse des jeux de société prémathématiques

Les jeux de société prémathématiques stimulent les trois codes numériques (analogique, verbal, arabe) et différentes compétences. La progression est fonction des numérosités proposées. Nous présentons ci-dessous les résultats de leur analyse.

1.2.1. Codes numériques présents

Les 37 JS impliquent l'utilisation des codes analogique et arabe ainsi que du code verbal oral. En effet, un JS stimule le code analogique, vingt JS le code arabe, seize JS font intervenir les codes analogique et arabe. Le code numérique verbal oral pourrait ne pas être utilisé dans ces jeux. Cependant, un jeu de société est caractérisé par l'interaction, notamment verbale, entre les individus. Par définition, le code verbal oral est donc toujours présent dans ces jeux, en entrée (l'enfant entend les autres enfants et l'adulte dire les nombres) et en sortie (l'enfant dit les nombres).

1.2.2. Compétences abordées

Les JS, comme les AT, font appel à différentes notions (Figure 4). Les compétences les plus travaillées sont l'appréhension exacte des quantités analogiques (subitizing/dénombrement : 15/37 JS) et l'association de deux nombres arabes identiques (11/37).

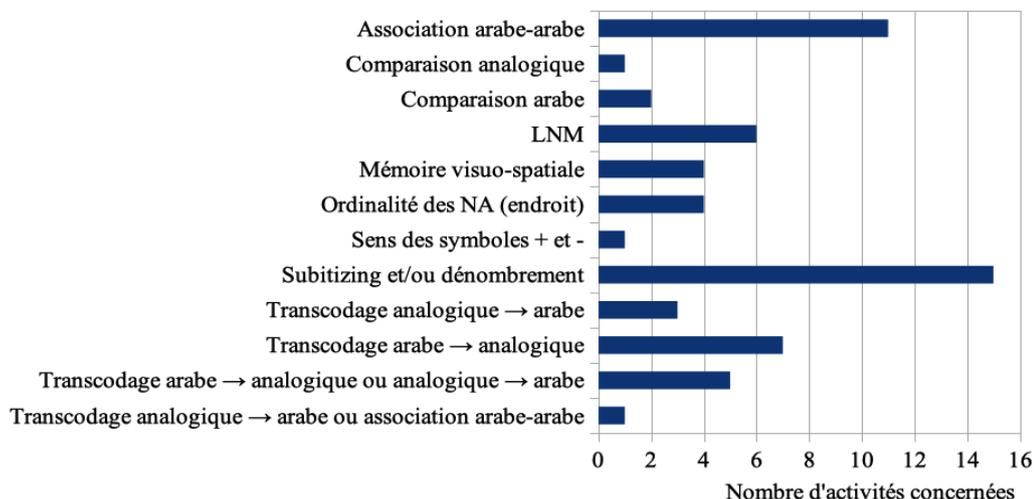


Figure 4 : Compétences entraînées par les JS de la précédente étude

Les supports utilisés sont des cartes permettant de jouer au memory, des lotos, des bingos, des dominos, des jeux de familles, ainsi que des plateaux de jeux. Parmi ces plateaux, six sont strictement linéaires, deux peuvent être considérés comme linéaires et cinq sont circulaires.

1.2.3. Progression des entraînements

L'aspect progressif des JS est soutenu par l'augmentation des numérosités travaillées (Figure 5). Trois étapes peuvent être isolées : dans un premier temps, les numérosités maximales sont comprises entre trois et six. Le second tiers des entraînements s'intéresse à des numérosités allant jusqu'à dix. Enfin, la dernière partie renforce les acquis jusqu'à dix et propose une exposition aux numérosités supérieures, jusqu'à vingt.

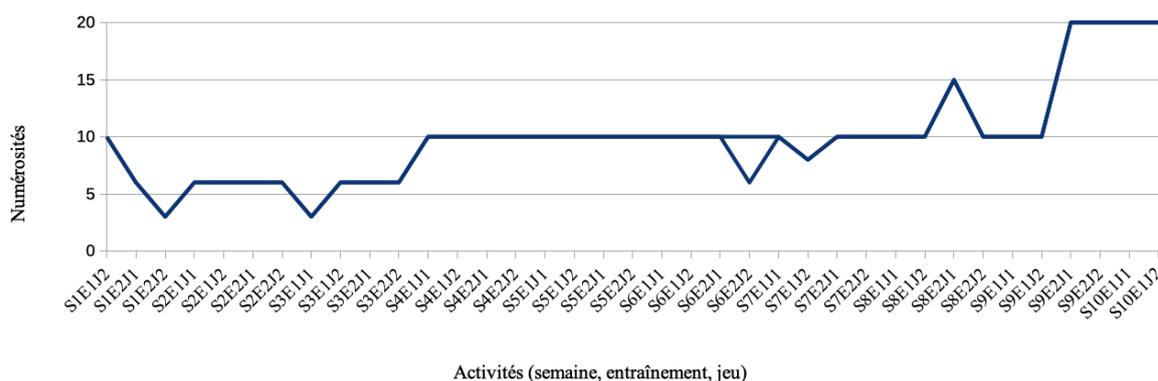


Figure 5 : Évolution de la numérosité maximale des JS au cours des entraînements

Notons que le premier JS proposé est un plateau aux cases numérotées sur lequel les enfants avancent en lançant un dé portant des nombres arabes jusqu'à deux. Bien que les enfants soient, par ce jeu, exposés aux numérosités jusqu'à dix, il s'intègre dans la progression : le travail porte essentiellement sur les nombres un et deux. Par ailleurs, le JS proposé en semaine six/entraînement deux/jeu deux (S6E2J2), peu décrit, propose soit un rappel sur les numérosités de un à six soit un travail des numérosités de un à dix.

1.3. Qualité de l'appariement

L'analyse des AT et des JS a permis de comparer les deux entraînements en matière de codes, compétences et numérosités abordés. Nous présentons pour commencer l'appariement global des entraînements. Nous nous intéressons ensuite aux résultats obtenus par la comparaison deux à deux des AT et JS proposés à la même étape du programme d'entraînement.

1.3.1. Comparaison d'ensemble des deux entraînements

La comparaison générale des codes présents et des compétences visées dans les deux entraînements a mis en évidence des similitudes (ex. appréhension exacte des quantités) mais aussi de nombreuses différences (Figure 6).

