

MEMOIRE

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

Juliette POULAT

qui sera soutenu publiquement en juin 2021

**Création d'une batterie d'évaluation de la cognition
mathématique : Proposition d'une épreuve de résolution de
problèmes arithmétiques analogiques.**

MEMOIRE dirigé par

Sophie FRAGNON, orthophoniste et enseignante, Département d'orthophonie, Université de Lille,
Lille

Sandrine MEJIAS, maître de conférence, Département d'orthophonie, Université de Lille, Lille

Remerciements

Je souhaite tout d'abord remercier mes directrices de mémoire, Madame Sophie Fragnon et Madame Sandrine Mejias, pour la proposition de ce sujet de mémoire et leur accompagnement durant ces deux années. Je tiens particulièrement à remercier Mme Fragnon, pour sa disponibilité et pour le temps qu'elle m'a accordé.

Je tiens également à remercier les différentes orthophonistes auprès de qui j'ai pu effectuer mes stages, qui m'ont beaucoup apporté et qui m'ont aidée à me former tout au long de mes études.

Enfin, je souhaite remercier ma famille et mes amis pour leur soutien sans faille et leurs encouragements tout au long de mon parcours et durant ces cinq années d'étude.

Résumé :

La résolution de problèmes arithmétiques tient une place importante dans les apprentissages scolaires mais de nombreux enfants rencontrent des difficultés face à cet exercice. En effet, la résolution de problèmes arithmétiques suit différentes étapes et fait appel à de nombreuses compétences pouvant être atteintes de façon isolée ou conjointe. L'évaluation de la cognition mathématique faisant partie du domaine d'intervention de l'orthophonie, il est nécessaire de disposer de matériel discriminant permettant de poser un diagnostic précis. L'objectif de ce mémoire était d'observer les éventuels manques des outils actuels. Pour ce faire, une analyse de l'ensemble des tests à disposition des professionnels, orthophoniques ou non, proposant des items de résolution de problèmes a été réalisée. Tous les items ont été étudiés selon différents critères comme les modalités d'entrée et de sortie des données numériques, le type de problèmes proposés ou encore la cotation appliquée. Les résultats obtenus ont montré, entre autres, la faible quantité d'items proposés dans les différents outils mais surtout l'absence de problèmes présentés sous forme analogique. La représentation mentale de la situation problème nous a cependant semblé être l'essence même de la résolution de problèmes. C'est pourquoi nous avons souhaité proposer une épreuve de résolution de problèmes analogiques permettant d'apporter des informations supplémentaires sur l'origine des difficultés rencontrées. Les items pourront ensuite être améliorés et complétés en vue d'une passation standardisée auprès d'un nombre suffisant de sujets.

Mots-clés :

Cognition mathématique, orthophonie, évaluation, problèmes arithmétiques, problèmes analogiques.

Abstract :

Solving arithmetic problems is an important part of school learning, but many children have difficulties with this exercise. Indeed, the resolution of arithmetic problems follows different steps and requires many skills that can be achieved in isolation or together. The evaluation of mathematical cognition being part of the field of speech therapy, it is necessary to have discriminating material allowing to have a precise diagnosis. The objective of this thesis was to observe the possible shortcomings of the current tools. In order to do this, an analysis of all the tests existing, speech therapy's one or not, proposing problem-solving items was carried out. All the items were studied according to different criteria such as the input and output methods of numerical data, the type of problems proposed or the scoring applied. The results obtained showed, among other things, the small quantity of items offered in the different tools but above all, the absence of problems presented in analogical form. For us, mental representation of the problem situation seemed to be the very essence of problem solving. Consequently, we wanted to propose an analogical problem solving test that would provide additional informations on the origin of difficulties encountered. Then, items could be improved and completed with a view of a standardized test including a number of subjects sufficient.

Keywords :

Mathematical cognition, speech therapy, evaluation, arithmetic problems, analogical problems.

Table des matières

Introduction	1
Contexte théorique, buts et hypothèses.....	2
.1. Contexte théorique	2
.1.1. Références théoriques et évolutions.....	2
.1.2. Bilan orthophonique	3
.1.3. Trouble spécifique des apprentissages.....	4
.1.3.1. Avec déficit du calcul	4
.2. Problèmes arithmétiques.....	5
.2.1. Définitions	5
.2.2. Modèle de résolution de problèmes.....	6
.2.3. Classification des problèmes	6
.2.3.1. Problèmes additifs	6
.2.3.2. Problèmes multiplicatifs	7
.3. Compétences impliquées dans la résolution de problèmes arithmétiques	8
.3.1. Compétences spécifiques	8
.3.1.1. Lexique mathématique	8
.3.1.1.1. Lexique spécifique et courant	8
.3.1.1.2. Lexique des mots-nombres	9
.3.1.1.3. Lexique des opérateurs.....	9
.3.1.1.4. Lexique géométrique	9
.3.1.2. Maîtrise des opérations	9
.3.1.2.1. Procédures des opérations.....	10
.3.1.2.2. Faits arithmétiques.....	10
.3.1.2.3. Sens des opérations	10
.3.2. Compétences générales	10
.3.2.1. Innées	10
.3.2.1.1. Mémoire.....	10
.3.2.1.1.1. Mémoire de travail	10
.3.2.1.1.2. Mémoire à long terme.....	11
.3.2.1.2. Fonctions exécutives.....	11
.3.2.1.2.1. Planification.....	11
.3.2.1.2.2. Inhibition	11
.3.2.1.2.3. Flexibilité mentale	12
.3.2.2. Apprises.....	12
.3.2.2.1. Lecture.....	12
.3.2.2.2. Compétences langagières.....	12
.4. Troubles impactant la résolution de problèmes arithmétiques	13
.4.1. Troubles spécifiques des apprentissages.....	13
.4.1.1. Avec déficit du calcul	13
.4.1.2. Avec déficit de la lecture	13
.4.2. Trouble du langage	13

.4.3. Trouble de la mémoire	14
.4.4. Trouble des fonctions exécutives	14
.4.5. Trouble déficit de l'attention avec ou sans hyperactivité (TDAH)	14
.5. Buts et hypothèses	14
Méthode	15
.1. Méthodologie générale	15
.2. Création du tableau de synthèse	16
.2.1. Informations générales des outils	16
.2.2. Critères spécifiques aux items de résolution de problèmes	17
Résultats	18
Discussion	20
.1. Validation des hypothèses	20
.2. Proposition d'items de résolution de problèmes analogiques	21
.3. Limites de la proposition et poursuite du mémoire	23
.3.1. Limites de l'épreuve	23
.3.2. Poursuite du mémoire	24
Conclusion	24
Bibliographie	26
Liste des annexes	30
Annexe n°1 : Synthèse des outils évaluant un ou plusieurs domaines de la cognition mathématique	30
Annexe n°2 : Synthèse des outils proposant des items de résolution de problèmes arithmétiques	30
Annexe n°3 : Proposition d'items de résolution de problèmes arithmétiques analogiques.	30

Introduction

Le terme de « cognition mathématique » fait partie de la nomenclature des actes orthophoniques depuis le 1^{er} avril 2018 (Fédération Nationale des Orthophonistes, 2018). L'évaluation ainsi que la prise en charge de la cognition mathématique sont importantes étant donné la place accordée aux mathématiques dans notre société actuelle. Leur maîtrise est en effet une qualité requise dans le milieu professionnel, social mais aussi scolaire où elles sont très présentes et utilisées comme moyen de sélection (Fayol, 2018).

Comme pour tous les domaines appartenant au champ de compétence de l'orthophonie, il est important de disposer de matériel discriminant permettant, dans le domaine de la cognition mathématique, de diagnostiquer les enfants présentant une difficulté ou un trouble spécifique d'apprentissage. Différents outils d'évaluation de la cognition mathématique sont aujourd'hui disponibles mais nous avons jugé utile de réfléchir à la création d'une nouvelle batterie à l'attention des orthophonistes, afin d'apporter des éléments supplémentaires aux bilans existants. Cette batterie aura pour objectif de respecter les critères psychométriques essentiels à un test de qualité (Rolland, 2006), de couvrir une large étendue d'âges et de permettre l'évaluation de divers domaines considérés comme fondamentaux pour obtenir une évaluation exhaustive. Elle reposera sur des modèles théoriques cognitivistes récents permettant à l'orthophoniste de savoir ce qui est spécifiquement testé et ainsi de mieux comprendre les difficultés rencontrées par les patients. L'orthophoniste aura ainsi une réponse éclairée sur les atteintes de son patient ce qui facilitera l'orientation de sa prise en charge. Dans cet outil, une grande partie des épreuves seront informatisées, quelques-unes pourront être sous le format papier-crayon. L'informatisation permettra ainsi la prise en compte automatique du temps, la standardisation des passations et la génération des résultats à l'issue de chaque épreuve.

A l'instar de Lafay et Cattini (2018), nous avons recensé dans un tableau les batteries et tests généraux ou spécifiques contenant un à plusieurs domaines de la cognition mathématique. Nous avons également répertorié les questionnaires et échelles d'intelligence comportant un ou plusieurs sous-tests mathématiques et nous avons intégré les outils destinés aux adultes. Ce mémoire étant réalisé dans le cadre d'un travail collectif, les différents domaines d'évaluation proposés dans cette nouvelle batterie ont été répartis entre plusieurs étudiants.

Dans ce mémoire-ci, il s'agira de s'intéresser aux épreuves de résolution de problèmes arithmétiques. En effet, parmi les différents exercices de mathématiques fréquemment rencontrés dès l'école primaire on retrouve la résolution de problèmes qui prend une place de plus en plus importante dans les apprentissages scolaires. Cette activité, faisant intervenir et interagir de multiples compétences (Feyfant, 2015), peut être source de difficultés pour de nombreux écoliers et ce pour des raisons diverses. Il nous a donc semblé important de s'intéresser aux épreuves de résolution de problèmes proposées dans les tests actuels, destinés à repérer spécifiquement les personnes présentant des troubles. L'objectif étant de relever les points forts et les éventuels manques des outils pour ensuite proposer une épreuve de résolution de problèmes arithmétiques permettant d'identifier les atteintes sous-jacentes et d'orienter le diagnostic orthophonique.

Dans un premier temps, nous présenterons le cadre théorique sur lequel nous nous sommes appuyés, nous définirons les problèmes et leurs différents types puis nous nous intéresserons aux

différentes compétences impliquées dans cet exercice et aux difficultés rencontrées lorsqu'elles sont atteintes. Nous formulerons également les objectifs et hypothèses de ce mémoire. Dans un second temps, nous présenterons la méthode suivie ainsi que les résultats obtenus. Notre travail se terminera par une discussion.

Contexte théorique, buts et hypothèses

Nous allons donc nous intéresser à l'évolution des références théoriques ainsi qu'au cadre du bilan orthophonique de la cognition mathématique. Nous rappellerons également la définition du trouble des apprentissages avec déficit du calcul, proposée par le DSM-5 (Crocq et Guelfi, 2015). Ensuite nous définirons les problèmes arithmétiques verbaux ainsi que leurs différents types. Par la suite nous nous intéresserons aux compétences nécessaires à leur résolution et aux difficultés rencontrées lorsqu'elles sont touchées. Enfin, nous présenterons les objectifs de ce mémoire et en formulerons les hypothèses.

.1. Contexte théorique

De nombreux travaux ont été effectués afin de comprendre, entre autres, l'acquisition du nombre. Nous allons voir comment ces recherches ont fait évoluer les théories, passant ainsi de la pensée piagétienne à celle de la cognition mathématique.

.1.1. Références théoriques et évolutions

Jean Piaget, psychologue suisse, a pendant longtemps été une référence concernant la genèse du nombre et les habiletés numériques. Il avait avancé l'idée selon laquelle l'acquisition du nombre se faisait par étapes selon un ordre précis (Vaillé, 2009). Selon lui, des capacités logiques étaient nécessaires pour pouvoir développer des capacités mathématiques, qui ne pouvaient alors être acquises qu'une fois les compétences antérieures maîtrisées.

Ses travaux et notamment sa théorie constructiviste mettant en avant cette notion de stades d'acquisition ont été critiqués et peu à peu écartés. En effet, des études ont montré que les enfants de quelques mois présentaient déjà des capacités logiques et mathématiques et que le développement de l'intelligence ne suivait pas une progression linéaire mais qu'il connaissait des retours en arrière tout au long de la vie de l'individu. (Houdé, 2005). Dans le même temps, le cognitivisme, courant s'intéressant au processus d'assimilation des connaissances, s'est développé et différents modèles théoriques, aujourd'hui considérés comme des modèles de référence, ont vu le jour.

En effet, McCloskey, Caramazza et Basili (1985) proposent une approche modulaire permettant de comprendre le fonctionnement de patients adultes cérébrolésés présentant des difficultés dans certaines compétences mathématiques. Ils suggèrent l'existence de trois systèmes indépendants ; le système de calcul, le système de compréhension et le système de production, chacun composé de sous-systèmes. Une représentation sémantique serait au centre de toutes les activités de transcodage.

Dehaene et Cohen (1995) proposent le modèle du triple code selon lequel les nombres peuvent être représentés sous trois formes : représentation visuelle arabe, représentation verbale et représentation analogique. Cette approche, sous forme de modules pouvant être impactés de manière isolée ou conjointe, permet d'analyser et de comprendre les difficultés rencontrées par les sujets dyscalculiques ou les sujets devenus acalculiques. Ici, contrairement au modèle de McCloskey, le transcodage entre code symboliques peut se faire en l'absence d'une représentation de la quantité.

Von Aster et Shalev (2007) présentent un modèle rendant compte de l'aspect développemental de ces différents codes. Dès la petite enfance, le nouveau-né serait capable de comparer des ensembles de points puis, avant l'âge scolaire, l'enfant développerait son système numérique verbal. Ensuite, il apprendrait à se représenter des nombres arabes et enfin il acquerrait de bonnes capacités de représentation du système numérique.

Nous venons de voir différents modèles cognitivistes qui pourront nous permettre d'identifier l'origine des difficultés rencontrées lors de la résolution de problèmes. A présent, nous allons nous intéresser au contexte du bilan orthophonique et plus précisément à celui de la cognition mathématique.

.1.2. Bilan orthophonique

L'évaluation et la rééducation des compétences mathématiques font partie du champ d'intervention de l'orthophonie. Cependant, depuis le 1^{er} avril 2018, le bilan de la « cognition mathématique » a remplacé l'intitulé du « bilan de la dyscalculie et des troubles du raisonnement logico-mathématique » dans les actes orthophoniques (FNO, 2018). Le passage de l'un à l'autre de ces intitulés est à mettre en lien avec le glissement théorique dont nous avons parlé précédemment. Avec le terme « logico-mathématique », émanant des théories piagésiennes, le bilan était orienté vers l'évaluation des compétences logiques qui, selon Piaget, devaient être maîtrisées pour permettre les apprentissages futurs. Le terme actuel de « cognition mathématique » donne une autre dimension au bilan et l'oriente davantage sur l'étude des processus cognitifs impliqués et sur la recherche de l'origine des phénomènes observés.

Lors d'une plainte dans le domaine des mathématiques, les enfants sont orientés par leur médecin traitant vers un orthophoniste pour qu'un bilan de cognition mathématique soit réalisé. Celui-ci est destiné à évaluer les compétences mathématiques de l'enfant à partir d'épreuves objectives. Les résultats sont ensuite comparés à une norme ce qui permet d'identifier si l'on fait face à simples difficultés ou à un retard des apprentissages ou bien s'il s'agit de réels troubles nécessitant une prise en charge orthophonique.

Comme tout bilan orthophonique, le bilan de la cognition mathématique suit une architecture spécifique. Avant l'évaluation, un temps d'anamnèse permettant d'obtenir des informations sur la vie de l'enfant et sur les étapes de son développement est donc réalisé en présence des parents. Cet entretien peut déjà permettre d'émettre ou d'écarter des hypothèses de diagnostic. C'est également un moment important permettant d'orienter le choix des épreuves à proposer à l'enfant. Suite à cette anamnèse vient le temps des épreuves objectives.

Lors du bilan de cognition mathématique, différentes compétences vont être évaluées et chacune d'entre elles peut contenir plusieurs subtests : les habiletés numériques de base (représentation des

différents codes ; analogique, arabe et verbal écrit ou oral, et la capacité à passer d'un code à l'autre), la numération (système en base dix, maîtrise des équivalences), l'arithmétique (calcul mental, connaissance des faits arithmétiques), la résolution de problèmes arithmétiques, la connaissance des mesures (temps, masses, longueurs, etc.) et enfin le raisonnement et le langage (Lafay et Helloin, 2016).

L'analyse des résultats du bilan doit ensuite se faire en regard de l'ensemble des épreuves administrées. L'appui de modèles théoriques tels que celui du triple code (Dehaene et Cohen, 1995) permettra d'émettre des hypothèses sur l'origine des difficultés rencontrées. En conclusion, l'orthophoniste sera amené à poser des hypothèses de diagnostic pouvant aller de difficultés à un trouble spécifique des apprentissages avec déficit du calcul.

L'intitulé « trouble spécifique des apprentissages avec déficit du calcul », qui a remplacé le terme de dyscalculie, est proposé par la classification internationale du DSM-5 (Crocq et Guelfi, 2015) et nous allons maintenant en rappeler la définition.

.1.3. Trouble spécifique des apprentissages

« Le trouble spécifique des apprentissages est un trouble neurodéveloppemental d'origine biologique qui entraîne des anomalies cognitives associées avec les symptômes comportementaux du trouble » (Crocq et Guelfi, 2015, p. 78).

D'après le DSM-5 (Crocq et Guelfi, 2015), manuel diagnostique et statistique des troubles mentaux, les critères diagnostiques du trouble spécifique des apprentissages sont les suivants : des difficultés persistantes à apprendre et à utiliser les compétences scolaires ou universitaires malgré la mise en place d'aides ciblées, des compétences scolaires ou universitaires significativement inférieures au niveau attendu par rapport à l'âge chronologique du sujet et interférant sur les performances scolaires ou dans les activités de la vie quotidienne, des difficultés d'apprentissage présentes dès le début de la scolarité ou dès lors que les demandes dépassent les capacités du sujet et enfin l'absence d'explication des troubles par un handicap intellectuel, un trouble visuel, auditif, neurologique ou mental ou encore un manque d'exposition à la langue ou de scolarisation. Lorsqu'un enfant est concerné par un trouble spécifique des apprentissages il présentera dans 40% des cas plusieurs troubles (Mikaeloff et al., s.d.).

Sous cette appellation nous pouvons retrouver différents troubles :

- Trouble spécifique des apprentissages avec déficit de la lecture
- Trouble spécifique des apprentissages avec déficit de l'expression écrite
- Trouble spécifique des apprentissages avec déficit du calcul

Compte tenu du sujet de notre mémoire, nous ne proposerons ici que la définition du trouble spécifique des apprentissages avec déficit du calcul.

.1.3.1. Avec déficit du calcul

Lors d'un trouble spécifique des apprentissages avec déficit du calcul, une ou plusieurs compétences peuvent être touchées : le sens du nombre, la mémorisation des faits arithmétiques, le calcul exact ou fluide et/ou le raisonnement mathématique correct (Crocq et Guelfi, 2015). Ces différentes

compétences sont requises dans un grand nombre d'activités mathématiques tout comme la résolution de problèmes arithmétiques.