Plus de la moitié des JS (20/37) ciblent spécifiquement le code arabe, contre un tiers des AT, ces dernières privilégiant le code analogique. Autant de JS que d'AT permettent la mise en relation des codes analogique et arabe, mais le format est différent : les JS sont focalisés sur le transcodage (dont la direction est parfois libre) alors que les AT proposent souvent le code arabe dans le cadre d'un double input analogique et arabe (l'enfant n'est alors pas obligé

de s'appuyer sur le code arabe). Le code verbal peut être utilisé de façon interne ou chuchotée par les enfants réalisant les AT. Il est omniprésent dans les JS.

Plusieurs compétences ne sont entraînées que dans les AT (ex. compensation, ordinalité à rebours, reproduction de quantités, sécabilité de la séquence des NA). D'autres ne sont stimulées que par les JS (ex. mémoire visuo-spatiale, sens des symboles des opérations, association arabe-arabe).

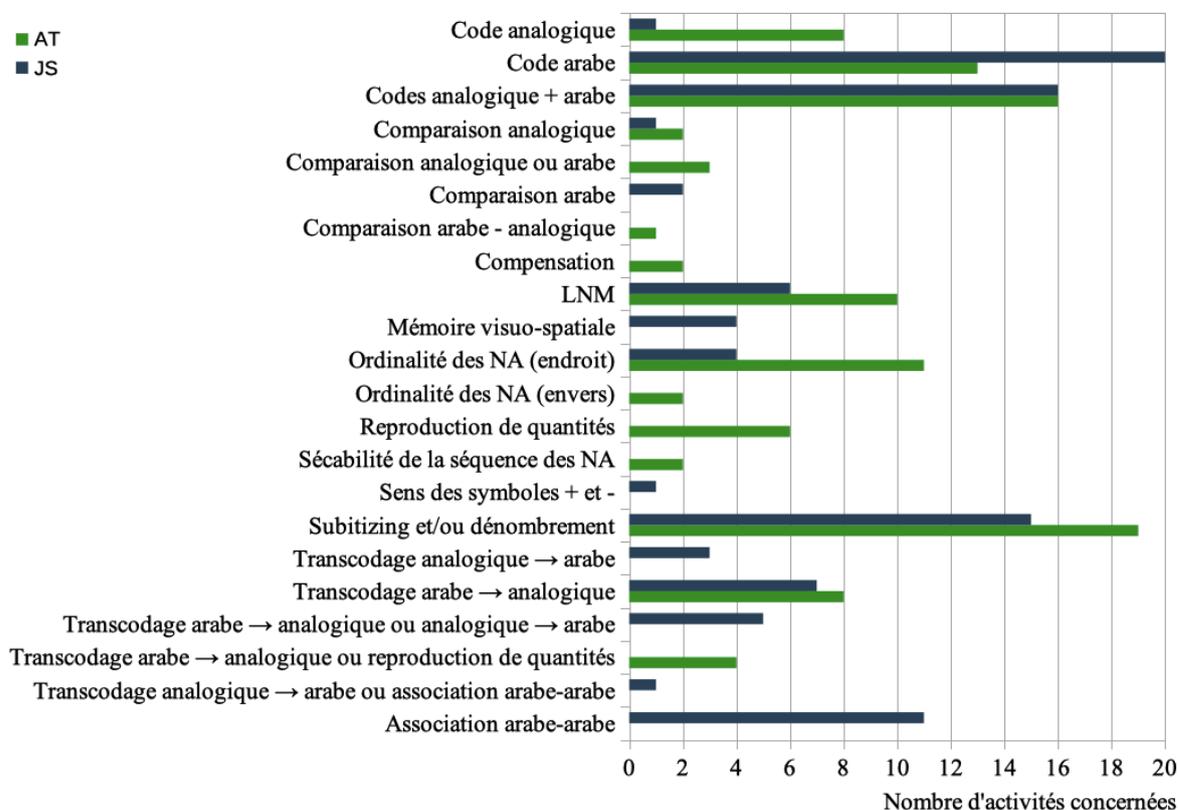


Figure 6 : Comparaison des compétences entraînées par les AT et les JS

La progression en matière de numérosité maximale est différente pour les AT et les JS (Figure 7). En effet, les AT proposent de nombreux retours vers des numérosités inférieures, tandis que les JS fonctionnent plus par paliers.

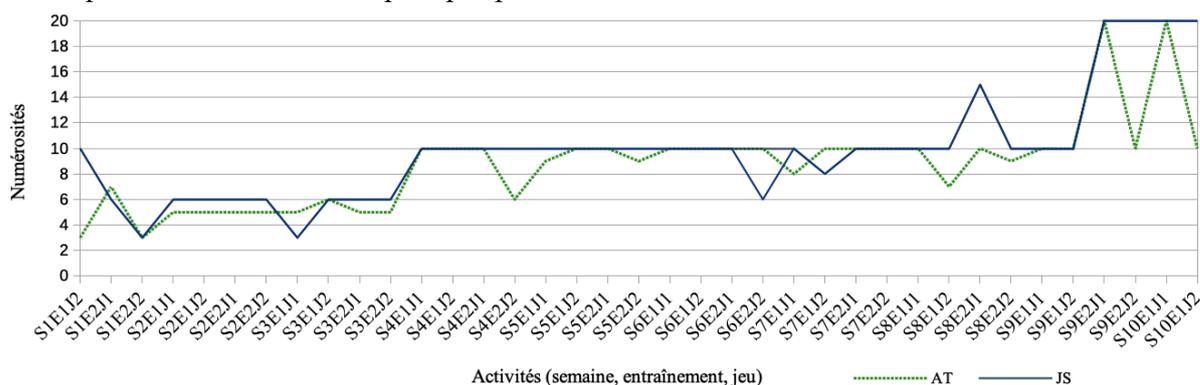


Figure 7 : Comparaison des numérosités maximales abordées dans les AT et les JS

Finalement, la vue d'ensemble des entraînements AT et JS a mis en évidence de nombreuses différences à la fois dans les codes, les compétences et les numérosités stimulés.

1.3.2. Comparaison par activités synchrones

La comparaison des entraînements AT et JS activité par activité (Annexe 1) a montré que, parmi les 37 correspondances AT-JS proposées :

- une est strictement appariée en matière de codes, compétences, numérosités ;
- sept sont strictement appariées en matière de codes et numérosités ;
- six sont strictement appariées en matière de codes uniquement ;
- huit sont strictement appariées en matière de numérosité uniquement ;
- quinze ne sont appariées strictement ni en codes, ni en compétences, ni en numérosités.

Un manque d'appariement au niveau des codes est traduit soit par l'utilisation d'un code différent entre l'AT et le JS (ex. arabe dans l'un et analogique dans l'autre) soit par l'utilisation de deux codes dans l'un et d'un seul dans l'autre (ex. analogique et arabe *versus* arabe uniquement).