Associé à ce trouble, un trouble du langage oral ou un trouble développemental de la coordination est souvent retrouvé (Mikaeloff et al., s.d.).

Les atteintes pouvant être présentes lors d'un trouble spécifique des apprentissages avec déficit du calcul peuvent entraîner des difficultés dans la résolution de problèmes arithmétiques. Cela aura un impact au niveau scolaire mais aussi dans la vie quotidienne pour la résolution de problèmes que nous rencontrons tous les jours. L'orthophoniste a donc une place importante tout d'abord dans l'évaluation objective des troubles et par la suite, dans la prise en charge des difficultés afin de les lever ou de les contourner.

Nous allons maintenant nous intéresser aux problèmes arithmétiques à proprement parler.

.2. Problèmes arithmétiques

Dès la maternelle, les enfants sont exposés à des situations problèmes (Ministère de l'Éducation Nationale de la Jeunesse et des Sports, 2019) introduites grâce à la manipulation et la représentation concrète des quantités. Au fil de la scolarité, la résolution de problèmes prend une place de plus en plus importante dans les apprentissages et les énoncés sont généralement présentés à l'écrit. Nous allons donc tenter de définir les problèmes arithmétiques verbaux.

.2.1. Définitions

Un problème peut être défini comme une « question à résoudre dans un domaine quelconque, qui se présente avec un certain nombre de difficultés, d'obstacles » (Larousse en ligne, s.d.).

Selon Poirier-Proulx (1999), trois points caractérisent les situations-problèmes : il y a un écart entre la situation énoncée et celle à atteindre, la solution n'est pas évidente de prime abord et enfin la situation-problème est plus ou moins difficile à résoudre selon les connaissances et le vécu de chacun.

Un problème arithmétique verbal, quant à lui, est un énoncé contenant des données numériques permettant de trouver une solution (Brun, 1990). Un énoncé de problème arithmétique verbal comporte différentes caractéristiques : un lexique réduit dont des mots indiquant les opérations à effectuer, quelques données numériques le plus souvent présentées en chiffres arabes, une ou plusieurs questions, des informations ordonnées de façon à laisser entrevoir la procédure de résolution et enfin des phrases organisées de manière réfléchie (Ménissier, 2005).

Comme nous venons de le voir, un problème arithmétique verbal se distingue d'un problème quelconque de par certaines caractéristiques telles que les données numériques. A présent, nous allons nous intéresser aux différents procédés permettant de parvenir à sa résolution.

.2.2. Modèle de résolution de problèmes

La résolution de problèmes peut alors être modélisée en huit étapes comme représenté ci-dessous :

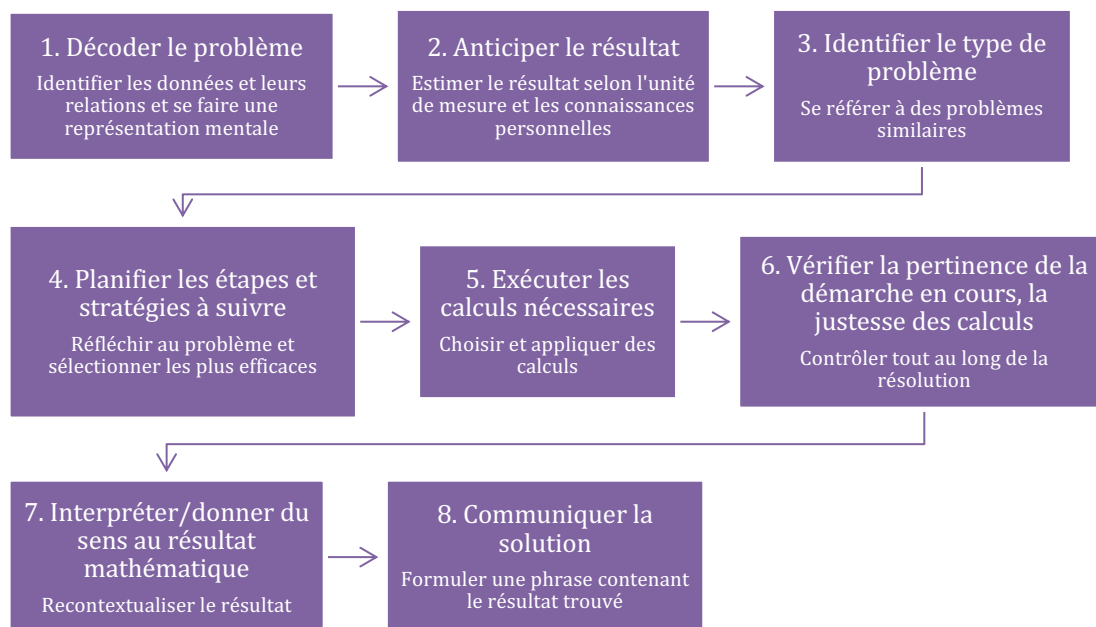


Schéma 1. Illustration de la théorie de Van Nieuwenhoven et al. (2019).

Il est important de rappeler que la résolution de problèmes arithmétiques verbaux écrits débute tout d'abord par la lecture et la compréhension de l'énoncé (Ménissier, 2011). Ce n'est qu'après avoir sémantisé chaque élément du problème qu'une représentation mentale de la situation sera possible.

Nous avons donc pu observer que la résolution de problèmes était un processus constitué de différentes étapes et impliquant des compétences diverses (lecture, fonctions exécutives, calculs, etc.). Par ailleurs, parmi les problèmes arithmétiques il existe différents types auxquels nous allons nous intéresser à présent.

.2.3. Classification des problèmes

Les problèmes arithmétiques peuvent être séparés en deux grandes catégories ; les problèmes additifs et les problèmes multiplicatifs. Nous allons en proposer une description.

.2.3.1. Problèmes additifs

Riley, Greeno et Heller (1983) se sont appuyés sur les travaux de nombreux chercheurs (e.g., Carpenter et Moser, 1981 ; Heller et Greeno, 1978 ; Vergnaud, 1981) pour proposer une classification des problèmes additifs. Dans ce travail de synthèse, les noms des différentes catégories ont été modifiés. Les auteurs proposent donc de classer les problèmes additifs selon quatre types, en fonction des actions et des opérations :

- **Changement** (exemple : *Louise avait 5 bonbons. Elle en a mangé 2. Combien lui en reste-t-il ?*). La quantité initiale subit une transformation pour parvenir à un état final. Il existe six problèmes de type

changement en fonction de l'association entre l'inconnue (état initial, transformation, état final) et la nature de la transformation (positive/augmentation ou négative/diminution).

- **Egalisation** (exemple : *Louise a 3 bonbons. Jade en a 7. Que doit faire Jade pour qu'elles aient toutes les deux le même nombre de bonbons ?*). Deux quantités initiales sont présentées. L'une d'entre elles va être modifiée pour parvenir à deux quantités égales. L'inconnue est la différence entre la quantité donnée et la quantité attendue. Il existe deux problèmes de type égalisation (bien que des variations d'opérations permettent d'arriver à un même résultat) : X en possède plus qu'Y et X en possède moins qu'Y.
- **Combinaison** (exemple : *Louise a 5 bonbons. Jade en a 6. Combien ont-elles de bonbons en tout ?*). Deux quantités distinctes sont présentes à l'état initial et ne changent pas. L'énoncé nous incite à les rassembler pour former un tout. Il existe deux problèmes de type combinaison selon la nature de l'inconnue (le tout ou le nombre manquant pour obtenir le tout).
- **Comparaison** (exemple : *Louise a 10 bonbons. Elle en a 4 de plus que Jade. Combien Jade a-t-elle de bonbons ?*). Deux quantités fixes sont données dans l'énoncé et il s'agit d'indiquer la différence entre les deux. Il existe six problèmes de type comparaison en fonction de la combinaison entre l'inconnue et la nature de la différence (positive ou négative).

Des recherches ont montré que les problèmes de type « changement » étaient les mieux réussis, indépendamment de la nature de la transformation, tandis que les problèmes de type « comparaison » posaient le plus de difficultés (Feyfant, 2015).

.2.3.2. Problèmes multiplicatifs

Les problèmes multiplicatifs (impliquant des multiplications ou des divisions) sont également de différents types. Ménissier (2011), à partir de la théorie des champs conceptuels de Vergnaud (1990), a proposé d'analyser les problèmes multiplicatifs selon quatre classes que nous allons détailler ci-dessous :

- **Les problèmes de proportionnalité simple et directe** (exemple : *4 livres coûtent 12 euros. Combien coûtent 8 livres ?*) : quatre quantités (dont trois connues) et deux domaines de grandeur interviennent. Selon la place de l'inconnue il existe trois types de problèmes qui se résoudront par une multiplication (recherche de la valeur multipliée), une division de type partition (recherche de la valeur unitaire) ou une division de type quotition (recherche du nombre d'unités).
- **Les problèmes de proportionnalité simple composée** (exemple : *Mathieu achète 3 packs de 6 bouteilles de lait. Chaque bouteille coûte 0,80 centimes. Combien va-t-il payer en tout ?*) : ici interviennent trois domaines de grandeur et deux relations de proportionnalité simple ou plus (entre la première et la deuxième grandeur, entre la deuxième et la troisième et éventuellement entre la première et la troisième). Trois types de problèmes sont possibles selon l'inconnue : une multiplication pour trouver la relation composée, une division pour trouver la première grandeur ou bien pour trouver la première et la deuxième relation de proportionnalité.
- **Les problèmes de proportionnalité double** (exemple : *Un ouvrier gagne 20 euros de l'heure. Il fait des journées de 8 heures et travaille 5 jours par semaine. Combien aura-t-il gagné d'argent au bout de trois semaines ?*) : on distingue la structure du produit de mesure (l'unité de mesure des grandeurs-produits correspond à l'unité) de celle de proportion double (l'unité du domaine des grandeurs-

produits ne correspond pas à l'unité). A partir de ces différentes structures, trois types de problèmes existent selon l'inconnue à trouver : la grandeur-produit (multiplication), l'unité (division) ou l'une des grandeurs (division également).

- **Les problèmes de comparaison multiplicative des grandeurs** (exemple : *Louise a 12 bonbons. Elle en a deux fois plus qu'Eva.*) : un domaine de grandeur et un rapport scalaire (x fois plus ou x fois moins) entre deux quantités interviennent. Deux types de problèmes peuvent être présentés selon la nature de la relation entre les deux quantités : multiplicative ou de division.

Nous venons donc de voir que les problèmes arithmétiques peuvent être additifs ou multiplicatifs et que parmi ces deux catégories nous retrouvons d'autres sous-types de problèmes. Nous allons maintenant présenter les différentes compétences sollicitées dans la résolution de problèmes arithmétiques.

.3. Compétences impliquées dans la résolution de problèmes arithmétiques

La résolution de problèmes arithmétiques appartient certes au domaine de la cognition mathématique mais est une activité faisant appel à des compétences diverses. Certaines sont spécifiques aux mathématiques et d'autres, plus générales, peuvent être impliquées dans différents domaines.

.3.1. Compétences spécifiques

Certaines compétences impliquées dans la résolution de problèmes sont spécifiques au domaine de la cognition mathématique et à la présentation des énoncés que l'on retrouve fréquemment sous forme verbale. Nous allons nous intéresser au lexique mathématique et aux opérations arithmétiques.

.3.1.1. Lexique mathématique

Le lexique mathématique est vaste et complexe et nécessite un apprentissage. De nombreux mots sont employés dans la langue courante puis repris en mathématiques avec un sens identique ou différent. De plus, la maîtrise des mots-nombres nécessite un apprentissage fastidieux. Les opérateurs et la géométrie ont également leur propre vocabulaire qu'il est donc nécessaire de maîtriser.

.3.1.1.1. Lexique spécifique et courant

Dans les énoncés de problèmes arithmétiques verbaux on retrouve des unités terminologiques mathématiques que l'on peut différencier selon leur degré de spécificité (Ghenimi et Rolle-Boumlie, 2002). En effet, certaines unités n'existent que dans le domaine mathématique (exemple : racine carrée, isocèle, hypoténuse), d'autres viennent du langage courant et ne changent pas de sens en mathématiques (exemple : résultat, ajouter, retirer) et enfin des termes du langage courant ont un autre sens lorsqu'ils sont utilisés en mathématiques (exemple : facteur, produit, différence). Cela demande donc au sujet de

nombreuses connaissances et en particulier des compétences de flexibilité face à un mot prenant un sens différent de son sens commun.

.3.1.1.2. Lexique des mots-nombres

L'acquisition de l'ensemble des nombres verbaux est complexe. En effet, en français, les enfants doivent mémoriser les seize premiers mots-nombres avant que la base dix ne soit transparente (dix-sept). De plus, des irrégularités sur des séquences de mots entre 69 et 100 perturbent cet apprentissage, les enfants devant se familiariser avec un nouveau fonctionnement (Giroux et Lemoyne, 1993). En tout, vingt-six mots-nombres, que l'on peut classer en trois catégories (Ménissier, 2005), seront à acquérir pour ensuite pouvoir compter sans limite. Il y a donc les noms d'unités allant de un à neuf, les noms de dizaines allant de dix à soixante et enfin les nombres particuliers de onze à seize. Une fois ce lexique connu, il est possible de compter à l'infini grâce à l'existence d'une syntaxe additive ou multiplicative (exemple : dix-huit, quatre-vingts). Les modalités de présentation des énoncés varient mais les données numériques peuvent être présentées sous forme verbale orale ou écrite ce qui demande donc une maîtrise de ces nombres verbaux.

.3.1.1.3. Lexique des opérateurs

Il est nécessaire de connaître le lexique des opérateurs afin d'identifier le sens des transformations à effectuer (Ménissier, 2005). « Ajoute, additionne, verse, plus, somme » vont renvoyer à une addition tandis que pour une soustraction on pourra employer « retire, ôte, moins, différence ». Les termes « multiplier, produit, fois » font référence à une multiplication tandis que les notions de « partage, répartition, quotient, reste, diviseur et dividende » renvoient à une division. Ces différents termes sont souvent retrouvés dans les énoncés arithmétiques et doivent donc être connus.

.3.1.1.4. Lexique géométrique

Les énoncés arithmétiques peuvent également comporter du vocabulaire géométrique. Tout d'abord, il est important de connaître les termes faisant référence aux figures géométriques comme le triangle, carré ou encore le cylindre (Bettega et Anfre, 1988). De plus, leurs différentes propriétés doivent également être connues comme le calcul de la hauteur, de l'aire ou encore du périmètre. De nombreuses autres définitions doivent être maîtrisées pour parvenir à comprendre un énoncé arithmétique (exemple : diamètre, angle, perpendiculaire).

.3.1.2. Maîtrise des opérations

Lors des épreuves de résolution de problèmes il est nécessaire de connaître les différentes opérations arithmétiques ainsi que leurs procédures de calcul. Les faits arithmétiques doivent également être connus et la maîtrise du sens des opérations est primordiale.

.3.1.2.1. Procédures des opérations

Les quatre signes des opérateurs (+, -, x et :) doivent être connus et maîtrisés (Ménissier, 2005). De plus, la maîtrise des procédures de calcul de ces quatre opérations est requise. De manière générale il faut savoir comment organiser les nombres de manière verticale, en fonction des unités, dizaines et centaines et connaître le fonctionnement de la retenue. Ces différentes connaissances participent à obtenir le bon résultat lors d'une épreuve de résolution de problèmes.

.3.1.2.2. Faits arithmétiques

Les faits arithmétiques correspondent à l'association d'un opérande et de son résultat. Il s'agit des calculs appris par cœur, comme les multiplications ou les petites additions, que l'on ne compte plus et qui sont stockés en mémoire. Ils sont sollicités tout au long de la résolution de problèmes lors des différents calculs.

.3.1.2.3. Sens des opérations

Maîtriser le sens des opérations équivaut à savoir faire un transcodage entre différentes représentations (analogique, arabe, verbale). Cela correspond entre autres à savoir représenter avec des objets concrets une « addition » ou le signe opératoire « + ». Face à un problème arithmétique verbal, l'enfant est confronté à une situation problème et doit choisir la bonne opération permettant de la résoudre. Il doit donc avoir compris que, par exemple, le mot « gagne » va faire référence à une addition et qu'il devra donc utiliser le signe « + ».

Nous avons présenté jusqu'ici différentes compétences spécifiques impliquées dans le processus de résolution de problèmes. A présent, nous allons nous intéresser aux compétences plus générales également sollicitées.

.3.2. Compétences générales

Parmi les compétences générales impliquées dans la résolution de problèmes, certaines sont innées, (la mémoire, les fonctions exécutives) tandis que d'autres sont le fruit d'un apprentissage (la lecture, le langage oral). Nous allons les détailler ci-dessous.

.3.2.1. Innées

.3.2.1.1. Mémoire

La mémoire tient une place importante dans le processus de résolution de problèmes. Nous allons présenter deux de ses composantes : la mémoire de travail et la mémoire à long terme.

.3.2.1.1.1. Mémoire de travail

La mémoire de travail (MdT) permet de maintenir de façon temporaire et en quantité limitée, des

informations destinées à être traitées rapidement (Barrouillet et Camos, s. d.). Elle est impliquée dans l'acquisition de vocabulaire, la lecture ou la compréhension de texte (Noël, 2005). Elle est également sollicitée lors de la résolution de problèmes pour mémoriser les données de l'énoncé, qui permettront la construction d'une représentation mentale du problème, (Thevenot et al., 2009) ainsi que les calculs déjà effectués.

Tout comme la mémoire de travail, la mémoire à long terme joue un rôle important tout au long de l'activité de résolution de problèmes arithmétiques.

.3.2.1.1.2. Mémoire à long terme

La mémoire à long terme (MLT) est composée, entre autres, de la mémoire épisodique (événements personnels) et de la mémoire sémantique (connaissances du monde). Elle permet de mémoriser de nombreuses informations de manière durable, qui pourront ensuite être récupérées (Richard, 1982). Lors de la résolution de problèmes, les situations déjà rencontrées et stockées en MLT peuvent être comparées à la situation problème actuelle permettant ainsi d'arriver plus rapidement à la solution (Cauzinille-Marmeche et Mathieu, 1994). De plus, la récupération de faits arithmétiques stockés en MLT permet de réduire le temps de calcul et de limiter les erreurs si les résultats sont correctement encodés.

La mémoire est donc une compétence nécessaire dans la résolution d'un problème arithmétique verbal. D'autres processus cognitifs sont primordiaux, comme les fonctions exécutives que nous allons présenter maintenant.

.3.2.1.2. Fonctions exécutives

La résolution de problèmes fait en effet appel aux différentes fonctions exécutives. Celles-ci interviennent tout au long de cette activité pour permettre des « réorientations et de nouvelles représentations et interprétations selon les résultats des actions entreprises » (Ménissier, 2011).

.3.2.1.2.1. Planification

La planification correspond à l'élaboration d'un plan d'action. Elle permet d'organiser les différentes actions à réaliser. Celles-ci doivent alors suivre un ordre bien précis pour parvenir à l'objectif final. Dans la résolution de problèmes, différents calculs peuvent être effectués. Ils doivent alors avoir été pensés en amont et suivre une certaine chronologie pour parvenir au résultat correct (Barrouillet et al., 2007).