Toutes les activités font intervenir plusieurs compétences. Le non-appariement des compétences, relevé dans les 37 correspondances AT-JS, porte dans certains cas sur l'ensemble des compétences impliquées dans l'AT et le JS concernés. Dans d'autres cas, parmi les compétences auxquelles font appel l'AT et le JS, plusieurs sont identiques et une ou plusieurs autres diffèrent.

Enfin, les numérosités non appariées diffèrent principalement d'une ou de deux unités (ex. numérosités de deux à cinq pour une AT *versus* un à six pour le JS correspondant).

En conclusion, l'analyse des codes, compétences et numérosités impliqués dans les AT et JS du protocole d'intervention de l'étude menée en 2018 a révélé de nombreuses divergences entre les deux types d'entraînements, à la fois au niveau global et dans les activités proposées de manière synchrone. Ces différences pourraient limiter la comparaison des bénéfices des deux entraînements. C'est pourquoi les modifications présentées ci-dessous ont été apportées.

2. Après : vers une mallette progressive contenant des entraînements appariés

Suite à l'analyse des activités et devant les résultats de l'appariement, les entraînements ont été modifiés : l'ordre de certaines AT a été inversé ; les JS ont été conservés, adaptés ou remplacés. Nous présentons ici les résultats d'ensemble de ces modifications. Les consignes synthétiques des AT et JS et les codes, compétences et numérosités entraînés à chaque étape du protocole sont détaillés en Annexe 2.

2.1.1. Modification de l'ordre de certaines activités tablette

Les 37 AT ont été conservées mais leur chronologie a été légèrement modifiée.

La première modification concerne des AT de consignes, compétences et numérosités similaires, différant par les codes utilisés. Nous avons choisi de toujours présenter ces AT dans l'ordre suivant : version analogique, version analogique et arabe, version arabe. Cela a conduit à inverser deux AT.

La seconde modification concerne une séance d'entraînement comportant deux activités d'ordinalité des NA. L'une d'elles a été inversée avec une activité d'une autre séance, afin de diversifier les compétences stimulées dans chaque séance.

2.1.2. Présentation générale des jeux de société

Parmi les anciens JS, un (loto 1-3) a pu être conservé à l'identique et apparié à la même AT que précédemment. Deux JS (domino grenouilles 6, memory 10) ont été adaptés afin d'en modifier la numérosité (de un à sept), un JS (pizzas) a été partiellement réutilisé et complété. Enfin, deux JS (bingo 10, pompons) ont inspiré la création de nouveaux jeux.

La nouvelle progression d'entraînements par les JS comprend 37 activités. Ces activités prennent la forme de dix-huit JS, dont dix possèdent plusieurs versions. Les versions diffèrent par les numérosités traitées et/ou les codes travaillés ; les consignes peuvent être similaires ou adaptées. De plus, deux jeux et une version d'un jeu sont utilisés deux fois à l'identique. Les 37 activités sont les suivantes :

- *À chaque nénuphar sa grenouille* : 1-5, 1-10 [x2]
- *Aligne* : 1-5 (analogique), 2-5 (arabe), 1-10 (arabe), 1-10 (doigts), 2-10 (arabe), 2-10 (2 lignes)
- *Aquarium* : 1-9 (analogique), 1-10 (analogique + arabe)
- *Atelier pizza* : 1-5 (analogique), 1-5 (analogique + arabe), 1-9 (vitesse)
- *Bataille* : 1-10 (moins), 1-10 (plus)
- *Bingo de la nature* 1-6
- *Crée tes équipes* : 1-10, 1-20
- *Cueillette de fruits* : 1-5 (analogique + arabe), 1-6 (deux dés), 1-10 (analogique + arabe)
- *D'île en île* 1-3
- *Domino grenouilles* 1-7
- *La chasse aux papillons* : 1-10 (analogique), 1-10 (analogique + arabe)
- *La sorcière à l'envers* : 5-1, 10-1
- *Les voleurs* 1-10 [x2]
- *Le train des nombres* 1-10 [x2]
- *Loto* 1-3
- *Memory* 1-7
- *Relie les points* 1-20
- *Sapin* : 1-9 (analogique), 1-8 (analogique + arabe)

Tous les JS sont appariés en codes, compétences et numérosités à l'AT à laquelle ils correspondent chronologiquement. La manipulation réalisée par l'enfant (ex. ajout, choix) est aussi similaire. Les JS possèdent également des caractéristiques qui leur sont propres : le code verbal oral est stimulé, la désignation du vainqueur peut nécessiter le dénombrement d'objets gagnés et, pour dix-huit activités, la disposition des éléments du jeu est linéaire.

2.1.3. Appariement des activités libres du dernier entraînement

Suite aux entraînements par les 37 activités, le protocole 2018 prévoit une dernière séance de clôture. Des activités libres sont alors proposées : l'enfant peut terminer une activité ou en refaire une qu'il a aimée. Cette séance peu contrôlée a été supprimée.

2.1.4. Contenu de la mallette

Finalement, la mallette d'entraînement contient :

- un document explicatif de la mallette (objectifs, utilisations), présenté en Annexe 3 ;
- les notices illustrées des toutes les variantes de JS, sur lesquelles des adaptations possibles pour une utilisation à domicile sont aussi proposées ;
- le matériel nécessaire pour les JS, certains outils étant utilisés pour plusieurs JS ;
- deux listes du matériel, une classée par activité (quel matériel est nécessaire pour cette séance ?), l'autre classée par matériel (pour quelles activités ce matériel est-il utile ?).

Discussion

Au cours de l'analyse des activités issues de l'étude KIDS e-Stim de 2018, des choix méthodologiques ont été réalisés concernant l'angle d'étude des compétences stimulées. Lors de la création des nouveaux JS, un équilibre a aussi été recherché entre, d'une part, l'appariement des entraînements AT et JS et, d'autre part, la prise en compte des données issues de la littérature. Ces choix sont discutés ici. Ensuite, des pistes de développement futur de la mallette sont proposées afin de l'améliorer et la compléter. Enfin, l'apport de notre travail pour la pratique orthophonique est exposé.

1. Choix effectués lors de l'analyse et limites

La réalisation d'une tâche mathématique fait intervenir de nombreux processus numériques (Dehaene, 1992) et généraux (Kaufmann et al., 2011).