.3.2.1.2.2. Inhibition

L'inhibition est un processus interne freinant ou empêchant un comportement. Elle intervient dans différents processus cognitifs comme le langage, la mémoire ou l'attention (Censabella, 2007). Lors d'une épreuve de résolution de problèmes elle permet d'empêcher l'activation des situations qui ne

correspondent pas au problème énoncé pour éviter la mise en place de mauvaises stratégies de résolution. De plus, certains énoncés peuvent contenir des verbes comme *donner* ou *avoir plus que* suggérant une addition, parfois à tort (Ménissier, 2005). L'inhibition de cette première impression est alors essentielle pour parvenir à s'orienter vers l'opération adéquate le cas échéant.

.3.2.1.2.3. Flexibilité mentale

La flexibilité mentale consiste à passer d'une opération cognitive à une autre. Dans l'exercice de résolution de problèmes, deux caractéristiques font appel à elle : l'identification des contraintes de la situation et le choix de la stratégie la plus efficace. Dans le premier cas, il s'agit d'accepter d'annuler la stratégie en cours et d'en suivre une nouvelle. Dans le deuxième cas, il faut être en mesure d'imaginer différents moyens d'action poursuivant un même objectif (Clément, 2008). De plus, les informations sont généralement fournies au fur et à mesure de l'énoncé arithmétique ce qui implique la capacité à se faire différentes représentations du problème. La flexibilité mentale joue en effet un rôle dans la faculté à se détacher de la représentation initiale qu'on a pu se faire pour ensuite accéder à d'autres représentations en fonction de nouveaux éléments (Thevenot, 2008).

Nous allons maintenant nous intéresser aux compétences apprises nécessaires dans la résolution de problèmes.

.3.2.2. Apprises

.3.2.2.1. Lecture

La lecture correspond à la conversion de graphèmes (lettres) en phonèmes (sons). A l'école, les énoncés de problèmes arithmétiques verbaux sont le plus souvent présentés à l'écrit. La première étape lors de cet exercice consiste donc à lire l'énoncé. Ainsi, de bonnes compétences d'identification des mots écrits sont nécessaires.

Une fois l'étape de reconnaissance des mots maîtrisée, il faut être en mesure de comprendre la situation présentée dans l'énoncé ainsi que les liens reliant les données verbales et numériques.

.3.2.2.2. Compétences langagières

Dans les épreuves de résolution de problèmes verbaux, le langage joue un rôle primordial. Les énoncés peuvent en effet être proposés à l'écrit ou à l'oral. Ces deux modalités requièrent de bonnes capacités de compréhension permettant d'accéder au sens de l'énoncé. Le sujet doit donc disposer de connaissances phonologiques, morphosyntaxiques et sémantiques afin de comprendre les relations entre les différentes données de l'énoncé (Cross et al., 2019). La compréhension de l'énoncé est primordiale pour le processus de résolution de problèmes afin que le sujet puisse se faire une représentation mentale de la situation.

Nous venons donc de voir les différentes compétences impliquées dans la résolution de problèmes. Nous allons maintenant nous intéresser aux troubles observés lorsqu'elles sont atteintes et aux conséquences que cela a sur la résolution de problèmes.

.4. Troubles impactant la résolution de problèmes arithmétiques

Toutes les compétences précédemment citées peuvent être touchées et expliquer les difficultés lors d'exercices de résolution de problèmes. Un trouble spécifique des apprentissages, des fonctions exécutives, du langage oral, de l'attention ou encore de la mémoire peuvent alors être observés.

.4.1. Troubles spécifiques des apprentissages

.4.1.1. Avec déficit du calcul

Nous l'avons vu précédemment, ce trouble peut impacter le sens du nombre, la mémorisation et la récupération des faits arithmétiques, le calcul exact ou fluide ou encore le raisonnement mathématique correct. Ces différentes compétences, impliquées dans la résolution de problèmes, feront obstacle à sa bonne exécution. Les différents calculs à réaliser pourront être impactés par la méconnaissance des faits arithmétiques et les difficultés de maîtrise des procédures des opérations. En effet, à cause de leurs difficultés de mémorisation et de récupération des faits arithmétiques, ils auront tendance à utiliser d'autres stratégies, généralement plus coûteuses. (Geary, dans Noël, 2013).

.4.1.2. Avec déficit de la lecture

Les difficultés relevées dans ce trouble concernent l'exactitude de la lecture des mots, le rythme et la fluidité de la lecture et la compréhension de la lecture (Crocq et Guelfi, 2015). De faibles capacités de déchiffrage impliquent une augmentation de la charge mentale ce qui peut avoir des répercussions sur la mémorisation de ce qui est lu (Richard, 1982). De plus, des études ont montré que les lecteurs de faible niveau ont le plus de mal à se faire une représentation mentale de la situation (Oakhill, dans Thevenot et Perret, 2009). Ces difficultés auront donc un impact sur la lecture mais surtout sur l'accès à la compréhension et à l'intégration des énoncés arithmétiques verbaux écrits.

.4.2. Trouble du langage

Le trouble du langage se caractérise par des difficultés d'acquisition et d'utilisation du langage pouvant toucher le lexique, la morphosyntaxe et/ou le discours, en production et en compréhension (Crocq et Guelfi, 2015). Les enfants présentant ce trouble seront alors gênés dans la compréhension de l'énoncé verbal et l'intégration des données, pouvant alors entraîner une mauvaise exécution de la tâche (Cross et al., 2019). L'accès au lexique mathématique sera tout aussi impacté. Des difficultés pourront

également être observées lorsque la réponse attendue doit être donnée à l'oral ou lorsqu'une justification est demandée.

.4.3. Trouble de la mémoire

Un trouble de la mémoire pourra avoir des répercussions sur la résolution de problèmes. En effet, de faibles capacités en mémoire de travail pourront ralentir les procédures de comptage et donner lieu à des erreurs de calcul ainsi qu'à des oublis concernant les valeurs retenues en mémoire à court terme (Barrouillet et al., 2007). Des difficultés en mémoire de travail phonologique pourront également impacter les capacités de lecture et de compréhension (Barrouillet et al., 2007). En cas de difficultés de stockage ou de récupération en mémoire à long terme, les stratégies de comptage utilisées seront plus précises mais également plus coûteuses au niveau cognitif et en terme de temps (Geary, 1990).

.4.4. Trouble des fonctions exécutives

Nous l'avons vu, la résolution de problèmes arithmétiques fait appel à de nombreuses fonctions exécutives. Suite à la lecture ou à l'écoute de l'énoncé il est important de prendre son temps pour réfléchir aux actions à mener et de ne pas se précipiter, pour éviter de faire des erreurs. Ainsi, un trouble de l'inhibition compliquerait donc cette étape. Ensuite, un manque de flexibilité pourrait empêcher le patient de se faire différentes représentations mentales et pourrait ainsi le limiter dans l'intégration des différentes informations. En effet, les données de l'énoncé sont découvertes au fur et à mesure de la lecture et une mise à jour des informations est nécessaire. Enfin, un trouble de la planification gênerait le patient dans l'organisation des différentes actions à mettre en œuvre pour parvenir à la solution finale.

.4.5. Trouble déficit de l'attention avec ou sans hyperactivité (TDAH)

Le TDAH est un trouble dans lequel sont retrouvés trois symptômes : le déficit de l'attention, l'hyperactivité motrice et l'impulsivité (Haute Autorité de Santé, 2015). Ces symptômes ont un impact important sur la vie quotidienne et peuvent être accompagnés d'autres troubles. Dans la résolution de problèmes, ce trouble peut mettre le sujet en difficulté pour se concentrer à la fois sur les calculs à effectuer et sur la mémorisation des différentes étapes à suivre. Il aura également plus de mal à inhiber les informations non pertinentes et il sera davantage en difficulté lorsque les données de l'énoncé ne seront pas présentées dans l'ordre des opérations à effectuer (Massé et Nadeau, 2019).

.5. Buts et hypothèses

L'épreuve de résolution de problèmes a, nous l'avons vu, une place importante dans l'apprentissage scolaire mais de nombreux enfants se retrouvent en difficulté face à cette tâche. S'agissant d'un exercice faisant appel à diverses compétences et celles-ci pouvant être atteintes isolément ou conjointement, l'origine des difficultés doit être précisément identifiée. Il nous semble donc primordial de disposer d'outils d'évaluation orthophonique permettant de poser un diagnostic clair concernant les atteintes

spécifiques faisant obstacle à la résolution de problèmes et de cibler par notre épreuve les éléments recherchés.

L'objectif de ce mémoire est d'identifier les éventuels manques dans la proposition des outils actuels, en analysant leur contenu, de façon à proposer par la suite une épreuve de résolution de problèmes arithmétiques dont les résultats permettront d'identifier l'origine des difficultés observées.

En lien avec cet objectif, nous émettons les hypothèses suivantes :

- Hypothèse 1 : bien que les différentes épreuves de problèmes soient proposées par des tests s'appuyant pour certains sur la théorie piagétienne et pour d'autres sur des modèles cognitivistes, nous pensons qu'elles présentent de nombreuses similitudes.
- Hypothèse 2 : nous imaginons que toutes les modalités d'entrée et de sortie ne sont pas proposées. Nous supposons que l'entrée des données numériques se fait sous forme arabe et verbale orale et la sortie sous forme arabe. Si ce n'est pas le cas, nous envisageons que l'entrée soit faite sous forme verbale écrite et la sortie sous forme verbale orale.
- Hypothèse 3 : nous pensons que les tâches de problèmes arithmétiques proposées par les outils actuels ne sont pas exhaustives, et ce, tant sur la quantité d'items que sur le type de problèmes proposés. Nous nous attendons à ce que les épreuves comportent peu d'items et qu'elles contiennent principalement des problèmes de type changement et combinaison.