Nous avons fait le choix, dans notre analyse des codes stimulés par les activités, de nous placer sous l'angle des codes visibles en entrée et en sortie. Ainsi, le code analogique a été considéré comme présent seulement dans les activités où un pattern d'objets (points, animaux) est présenté ou produit. Nous sommes cependant conscientes que les compétences nécessaires à la réalisation de tâches dites « arabes » sont en lien avec la représentation analogique : la comparaison de nombres arabes ou la complétion de lignes numériques, par exemple, font appel selon Dehaene (1992) à la représentation analogique. Dans d'autres activités, l'enfant avance sur un plateau selon le nombre arabe indiqué sur un dé ; le nombre est alors représenté de façon analogique par les mouvements produits (Siegler & Booth, 2004).

Par ailleurs, les compétences que nous avons indiquées pour chaque activité peuvent être critiquées du point de vue de l'exhaustivité, qui pourrait être jugée insuffisante. Prenons deux tâches en exemple. Dans un jeu de bataille où toutes les cartes présentent des nombres arabes (en plus d'un pattern de points), nous indiquons que la comparaison de nombres arabes est travaillée, parmi d'autres compétences. Les enfants doivent en effet déterminer quel nombre est le plus grand afin de savoir qui remporte les cartes. Au contraire, dans une tâche de complétion de ligne numérique, nous ne l'indiquons pas, estimant que la première compétence en jeu est la connaissance de la chaîne numérique arabe, c'est-à-dire l'ordinalité des nombres arabes. En effet, dans une optique de clarté, nous avons décidé de limiter l'analyse des activités aux compétences les plus saillantes. De surcroît, seules les compétences principalement visées par les activités ont été indiquées dans les notices, ces dernières étant destinées à un public tout-venant.

Ainsi, les codes et compétences indiqués lors de l'analyse des jeux de société sont discutables. Les choix ont été effectués pour proposer une analyse à la fois harmonieuse entre les activités et adaptée à un public tout-venant.

2. Comparaison du contenu de la nouvelle mallette avec les données de la littérature

Nous avons présenté, en première partie de ce mémoire, les compétences prédictives des apprentissages mathématiques futurs ainsi que les attendus de l'école maternelle française. Nous avons aussi souligné les caractéristiques intéressantes des tablettes et des jeux de société. Nous montrons ci-dessous que la nouvelle mallette proposée est en cohérence avec de nombreux principes de la littérature, tout en reconnaissant ses limites.

2.1. Compétences stimulées et compétences prédictives

Presque la moitié des 37 activités de chaque entraînement (c'est-à-dire des 37 AT et des 37 JS) stimulent les codes analogique et arabe. Or, le lien entre ces deux codes prédit les compétences arithmétiques (Landerl, 2019).

La compétence la plus travaillée dans ces activités est l'appréhension exacte des quantités analogiques, par le subitizing ou le dénombrement. Nos activités permettent de travailler sur des collections comprenant jusqu'à dix objets. Cette compétence, qui est prédictive des apprentissages numériques (Lafay et al., 2013 ; Landerl, 2019 ; Manfra et al., 2014), fait partie des attendus en fin d'école maternelle (Ministère de l'éducation nationale, de l'enseignement supérieur et de la recherche, 2015). Il est aussi demandé aux enfants de savoir compter jusqu'à 30 et les auteurs précités soulignent l'importance du développement du comptage. Bien que cette compétence ne soit pas visée dans nos activités, plus d'un tiers de celles-ci nécessitent d'ordonner les nombres arabes en les sélectionnant dans l'ordre croissant. De ce fait, les enfants jouant sur tablette peuvent être amenés à compter dans leur tête ou à voix chuchotée. Dans les jeux de société, l'adulte stimule le comptage. Néanmoins, ces activités soutiennent les numérosités jusqu'à 20 au maximum alors que les programmes scolaires préconisent une maîtrise du comptage jusqu'à 30 en fin de GSM.

Alors que le développement des codes analogique et verbal est majoritairement informel, celui du code arabe nécessite un apprentissage formel. À la fin de la GSM, les enfants doivent savoir reconnaître les nombres arabes jusqu'à dix. Nos activités travaillent non seulement cette identification, mais aussi d'autres compétences qui y sont liées et sont corrélées aux performances en mathématiques en début d'école élémentaire (Lafay et al., 2013).

Enfin, plusieurs activités sur tablette favorisent la représentation linéaire du sens du nombre. Les JS appariés à ces activités – ainsi que de nombreux autres – proposent aussi un support linéaire, ce qui n'était pas le cas dans l'ancienne mallette. Ces modifications sont en lien avec les publications de Booth et Siegler (2006, 2008), Elofsson et al. (2016) et Siegler et Booth (2004) selon qui les supports linéaires sont plus efficaces pour soutenir les apprentissages arithmétiques.

La majorité des notions abordées dans nos activités sont donc en lien avec les données issues de la littérature : il s'agit de compétences et savoirs prédictifs des apprentissages

mathématiques futurs. Cependant, les entraînements sur tablette et par les jeux de société possèdent chacun des limites par rapport aux données de la littérature.

2.2. Les limites de l'entraînement sur tablette

L'efficacité de précédentes interventions prémathématiques sur tablette a en partie été expliquée par des caractéristiques propres à ce support (Outhwaite et al., 2017 ; Pitchford, 2015). En effet, les applications utilisées dans ces entraînements offrent un feedback immédiat et des consignes visuelles, consultables plusieurs fois. Les activités de l'application MaGrid, que nous utilisons dans notre mallette, le proposent aussi.

De plus, dans ces études, les applications sont interactives : les stimuli proposés sont automatiquement adaptés selon les réussites et erreurs précédentes de l'enfant et seule la réussite complète d'un niveau permet d'accéder au niveau suivant. La progression est donc personnalisée, chaque enfant avance à son propre rythme et peut refaire des tâches afin de les maîtriser. Or les activités de l'application MaGrid ne sont pas interactives. En outre, bien que les activités proposées suivent une progression, celle-ci est identique pour tous les enfants. Ce format permet de contrôler les tâches réalisées et l'appariement avec l'entraînement par les jeux de société. Il favorise aussi l'interaction entre les élèves. Cependant, il ne permet pas de refaire une tâche et oblige à passer au niveau suivant quelle que soit la facilité ou difficulté avec laquelle le niveau précédent a été réussi. Notre entraînement n'exploite donc pas entièrement les potentialités offertes par la tablette.

2.3. Les jeux de société : une double limite

Lors de la création des JS, des choix ont été réalisés afin de respecter au mieux l'appariement des codes et compétences avec les AT.

Ainsi, en dépit de leurs multiples intérêts (Siegler & Booth, 2004), nous n'avons pas pu créer uniquement des jeux de plateaux. Le bénéfice des autres types de jeux proposés a néanmoins été démontré (voir Scalise, Daubert, & Ramani, 2018, concernant les jeux de cartes).

De plus, les plateaux proposés sont linéaires (Siegler & Ramani, 2009) mais ne sont pas numérotés (contrairement à ce que préconisent Ramani & Siegler, 2008). D'une part, aucune AT ne se prêtait à cet appariement et la conservation de cette caractéristique aurait créé trop de différences entre les deux types d'entraînements. D'autre part, l'enfant aurait alors été incité à lire le nombre arabe inscrit sur les cases, en plus de suivre la consigne du JS (ex. avancer sur une ligne en posant un pompon dans chaque case, selon le nombre indiqué sur un dé). Cette double consigne représente une charge cognitive importante, surtout pour certains enfants de maternelle qui ne maîtrisent pas l'avancée sur un plateau (principe de terme à terme, fait de ne pas compter la case de départ...).

Malgré cette volonté d'appariement, il nous a semblé indispensable de conserver au maximum certaines spécificités des JS, même lorsqu'elles ne sont pas présentes dans les AT. En conséquence, plus de JS que d'AT sont présentés linéairement (Elofsson et al., 2016 ; Siegler & Ramani, 2009). Tous sont caractérisés par l'interaction verbale entre les joueurs, afin de favoriser le développement du lexique numérique quantitatif (Purpura, Napoli, & King, 2019) et la mise en lien des codes verbal oral, analogique et arabe (Kucian & Kaufmann, 2009).

Un juste équilibre a donc été recherché entre d'une part l'appariement maximal des AT et des JS dans un but de comparaison et d'autre part la conservation des caractéristiques

importantes des JS pour la stimulation des prérequis mathématiques. Les études qui seront réalisées avec la nouvelle mallette de stimulation pourront apporter un retour de terrain sur la pertinence de nos choix.

3. Pistes de développement futur

La mallette proposée ici découle de précédents mémoires. Les nouveaux jeux ont été rigoureusement construits en prenant en compte les retours issus de la première étude et suite à une réflexion sur l'appariement avec les AT, mais n'ont pas été testés auprès d'élèves. Cette validation à grande échelle sera l'objet de prochains mémoires proposant des études interventionnelles. Il aurait toutefois été intéressant de proposer ces JS et les AT à quelques enfants afin d'estimer leur attrait, le temps nécessaire à une partie et leur ordre de difficulté.

Initialement, nous avons envisagé de regrouper les deux JS de chaque séance en une seule activité plus longue, un JS pouvant demander plus de temps qu'une activité courte sur tablette. Nous avons finalement conservé deux JS par séance, chacun correspondant à une AT, afin que chaque JS travaille plus spécifiquement certaines compétences. Les JS sont donc prévus pour durer une dizaine de minutes. La notice d'utilisation précise aux parents que plusieurs parties peuvent être réalisées à la suite. Lors des études interventionnelles, il est possible que certaines AT soient plus courtes que les JS. Il sera alors intéressant d'adapter le matériel en fonction des différences observées.

Par ailleurs, nous avons conservé le type de progression proposé dans l'étude de 2018 : nos activités sont classées selon les numérosités abordées et des retours vers des numérosités inférieures sont parfois proposés. Nous avons aussi ordonné les activités similaires, qui ne diffèrent que par les codes utilisés, selon les étapes développementales décrites par von Aster et Shalev (2007). La version analogique est présentée en premier, la version arabe en dernier. Entre les deux, la version proposant un double input analogique et arabe offre une transition. Elle permet aux enfants de s'entraîner à comparer des nombres arabes avec le support de la représentation analogique (Scalise et al., 2018). Toutefois, cette dimension développementale ne dicte l'ordre des épreuves que dans un second temps, au sein de l'agencement par numérosités. De plus, le choix de progression ne tient donc pas compte du type de manipulation demandé dans chaque activité (ex. comparer, reproduire, compenser). Il se pourrait que certaines manipulations soient plus difficiles que d'autres. Si notre progression reste pertinente pour un programme de stimulation, un classement des activités en trois niveaux (selon les numérosités, codes et manipulations) pourrait être intéressant lors de la mise à disposition des activités pour les parents. Il pourra s'appuyer à la fois sur les preuves de la littérature et les observations réalisées lors des interventions en école.

Enfin, les JS ont été construits en regard des AT utilisées dans notre programme. Il pourrait être intéressant de développer des jeux appariés aux autres activités de MaGrid, pour augmenter la banque d'activités disponibles. Plus encore, dans le cadre d'une diffusion auprès des parents de jeux de société stimulant les premiers apprentissages mathématiques, il serait pertinent de créer des jeux supplémentaires affranchis des contraintes de l'appariement. Ils pourraient ainsi répondre à l'ensemble des critères énoncés par Ramani et Siegler (2014) concernant les jeux de plateaux ou renforcer d'autres compétences mathématiques de base : transcodage bidirectionnel entre les trois codes, résolution d'opérations arithmétiques simples (McCrink & Wynn, 2004), maîtrise du lexique mathématique (Purpura et al., 2019).

4. Perspectives orthophoniques

Contrairement aux supports utilisés dans d'autres études, qui consistent en un ou deux jeux (Elofsson et al., 2016 ; Obersteiner et al., 2013 ; Ramani & Scalise, 2020 ; Ramani & Siegler, 2008 ; Scalise et al., 2018 ; Siegler & Ramani, 2009), notre mallette contient une variété de jeux de société et sur tablette numérique. Ceci permet à la fois une adaptation aux besoins de l'utilisateur et un renouvellement de l'entraînement par de nouvelles situations de jeu. Les jeux de société créés, une fois diffusés au public, pourront être partagés par les orthophonistes. Il pourra en être de même concernant les activités sur tablette si un bénéfice de ce support apparaît lors des études interventionnelles.

Dans une visée préventive, cette mallette sera utile lors d'actions de prévention ou dans le cadre de l'accompagnement parental d'enfants de trois à six ans suivis en langage oral et à risque de retard mathématique (Purpura et al., 2019). Dans une visée rééducative, elle pourra être utilisée auprès d'enfants plus grands suivis pour des troubles de la cognition mathématique (sous réserve que le visuel des jeux reste attrayant pour eux). En effet, les orthophonistes pourront utiliser les jeux pour soutenir un travail spécifique visant le développement de certains prérequis. Ils pourront aussi les transmettre aux familles afin que le travail soit repris en dehors des séances de rééducation. Quel que soit le mode de diffusion, il sera important de préciser aux parents et professionnels que le bénéfice retiré est fonction du temps de jeu et de leur expliquer l'utilisation de chaque jeu (Ramani & Scalise, 2020). Les notices des jeux, qui seront diffusées au sein de la mallette, apportent déjà de nombreuses indications. Dans le cadre de la prise en charge, les orthophonistes pourront aussi utiliser les jeux lors de séances auxquelles assistent les parents avant de les leur transmettre.