Nous allons maintenant présenter la méthodologie générale suivie pour ce mémoire puis nous détaillerons les informations retenues pour figurer dans notre tableau de synthèse.

Méthode

.1. Méthodologie générale

Dans un premier temps, un travail de recherche sur le thème de la cognition mathématique et de la résolution de problèmes arithmétiques a été entrepris. Différentes bases de données ont été utilisées (Google Scholar, Cairn, HAL, Persée, ResearchGate, Bibliothèque Universitaire de Lille, Pépité) à partir de mots clés tels que « cognition mathématique », « évaluation », « problèmes arithmétiques ». Ce travail a permis de poser le cadre théorique de ce mémoire.

En parallèle de cet exercice de lecture d'articles et d'ouvrages, un travail commun avec les autres étudiants œuvrant sur la conception de cette même batterie a été effectué. Un tableau contenant l'ensemble des outils évaluant un ou plusieurs domaines de la cognition mathématique a donc été réalisé (cf. Annexe 1). Celui-ci avait pour objectif de permettre à chaque étudiant d'avoir une vue d'ensemble de ce qui existait et de remarquer, entre autres, l'éventuelle absence de son domaine dans certains outils d'évaluation.

Un second tableau avait également été créé, en collaboration avec une autre étudiante travaillant aussi sur le domaine de la résolution de problèmes arithmétiques. Il s'agissait d'une synthèse de tous les matériels évaluant la résolution de problèmes arithmétiques. Nous avons décidé d'y faire figurer

différentes informations nous semblant pertinentes pour la comparaison des outils disponibles. L'objectif était d'avoir un document présentant de façon claire les caractéristiques présentes ou absentes pour l'ensemble des outils étudiés.

Ce tableau a été retravaillé (cf. Annexe 2) de façon à avoir des données quantitatives et donc plus facilement analysables. Chaque outil et ses items de résolution de problèmes ont été étudiés afin d'analyser leurs points communs mais aussi leurs différences.

Nous allons maintenant nous intéresser aux critères retenus pour ce tableau de synthèse.

.2. Création du tableau de synthèse

Lors de la création de ce tableau (cf. Annexe 2), nous nous sommes questionnés sur les informations que nous voulions y faire figurer. Pour cela, nous avons réfléchi aux éléments qui nous permettraient de répondre aux hypothèses formulées et dont nous aurions aimé disposer pour ensuite proposer des items de résolution de problèmes.

Nous avons choisi de ne pas nous limiter à l'étude des outils orthophoniques ni à ceux spécifiquement destinés à l'évaluation de la cognition mathématique mais d'étendre nos recherches à tous les outils standardisés proposant l'évaluation des problèmes arithmétiques. En effet, nous avons pensé que la possibilité de comparer les contenus de différents types d'outils pourrait être intéressante.

Au total, 11 outils ont été étudiés. Parmi eux, 2 échelles d'intelligence ; WAIS (Weschler, 1955) et WISC (Weschler, 1949), 2 batteries générales contenant un ou plusieurs sous-tests mathématiques : Exalang 8-11 (Thibault et al., 2012) et Exalang 11-15 (Lenfant et al., 2009) et enfin 7 batteries ou tests évaluant spécifiquement les habiletés mathématiques : BENQ R (Prévost-Tarabon et Villain, 2014), B-LM (Métral, 2008), Examath 8-15 (Lafay et Helloin, 2016), Tedi-Math (Van Nieuwenhoven et al., 2001), Tedi-Math Grands (Noël et Grégoire, 2015), TLC 2 (Bout-Forestier et Depoorter, 2005) et Zareki-R (Von Aster et Dellatolas, 2005).

.2.1. Informations générales des outils

Dans un premier temps, nous avons renseigné les informations générales des différents outils. Nous avons donc mentionné les **auteurs**, l'**éditeur**, la **date de parution**, ainsi que la **tranche d'âge** ciblée. Afin de répondre à notre première hypothèse nous avons également fait figurer, lorsque nous avons pu les analyser, les **courants théoriques** sur lesquels s'appuyaient les tests.

Nous avons ensuite renseigné le **mode d'administration** des tests, qui selon nous, pouvait être informatisé ou sous le format papier-crayon. Il s'agit d'un choix important à faire lors de la création d'un outil d'évaluation. Chaque modalité présente des avantages et des inconvénients. En effet, la modalité papier-crayon peut être plus simple d'accès et demander moins de « maîtrise » de l'outil. Cependant, l'informatisation a l'avantage de permettre de prendre en compte le temps de traitement des items, d'enregistrer directement les résultats et de permettre une comparaison des différentes épreuves mais aussi d'avoir les mêmes conditions de passation pour tous, garantissant ainsi une bonne fidélité interjuges.

Après avoir déterminé les informations générales à faire figurer dans notre tableau, nous nous sommes intéressés aux critères portant spécifiquement sur l'analyse des items de résolution de problèmes.

.2.2. Critères spécifiques aux items de résolution de problèmes

En lien avec notre deuxième hypothèse, nous avons décidé de faire figurer les **modalités_d'entrée** et de **sortie** proposées par chaque outil afin de répertorier l'ensemble des modalités proposées. Les différentes colonnes ont alors été créées en fonction des combinaisons d'entrée et de sortie retrouvées dans les tests. Nous avons choisi de faire apparaître des résultats quantitatifs afin d'identifier les modalités les plus fréquemment proposées.

Ensuite, en référence à notre troisième hypothèse, nous avons renseigné le **nombre_d'items** de résolution de problèmes dans chaque outil. Notre mémoire s'inscrivant dans le cadre d'une batterie de cognition mathématique, il nous a également paru important de nous intéresser à la place que pouvaient prendre les items de résolution de problèmes dans les tests. Nous avons donc calculé le **pourcentage** correspondant au nombre d'items de résolution de problèmes par rapport au nombre d'items total et ce, pour chaque outil.

Toujours en lien avec notre troisième hypothèse ainsi qu'avec les classifications de problèmes proposées dans notre partie théorique, nous avons souhaité avoir des données quantitatives concernant les **types de problèmes** présents dans les matériels. Nous avons donc créé dans notre tableau des colonnes pour les problèmes additifs et les problèmes multiplicatifs ainsi que pour chacun de leurs sous-types. L'objectif étant de voir si tous les types de problèmes étaient proposés et dans quelle mesure. Nous avons également relevé la présence de **problèmes à opérations multiples**, pouvant donc contenir différents types de problèmes en un seul et donnant lieu à un niveau de difficulté supérieur.

Par la suite, nous nous sommes intéressés au critère du **temps**. Nous voulions voir s'il s'agissait d'une donnée prise en compte dans les différents matériels et si oui, s'ils en proposaient une mesure (temps mis par l'enfant pour répondre) ou bien une limitation (temps limité de présentation de l'item et de réponse).

Nous avons également voulu observer si les auteurs avaient utilisé la **place de la question** comme critère de difficulté. De manière générale, les énoncés de problèmes arithmétiques présentent une situation et contiennent une question finale à laquelle il faut répondre. Cependant, plusieurs chercheurs, dont Coquin-Viennot (2001), ont montré qu'il était plus facile de résoudre un problème pour lequel la question était placée en début d'énoncé que si elle se trouvait à la fin. Cela permet en effet de savoir dès le début ce qui est recherché et ainsi de mieux sélectionner les informations pertinentes.

Dans la tâche de résolution de problèmes, la **demande de justification** permet d'avoir une idée plus précise de la compréhension et de l'intégration de l'énoncé (Lafay et Helloin, 2016) mais aussi de mieux comprendre les erreurs du patient. Nous avons donc souhaité savoir si dans les outils étudiés une justification était spécifiquement demandée au patient en plus de sa réponse.

Nous avons ensuite décidé de faire apparaître dans notre tableau la présence ou l'absence de **critère d'arrêt** en fonction des outils. En effet, lors d'épreuves de bilan, certains enfants peuvent

rapidement se retrouver en difficulté et la présence d'un critère d'arrêt peut permettre d'arrêter l'épreuve au bout d'un certain nombre d'échecs consécutifs.

Enfin, nous nous sommes intéressés aux **critères de cotation**. La résolution de problèmes faisant appel à différentes compétences, nous pensions qu'il était important de voir sur quels critères les scores avaient été établis. Nous avons donc répertorié les différents points attribués en fonction des outils étudiés.

Nous allons maintenant présenter les résultats obtenus à partir de ce tableau.

Résultats

Le tableau a été réalisé à partir du logiciel tableur Microsoft Excel qui nous a permis, à partir de formules de calcul, d'obtenir des données quantitatives. Dans cette partie nous présenterons les résultats principaux qui permettront de répondre à nos hypothèses. Pour consulter l'ensemble des résultats il est possible de se référer au tableau (cf. Annexe 2).

Tout d'abord, les résultats ont montré que seuls 3 outils sur 11 proposent une **passation** informatisée. Cette modalité est retrouvée dans les outils faisant partie des plus récents. Pour les autres tests, il s'agit d'une passation sous le format papier-crayon.

Concernant les **modalités d'entrée et de sortie**, 4 tests sur les 11 étudiés proposent un énoncé verbal écrit lu par l'orthophoniste ou énoncé par l'ordinateur. Le patient est donc confronté à des nombres verbaux oraux et arabes. Pour donner sa réponse, il est attendu du patient qu'il produise des nombres verbaux oraux. Il s'agit des modalités majoritairement retrouvées dans les tests étudiés. D'autres modalités ont été relevées et sont présentées ci-dessous.