Conclusion

Les compétences mathématiques précoces sont les fondements du développement arithmétique futur. Les parents, professionnels de la petite enfance et enseignants de maternelle peuvent proposer diverses activités pour les soutenir. L'objectif du projet KIDS e-Stim est de les accompagner dans cette stimulation, en leur proposant des activités adaptées. Le bénéfice des jeux de société ayant été démontré, le premier but de notre mémoire était de créer une mallette de jeux de société prémathématiques à destination des proches de l'enfant. Par ailleurs, face à l'attrait croissant pour les nouvelles technologies, il paraît important de déterminer si les applications mathématiques sur tablette numérique proposent une plus-value par rapport aux jeux de société. Notre second but était donc que nos jeux de société soient appariés à un entraînement sur tablette, afin de pouvoir être utilisés dans de futures études interventionnelles.

Pour cela, 54 activités sur tablette (AT) et 30 jeux de société (JS) issus d'une précédente étude interventionnelle ont été analysés en termes de codes numériques stimulés, compétences travaillées et numérosités abordées. Parmi ceux-ci, 37 AT et 30 JS (dont 7 utilisés deux fois) ont été comparés selon le programme d'entraînement défini pour la précédente étude. De nombreuses différences entre les activités des deux supports ont été relevées au niveau des codes, des compétences et des numérosités impliqués. De nouveaux JS appariés aux 37 AT ont donc été créés.

Enfin, nous proposons une mallette contenant dix-huit JS, dont dix sont disponibles en plusieurs versions – variant par les codes présentés et/ou les numéros abordés. Ces jeux stimulent les codes numériques analogique, arabe et verbal. Ils entraînent des compétences variées identifiées comme prédictives des apprentissages arithmétiques futurs. Les jeux et leurs notices seront prochainement accessibles gratuitement au public. De plus, chaque JS est apparié à une ou plusieurs AT, afin que des études interventionnelles comparant les deux supports puissent être réalisées. Les AT et JS ont été organisés selon une progression prenant en compte les numéros travaillés ainsi que les codes numériques abordés.

Toutefois, nos jeux n'ont pas été testés auprès d'enfants. Il pourra être nécessaire de les améliorer suite aux observations réalisées au cours des études interventionnelles. Certaines limites peuvent par ailleurs être soulevées, du fait de la contrainte d'appariement lors de la création des JS. Dans le cadre de la diffusion du matériel aux parents, professionnels de la petite enfance et enseignants, il serait intéressant de créer des jeux complémentaires stimulant d'autres prérequis mathématiques, affranchis de l'appariement.

Bibliographie

- Benavides-Varela, S., Butterworth, B., Burgio, F., Arcara, G., Lucangeli, D., & Semenza, C. (2016). Numerical activities and information learned at home link to the exact numeracy skills in 5–6 years-old children. *Frontiers in Psychology*, 7:94. doi:10.3389/fpsyg.2016.00094
- Berch, D. B. (2005). Making sense of number sense : Implications for children with mathematical disabilities. *Journal of Learning Disabilities*, 38(4), 333-339. doi:10.1177/00222194050380040901
- Bisiaux, M. (2020). *Proposition d'une mallette d'entraînements spécifiques visant à favoriser les compétences mathématiques en maternelle* (Mémoire d'Orthophonie). Université de Lille, Lille.
- Booth, J. L., & Siegler, R. S. (2006). Developmental and individual differences in pure numerical estimation. *Developmental Psychology*, 42(1), 189-201. doi:10.1037/0012-1649.41.6.189
- Booth, J. L., & Siegler, R. S. (2008). Numerical magnitude representations influence arithmetic learning. *Child Development*, 79(4), 1016-1031. doi:10.1111/j.1467-8624.2008.01173.x
- Bourdon, C. (2018). *Développement de la cognition mathématique et médias : L'entraînement des compétences visuo-spatiales* (Mémoire d'Orthophonie). Université de Lille, Lille.
- Brin, F., Courrier, C., Lederlé, E., & Masy, V. (2011). *Dictionnaire d'orthophonie*. Isbergues, France : Ortho Edition.
- Butterworth, B. (2005). The development of arithmetical abilities. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 46(1), 3-18. doi:10.1111/j.1469-7610.2004.00374.x
- Chonchaiya, W., & Pruksananonda, C. (2008). Television viewing associates with delayed language development. *Acta Paediatrica*, 97(7), 977-982. doi:10.1111/j.1651-2227.2008.00831.x
- Clément, M.-N., & Duris, O. (2017). Le bébé et la tablette numérique : Intérêts et dangers. *Spirale*, 83(3), 62-71. doi:10.3917/spi.083.0062
- Cornu, V. (2018). *The spatial road to mathematics – from the relation between spatial skills and early mathematics towards interventions* (Thèse de psychologie). Université du Luxembourg, Luxembourg.
- Dehaene, S. (1992). Varieties of numerical abilities. *Cognition*, 44(1-2), 1-42. doi:10.1016/0010-0277(92)90049-N
- Dehaene, S. (2010). *La bosse des maths : Quinze ans après* (Nouv. édition revue et augmentée). Paris, France : O. Jacob.
- Desmurget, M. (2019). *La fabrique du crétin digital : Les dangers des écrans pour nos enfants*. Paris, France : Éditions de seuil.