En modalité d'entrée, dans certains tests, l'énoncé n'est pas lu à voix haute et les données numériques ne sont disponibles que sous forme arabe. Parfois, aucun support écrit n'est proposé. Dans ce cas, les données numériques ne sont présentées que sous forme de nombres verbaux oraux. Enfin, un test propose à la fois des nombres arabes, verbaux oraux et verbaux écrits. Cette dernière combinaison est retrouvée dans un test destiné à évaluer les compétences d'adultes cérébrolésés.

En modalité de sortie, certains tests requièrent des réponses dans différentes modalités tandis que d'autres acceptent des réponses sous différentes formes en fonction de ce qui est le plus accessible pour le patient. Ainsi, quelques tests acceptent des réponses sous forme de nombres verbaux oraux et de nombres arabes. Dans un autre test nous retrouvons pour certains items une modalité de réponse sous forme de nombres verbaux oraux et pour d'autres une désignation sur l'ordinateur. Enfin, un dernier test demande une réponse uniquement sous forme de désignation.

En ce qui concerne le **nombre d'items** de résolution de problèmes proposés dans ces outils, il est compris entre 3 et 40. Cependant, la moyenne calculée à partir du nombre d'items de chaque outil correspond à 12,18. En effet, un seul outil propose 40 items mais l'ensemble des autres tests contiennent entre 3 et 17 items. Il ne semble pas y avoir de lien entre le nombre d'items et le type de test.

Le **pourcentage** d'items de résolution de problèmes par rapport au nombre total d'items s'étend quant à lui de 0,9% à 17,8% selon les tests. Ici non plus, nous n'observons pas de lien significatif entre le pourcentage d'items de résolution de problèmes et le type de test et aucune relation de proportionnalité n'est relevée. En effet, pour la batterie proposant le plus grand nombre d'items de résolution de problèmes, c'est-à-dire 40, cela représente seulement 7% par rapport au nombre d'items total.

Ensuite, l'analyse de l'ensemble des items de résolution de problèmes présents dans les outils étudiés nous a permis d'avoir une idée des **types de problèmes** proposés et de leur fréquence. Au niveau des problèmes additifs, les problèmes de type « changement » sont le plus souvent présents puisque 7 outils sur les 11 étudiés en contiennent. De plus, parmi les quatre outils qui n'en contiennent pas, deux matériels sont destinés aux adultes, à qui en général, davantage de problèmes à opérations multiples sont proposés. Les problèmes de type « combinaison » sont également souvent proposés, nous les retrouvons dans 6 des 11 outils. Les problèmes de type « comparaison » sont présents dans 4 outils sur 11 tandis que les problèmes de type « égalisation » ne sont retrouvés dans aucun des outils.

Concernant les problèmes multiplicatifs, les problèmes de type « proportionnalité simple et directe » sont les plus nombreux et sont proposés dans 9 outils sur 11. Les problèmes de type « comparaison multiplicative des grandeurs » sont également présents dans 4 outils. Les problèmes de type « proportionnalité simple composée » et « proportionnalité double » ne sont retrouvés que dans un seul outil qui destine ces items à des collégiens uniquement.

A noter que dans certains tests, ces différents types de problèmes peuvent être retrouvés dans des énoncés faisant appel à des opérations successives. Ces items n'ont pas été analysés selon le type de problème mais directement placés dans la colonne « problèmes à opérations multiples » du tableau.

Au sein des 11 outils étudiés, 6 ne prennent pas en compte le **temps**. Parmi ceux prenant en compte cette donnée, 3 mesurent le temps nécessaire à l'enfant pour répondre et 2 limitent le temps de présentation de l'item et de réponse. Cette limitation de temps de réponse n'est retrouvée que dans les échelles d'intelligence, qui correspondent d'ailleurs aux tests les plus anciens parmi tous les outils de notre tableau. La mesure du temps de réponse apparaît donc plus récemment.

Au niveau des **critères d'arrêt**, 6 outils en ont défini un. Pour les 5 autres, la totalité des items doit être administrée.

Concernant la **cotation**, l'ensemble des outils accordent des points au résultat final. Le plus souvent, il s'agit d'une cotation binaire 0/1. Certains attribuent également des points pour la justification, le choix et la pose correcte de l'opération ou encore pour un résultat correct à chaque étape, dans le cadre de problèmes à opérations multiples. Les points accordés peuvent parfois être dégressifs en fonction des aides apportées (ex : la répétition de l'énoncé ou la proposition de choix multiples).

La **justification** quant à elle n'est attendue de façon explicite que dans 3 outils sur les 11 étudiés. Seuls 2 d'entre eux prennent en compte la justification dans leur cotation et accordent des points lorsqu'elle est correcte. Néanmoins, dans de nombreux outils l'évaluateur note des informations qualitatives et la justification peut en faire partie.

Enfin, l'analyse de ces tests n'a pas montré de différences significatives concernant les types de problèmes proposés en fonction des tests. En effet, les items sont très similaires malgré le fait que les **appuis théoriques** appartiennent à des courants différents (piagétien ou cognitiviste). Nous ne retrouvons pas non plus de différences en fonction des types de tests, qu'ils correspondent à des outils d'évaluation orthophonique ou à des échelles d'intelligence. Enfin, dans les tests les plus récemment édités nous n'avons pas observé de différence concernant le type d'items proposés.

Discussion

L'objectif de ce mémoire était d'analyser les épreuves de résolution de problèmes arithmétiques présentes dans les outils actuels afin d'en observer les éventuels manques. Par la suite, le but était de pouvoir proposer des items dans le cadre de la création d'une nouvelle batterie de cognition mathématique.

Pour cela, nous nous sommes tout d'abord intéressés aux différents types de problèmes ainsi qu'aux compétences impliquées dans la résolution de problèmes arithmétiques. Par la suite, un tableau de synthèse de tous les tests proposant des items de résolution de problèmes a été réalisé. Les différents items ont été étudiés afin d'observer les points communs et les différences entre les outils.

Nous allons maintenant présenter l'analyse des résultats de ce tableau en regard de nos hypothèses.

.1. Validation des hypothèses

Tout d'abord, notre première hypothèse reposait sur l'idée que nous allions retrouver des items de résolution de problèmes arithmétiques fortement similaires dans les différents outils. En effet, nous ne nous attendions pas à observer de différences significatives liées aux modèles théoriques sous-jacents.

Les résultats ont effectivement montré que le courant théorique sur lequel s'étaient appuyés les auteurs des différents tests n'avait pas d'impact sur leur proposition d'items de résolution de problèmes. A partir des classifications de problèmes additifs et multiplicatifs détaillées précédemment, nous avons effectivement retrouvé l'évaluation des mêmes types de problèmes dans les différents outils. Nous n'avons pas non plus observé de différence majeure concernant la présentation des données de l'énoncé ou les modalités de réponse. La quantité d'items ainsi que le pourcentage calculé, représentant leur place par rapport à l'ensemble de la batterie, ne paraissent pas non plus différer. Notre première hypothèse semble donc être validée.

Ensuite, en regard de notre deuxième hypothèse concernant les modalités de présentation des données de l'énoncé ainsi que les modalités de réponse, nous nous attendions à ne retrouver que certaines modalités : des nombres arabes et des nombres verbaux oraux en entrée et des nombres arabes en sortie. Nous pensions éventuellement observer des nombres verbaux écrits en entrée et des réponses sous forme de nombres verbaux oraux.

Les résultats obtenus vont effectivement dans ce sens puisqu'ils ont montré que seules les modalités précédemment citées étaient proposées, à l'exception d'une modalité de réponse supplémentaire, observée dans 2 outils, correspondant à la désignation d'une réponse sur l'ordinateur, parmi plusieurs propositions. Les résultats ont également mis en évidence les différentes combinaisons de modalités à la fois en entrée et en sortie. Nous avons donc pu observer en tout 7 combinaisons différentes, renseignées dans le tableau. Cependant, une modalité qui nous semble essentielle dans la résolution de problèmes et dans la compréhension des difficultés n'a été relevée dans aucun des outils. En effet, la modalité analogique proposée dans le modèle du triple code (Dehaene et Cohen, 1995) n'est pas proposée. Nous ne retrouvons pas non plus cette modalité analogique parmi les modalités de sortie observées. En cela, notre hypothèse concernant la non exhaustivité des modalités d'entrée et de sortie semble validée.

Enfin, notre troisième hypothèse avançait l'idée que bien que les outils étudiés proposent des épreuves de résolution de problèmes, la quantité d'items serait assez faible et que l'ensemble des problèmes existants ne seraient pas évalués.

Les résultats ont mis en évidence la faible quantité d'items proposés dans la plupart des outils. En effet, le nombre d'items varie entre 3 et 17 parmi 10 outils sur les 11 étudiés et un seul outil propose 40 items. Cependant, la quantité d'items d'un test participe à sa sensibilité et à sa validité, deux critères psychométriques importants pour un test (Rolland, 2006). Il est donc primordial de proposer un nombre suffisant d'items permettant de refléter toutes les facettes de ce qui est testé mais aussi de discriminer les sujets entre eux. Ces observations ont été confirmées par le calcul du pourcentage d'items de résolution de problèmes par rapport au nombre total d'items dans les outils, dont les résultats sont compris entre 0,9% et 17,8%. A noter que l'outil pour lequel le pourcentage correspond à 17,8% est à destination d'adultes devenus acalculiques pour qui, en général, moins d'épreuves sont proposées. L'analyse des items a également montré que, le test Examath, bien que comprenant 40 items de résolution de problèmes, n'en propose que quelques-uns par type de problèmes.

Les résultats du tableau, en lien avec les classifications présentées dans notre partie théorique, ont également montré que les problèmes de type « changement » et « combinaison » étaient très fréquemment retrouvés au sein des batteries contrairement aux autres problèmes additifs. Les mêmes conclusions ont été faites concernant les problèmes multiplicatifs ; les problèmes de type « proportionnalité simple et directe » étant davantage proposés que les autres types de problèmes multiplicatifs. De plus, aucun outil ne propose l'évaluation de l'ensemble des problèmes existants. Notre hypothèse de non exhaustivité concernant le nombre d'items et le type d'items semble validée.