- DeWitt, S. (2017). *Three fears about screen time for kids – and why they're not true* [TEDtalk]. Repéré à https://www.ted.com/talks/sara_dewitt_3_fears_about_screen_time_for_kids_and_why_they_re_not_true
- Duch, H., Fisher, E. M., Ensari, I., & Harrington, A. (2013). Screen time use in children under 3 years old: A systematic review of correlates. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, *10*(1), 102. doi:10.1186/1479-5868-10-102
- Duflo, S. (2016). *4 pas pour mieux avancer* [affiche]. Repéré à http://www.alertecran.org/wp-content/uploads/2016/12/Affiche_4_pas_2016_EPSVE_format_Impression.pdf
- Elliott, L., & Bachman, H. J. (2018). SES disparities in early math abilities : The contributions of parents' math cognitions, practices to support math, and math talk. *Developmental Review*, *49*, 1-15. doi:10.1016/j.dr.2018.08.001
- Elliott, L., Feigenson, L., Halberda, J., & Libertus, M. E. (2019). Bidirectional, longitudinal associations between math ability and approximate number system precision in childhood. *Journal of Cognition and Development*, *20*(1), 56-74. doi:10.1080/15248372.2018.1551218
- Elofsson, J., Gustafson, S., Samuelsson, J., & Träff, U. (2016). Playing number board games supports 5-year-old children's early mathematical development. *The Journal of Mathematical Behavior*, *43*, 134-147. doi:10.1016/j.jmathb.2016.07.003
- Feigenson, L., Dehaene, S., & Spelke, E. (2004). Core systems of number. *Trends in Cognitive Sciences*, *8*(7), 307-314. doi:10.1016/j.tics.2004.05.002
- Fuson, K. C. (1988). *Children's counting and concepts of number*. New York, NY : Springer-Verlag. doi:10.1007/978-1-4612-3754-9
- Fuson, K. C., Richards, J., & Briars, D. J. (1982). The acquisition and elaboration of the number word sequence. Dans C. J. Brainerd (Ed.), *Children's logical and mathematical Cognition* (pp. 33-92). New York, NY : Springer-Verlag. doi:10.1007/978-1-4613-9466-2_2
- Gelman, R., & Gallistel, C. R. (1978). *The child's understanding of number*. Cambridge, MA : Harvard University Press.
- Hacot, A. (2019). *La place des nouvelles technologies dans la pratique orthophonique : Questionnaire aux professionnels* (Mémoire d'Orthophonie). Université de Lille, Lille.
- Harlé, B., & Desmurget, M. (2012). Effets de l'exposition chronique aux écrans sur le développement cognitif de l'enfant. *Archives de Pédiatrie*, *19*(7), 772-776. doi:10.1016/j.arcped.2012.04.003
- Herodotou, C. (2018). Young children and tablets : A systematic review of effects on learning and development. *Journal of Computer Assisted Learning*, *34*(1), 1-9. doi:10.1111/jcal.12220
- Jordan, N. C., Kaplan, D., Oláh, L. N., & Locuniak, M. N. (2006). Number sense growth in kindergarten : A longitudinal investigation of children at risk for mathematics difficulties. *Child Development*, *77*(1), 153-175. doi:10.1111/j.1467-8624.2006.00862.x
- Karsenti, T., & Bugmann, J. (2018). Les tablettes tactiles à l'école : Quels impacts auprès d'élèves ayant des difficultés d'apprentissage ? *Éducation & Formation*, *e-310*, 103-113. Repéré à <http://revueeducationformation.be/>

- Karsenti, T., & Fievez, A. (2013). *L'iPad à l'école : usages, avantages et défis : résultats d'une enquête auprès de 6057 élèves et 302 enseignants du Québec*. Montréal, QC : CRIFPE.
- Kaufmann, L., Wood, G., Rubinsten, O., & Henik, A. (2011). Meta-analyses of developmental fMRI Studies investigating typical and atypical trajectories of number processing and calculation. *Developmental Neuropsychology*, 36(6), 763-787. doi:10.1080/87565641.2010.549884
- Kucian, K., & Kaufmann, L. (2009). A developmental model of number representation. *Behavioral and Brain Sciences*, 32(3-4), 340. doi:10.1017/S0140525X09990069
- Lafay, A., Saint-Pierre, M.-C., & Macoir, J. (2013). Développement des systèmes numériques non symboliques et prédicteurs de réussite mathématique. *Glossa*, 112, 1-17. Repéré à <http://glossa.fr/userdata/640d0fcce403937f49a2c4d44177091d.pdf>
- Landerl, K. (2019). Neurocognitive perspective on numerical development. Dans A. Fritz, V. G. Haase, & P. Räsänen (Eds), *International handbook of mathematical learning difficulties* (pp. 9-24). Cham, Suisse : Springer. doi:10.1007/978-3-319-97148-3_2
- Lemaire, H. (2018). *Apprentissage des mathématiques et médias : Stimulations sur tablette numérique* (Mémoire d'Orthophonie). Université de Lille, Lille.
- Libertus, M. E., Odic, D., Feigenson, L., & Halberda, J. (2016). The precision of mapping between number words and the approximate number system predicts children's formal math abilities. *Journal of Experimental Child Psychology*, 150, 207-226. doi:10.1016/j.jecp.2016.06.003
- Manfra, L., Dinehart, L. H. B., & Sembiante, S. F. (2014). Associations between counting ability in preschool and mathematic performance in first grade among a sample of ethnically diverse, low-income children. *Journal of Research in Childhood Education*, 28(1), 101-114. doi:10.1080/02568543.2013.850129
- McCrink, K., & Wynn, K. (2004). Large-number addition and subtraction by 9-month-old infants. *Psychological Science*, 15(11), 776-781. doi:10.1111/j.0956-7976.2004.00755.x
- Mejias, S., & Schiltz, C. (2013). Estimation abilities of large numerosities in Kindergartners. *Frontiers in Psychology*, 4. doi:10.3389/fpsyg.2013.00518
- Ministère de l'éducation nationale, de l'enseignement supérieur et de la recherche. (2015). *Programme d'enseignement de l'école maternelle* (Bulletin officiel spécial n°2 du 26 mars 2015). Repéré à <http://www.education.gouv.fr/cid87300/rentree-2015-le-nouveau-programme-de-l-ecole-maternelle.html>
- Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche. (2013). *Certificat de capacité d'orthophoniste – Annexe 1 Référentiel d'activités* (Bulletin officiel n° 32 du 5 septembre 2013). Repéré à http://cache.media.enseignementsup-recherche.gouv.fr/file/32/38/5/referentiel-activites-orthophoniste_267385.pdf
- Mohamed, L. (2019). *Développement des prérequis mathématiques en maternelle : Analyse des effets des différents supports (jeux de plateau et tablettes) sur les compétences mathématiques* (Mémoire d'Orthophonie). Université de Lille, Lille.
- Neumann, M. M., & Neumann, D. L. (2014). Touch screen tablets and emergent literacy. *Early Childhood Education Journal*, 42(4), 231-239. doi:10.1007/s10643-013-0608-3

- 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. doi:10.1016/j.learninstruc.2012.08.004
- Outhwaite, L. A., Faulder, M., Gulliford, A., & Pitchford, N. J. (2019). Raising early achievement in math with interactive apps: A randomized control trial. *Journal of Educational Psychology, 111*(2), 284-298. doi:10.1037/edu0000286
- Outhwaite, L. A., Gulliford, A., & Pitchford, N. J. (2017). Closing the gap: Efficacy of a tablet intervention to support the development of early mathematical skills in UK primary school children. *Computers & Education, 108*, 43-58. doi:10.1016/j.compedu.2017.01.011
- Pazouki, T., Cornu, V., Sonnleitner, P., Schiltz, C., Fischbach, A., & Martin, R. (2018). MaGrid: A language-neutral early mathematical training and learning application. *International Journal of Emerging Technologies in Learning, 13*(08), 4-18. doi:10.3991/ijet.v13i08.8271
- Pitchford, N. J. (2015). Development of early mathematical skills with a tablet intervention: A randomized control trial in Malawi. *Frontiers in Psychology, 6*:485. doi:10.3389/fpsyg.2015.00485
- Purpura, D. J., Napoli, A. R., & King, Y. (2019). Development of mathematical language in preschool and its role in learning numeracy skills. Dans B. Berch., D. C. Geary, K. M. Koepke (Eds), *Mathematical Cognition and Learning: Vol 5. Cognitive Foundations for Improving Mathematical Learning* (pp. 175-193). doi:10.1016/B978-0-12-815952-1.00007-4
- Ramani, G. B., & Scalise, N. R. (2020). It's more than just fun and games: Play-based mathematics activities for Head Start families. *Early Childhood Research Quarterly, 50*, 78-89. doi:10.1016/j.ecresq.2018.07.011
- 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. doi:10.1111/j.1467-8624.2007.01131.x
- Ramani, G. B., & Siegler, R. S. (2014). How informal learning activities can promote children's numerical knowledge. Dans R. Cohen Kadosh & A. Dowker (Eds), *The Oxford Handbook of Numerical Cognition*. Royaume Uni: Oxford University Press. doi:10.1093/oxfordhb/9780199642342.013.012
- Richardson, U., & Lyytinen, H. (2014). The GraphoGame method: The theoretical and methodological background of the technology-enhanced learning environment for learning to read. *Human Technology, 10*(1), 39-60. doi:10.17011/ht/urn.201405281859
- Scalise, N. R., Daubert, E. N., & Ramani, G. B. (2018). Narrowing the early mathematics gap: A play-based intervention to promote low-income preschoolers' number skills. *Journal of Numerical Cognition, 3*(3), 559-581. doi:10.5964/jnc.v3i3.72
- Siegler, R. S., & Booth, J. L. (2004). Development of Numerical Estimation in Young Children. *Child Development, 75*(2), 428-444. doi:10.1111/j.1467-8624.2004.00684.x
- Siegler, R. S., & Ramani, G. B. (2009). Playing linear number board games – but not circular ones – improves low-income preschoolers' numerical understanding. *Journal of Educational Psychology, 101*(3), 545-560. doi:10.1037/a0014239

- Skwarchuk, S.-L., Sowinski, C., & LeFevre, J.-A. (2014). Formal and informal home learning activities in relation to children's early numeracy and literacy skills : The development of a home numeracy model. *Journal of Experimental Child Psychology*, *121*, 63-84. doi:10.1016/j.jecp.2013.11.006
- Starkey, P., Klein, A., & Wakeley, A. (2004). Enhancing young children's mathematical knowledge through a pre-kindergarten mathematics intervention. *Early Childhood Research Quarterly*, *19*(1), 99-120. doi:10.1016/j.ecresq.2004.01.002
- Stock, P., Desoete, A., & Roeyers, H. (2009). Mastery of the counting principles in toddlers : A crucial step in the development of budding arithmetic abilities ? *Learning and Individual Differences*, *19*(4), 419-422. doi:10.1016/j.lindif.2009.03.002
- Susperreguy, M. I., Douglas, H., Xu, C., Molina-Rojas, N., & LeFevre, J.-A. (2020). Expanding the home numeracy model to Chilean children : Relations among parental expectations, attitudes, activities, and children's mathematical outcomes. *Early Childhood Research Quarterly*, *50*, 16-28. doi:10.1016/j.ecresq.2018.06.010
- Szűcs, D., & Myers, T. (2017). A critical analysis of design, facts, bias and inference in the approximate number system training literature : A systematic review. *Trends in Neuroscience and Education*, *6*, 187-203. doi:10.1016/j.tine.2016.11.002
- Thominet, C. (2018). *Anamnèse lors du bilan de la dyscalculie et des troubles du raisonnement logique : Pratiques orthophoniques et création d'un questionnaire parental (Mémoire d'Orthophonie)*. Université de Lille, Lille, France.
- Tisseron, S. (2013). *Grandir avec les écrans La règle 3-6-9-12*. Bruxelles : yapaka.be. Repéré à <https://www.yapaka.be/livre/livre-grandir-avec-les-ecrans-la-regle-3-6-9-12>
- Vanderloo, L. M. (2014). Screen-viewing among preschoolers in childcare : A systematic review. *BMC Pediatrics*, *14*:205. doi:10.1186/1471-2431-14-205
- Villemonteix, F., Hamon, D., Nogry, S., Séjourné, A., Hubert, B., & Gélis, J.-M. (2015). *Expérience tablettes tactiles à l'école primaire – ExTaTE [Rapport de recherche]*. Repéré à <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01026077>
- Von Aster, M. G. V., & Shaley, R. S. (2007). Number development and developmental dyscalculia. *Developmental Medicine & Child Neurology*, *49*(11), 868-873. doi:10.1111/j.1469-8749.2007.00868.x
- Walle, V. (2018). *Développement des habiletés numériques précoces chez l'enfant : Évaluation des outils numériques (Mémoire d'Orthophonie)*. Université de Lille, Lille.
- Wilson, A., & Dehaene, S. (2004). *The Number Race*. (v.3) [Application]. Repéré à <http://thenumberrace.com>
- Winterstein, P., & Jungwirth, R. J. (2006). Medienkonsum und Passivrauchen bei Vorschulkindern : Risikofaktoren für die kognitive Entwicklung ? *Kinder und Jugendarzt*, *37*(4), 205-211. Repéré à http://kinder-undjugendarzt.de/download/angesagte_beitraege/Medienkonsum_und_Passivrauchen_bei_Vorschulkindern_BS.pdf
- Wouters, P., van Nimwegen, C., van Oostendorp, H., & van der Spek, E. D. (2013). A meta-analysis of the cognitive and motivational effects of serious games. *Journal of Educational Psychology*, *105*(2), 249-265. doi:10.1037/a0031311

Xu, F., & Spelke, E. S. (2000). Large number discrimination in 6-month-old infants. *Cognition*, 74(1), B1-B11. doi:10.1016/s0010-0277(99)00066-9

Liste des annexes

Annexe n°1 : Avant – activités proposées dans la précédente étude et appariement

Annexe n°2 : Après – activités proposées dans la nouvelle mallette et compétences travaillées

Annexe n°3 : Livret d'utilisation de la mallette