Suite à l'analyse de ces différents résultats, nous avons souhaité proposer une épreuve de résolution de problèmes (cf. Annexe 3) pouvant apporter des informations supplémentaires sur l'origine des difficultés rencontrées, par rapport à celles obtenues actuellement dans les outils d'évaluation de la cognition mathématique.

.2. Proposition d'items de résolution de problèmes analogiques

Les résultats du tableau ont montré que concernant les modalités d'entrée (présentation des données de l'énoncé), seules les modalités arabe, verbale orale et verbale écrite étaient proposées. Nous

savons cependant qu'une des étapes permettant de parvenir à la solution du problème correspond à la représentation mentale de la situation, c'est-à-dire à la représentation concrète de la situation et des quantités mises en jeu. Cela fait référence à la représentation analogique proposée dans le modèle du triple code (Dehaene et Cohen, 1995). Il nous a alors semblé important de proposer une épreuve faisant appel à cette représentation.

Dans les épreuves de résolution de problèmes arithmétiques verbaux, le sujet doit effectuer un transcodage entre la modalité d'entrée, qui peut être verbale orale, verbale écrite ou arabe, et la modalité analogique. Cette étape peut parfois être compliquée et venir faire obstacle à la suite de l'exercice. En effet, certains enfants peuvent ne pas parvenir à résoudre un problème car ils n'arrivent pas à se faire une représentation de la quantité à partir de nombres verbaux oraux, de nombres arabes ou encore de nombres verbaux écrits. Nous avons donc souhaité proposer des items analogiques permettant de lever la contrainte liée à la compréhension d'un énoncé arithmétique verbal et au transcodage d'une représentation symbolique à l'autre. Dans notre proposition, nous apportons directement au sujet la représentation concrète de la quantité.

Ces items ont été pensés sous forme de vidéos et de photos pour permettre une standardisation de la passation et pour proposer une situation qui soit la plus accessible possible. En effet, la présentation de la situation sous forme de dessin demanderait à l'enfant d'être capable de les comprendre et d'appréhender la succession d'images. Nous avons également réfléchi à la manipulation réelle d'objets par l'orthophoniste, devant l'enfant, mais cette présentation nous a semblé être plus compliquée à mettre en place par l'orthophoniste et moins fiable en termes de fidélité interjuges.

Les items proposés ont été créés à partir des classifications de problèmes additifs et multiplicatifs décrites dans la partie théorique de ce mémoire. Nous avons choisi de proposer les items les plus souvent observés dans les outils actuels puisque nous considérons que ce sont des items « de base », nécessitant d'être maîtrisés. Les items multiplicatifs de type proportionnalité simple composée et proportionnalité multiple, destinés dans les tests étudiés, à des enfants plus âgés, ne seront pas proposés.

L'épreuve pourra être administrée dès la grande section de maternelle puisque les enfants sont déjà familiarisés avec des situations problèmes en classe (Blanquer, 2019). Ainsi, même si à cet âge les signes opératoires ne sont pas encore introduits et mis en lien avec les différentes opérations, les enfants pourront tout de même expliquer ce qu'ils ont compris de la situation. A partir du CP, il sera attendu des enfants qu'ils puissent indiquer l'opération à réaliser (addition, soustraction) ainsi que le signe opératoire (+, -). A partir du CE1, des items introduisant la multiplication et le signe opératoire associé seront proposés. Ces items ont été pensés pour des enfants scolarisés jusqu'en CE2. Il nous semblait en effet que dans les classes supérieures les élèves seraient, depuis un moment, détachés de la représentation analogique. Cependant, ces items pourront être administrés à des sujets plus âgés s'ils présentent des difficultés en résolution de problèmes arithmétiques verbaux, pour tenter d'identifier l'origine des troubles.

Concernant la réponse attendue, plusieurs degrés de difficultés ont été imaginés. En première intention il serait attendu de l'enfant une évocation suite aux questions « que s'est-il passé » ou « quel type d'opération utiliserais-tu ». Si cela mettait l'enfant en difficulté, nous pourrions imaginer de présenter différentes propositions à l'enfant qui devrait alors faire un choix parmi celles-ci. Ainsi, différentes aides peuvent être imaginées pour faire face aux difficultés de l'enfant.

De plus, nous souhaiterions proposer un fonctionnement semblable à celui de l'EVIP (Dunn et

al., 1993) qui consiste à proposer, au bout d'un certain nombre d'échecs, des items d'un niveau inférieur. L'objectif serait non pas de s'arrêter à ce que l'enfant n'arrive pas à faire mais plutôt d'observer quelles configurations de problèmes lui permettent de donner la bonne réponse et d'être capable de déterminer son niveau, de le situer et de statuer sur ses compétences.

Enfin, dans cette épreuve, il ne nous a pas paru nécessaire de demander à l'enfant de résoudre le problème. En effet, si nous considérons la batterie dans son entièreté, d'autres épreuves permettront d'évaluer cette compétence. Nous avons donc décidé de lever cette contrainte et de nous intéresser uniquement au sens des opérations, c'est-à-dire, à la capacité d'attribuer un code verbal ou arabe à une situation analogique.

.3. Limites de la proposition et poursuite du mémoire

.3.1. Limites de l'épreuve

La principale limite que l'on peut retenir concernant cette proposition est l'absence de passation standardisée. En effet, par manque de temps et à cause de la situation sanitaire, les items n'ont pas été administrés ce qui a eu différents impacts sur notre proposition.

Tout d'abord, les niveaux scolaires concernés par ces items ont été déterminés par rapport aux informations obtenues sur le site de l'éducation nationale (Huart, 2019) mais ceci ne sert que d'appui et rien ne nous indique pour le moment que ce choix a été judicieux. C'est en effet suite à une passation concrète que nous pourrions définir les niveaux de difficulté des items. De plus, l'épreuve a été pensée pour des enfants jusqu'en CE2 mais c'est la passation standardisée qui permettra de dire s'il est encore pertinent de proposer ce type d'épreuve à cet âge-là et qui permettra donc de définir la tranche d'âge concernée par cette épreuve. Enfin, il n'est pour le moment pas possible de savoir si les items, tels qu'ils sont proposés actuellement, seront adaptés aux enfants et s'ils comprendront réellement ce qui est attendu d'eux.

Ceci nous amène à autre limite qui concerne la formulation des questions ainsi que les réponses attendues. En effet, il serait probablement judicieux, avant même d'envisager une passation standardisée, de proposer les items à des enfants tout-venant ne serait-ce que pour avoir une idée de la compréhension qu'ils peuvent en avoir. Cela permettrait dans un premier temps d'améliorer la formulation des questions. De plus, pour la question « que s'est-il passé », imaginée pour les enfants n'étant pas encore familiarisés avec les signes opératoires, nous pouvons nous demander à partir de quand nous pourrions considérer que la réponse de l'enfant est correcte. En effet, nous pouvons imaginer différentes réponses telles que « on en a ajouté » ou « il y en a plus » et il pourrait être compliqué de choisir quels termes, n'appartenant pas au lexique mathématique, seront acceptés. Encore une fois, la passation permettra de déterminer si à cet âge il est normal d'utiliser du vocabulaire plus courant ou si au contraire nous devrions attendre du vocabulaire mathématique comme le nom de l'opération ou le code arabe correspondant. En résumé, les questions posées en fonction des différents types de problèmes et des différents âges ainsi que les réponses attendues sont encore floues et nécessitent une réflexion plus poussée.

.3.2. Poursuite du mémoire

Un prochain mémoire pourra faire suite à celui-ci. En effet, un important travail concernant la formulation des questions ainsi que le détail des réponses acceptées et l'analyse des résultats des passations sera à effectuer. De plus, les questions ont actuellement été imaginées de façon à être posées par l'orthophoniste après que l'enfant a visionné la vidéo. Il serait intéressant de réfléchir à la possibilité d'intégrer ces questions à la suite des vidéos, de façon automatique, pour qu'ensuite l'orthophoniste puisse, sur l'ordinateur, entrer la réponse de l'enfant ce qui déclencherait l'item suivant ou les aides proposées si la réponse n'est pas celle attendue.

Actuellement, aucune vidéo d'exemple n'a été réalisée. Il serait cependant pertinent d'y réfléchir et de voir si cela peut être utile dans l'épreuve. En effet, les items analogiques étant généralement peu proposés aux enfants, ces derniers pourraient être déconcertés par rapport à ce qui est attendu d'eux. Un exemple pourrait donc être envisagé pour que l'enfant comprenne ce qu'il doit faire. Cela permettrait d'éviter qu'il obtienne des scores inférieurs à ses compétences en raison de l'incompréhension de la consigne par exemple.

De manière générale, la passation d'essai des items fera certainement émerger de nouvelles idées et permettra ainsi d'améliorer les items. Le nombre d'items pourra également être modifié, c'est encore une fois la passation qui permettra de déterminer si davantage d'items sont nécessaires. Une fois l'ensemble des items retravaillés et la version définitive obtenue, ils devront être administrés à un nombre suffisant de sujets permettant ainsi une standardisation optimale et plus tard, lors de l'utilisation de ces épreuves à visée évaluative, de comparer les résultats du patient à une norme correctement établie.

Conclusion

Les exercices de résolution de problèmes occupent une place importante dans le programme scolaire du fait qu'ils permettent de faire le lien entre les compétences apprises en cours de mathématiques et la résolution de problèmes de la vie quotidienne. La cognition mathématique faisant partie du domaine de l'orthophoniste, un bilan peut être réalisé en cas de plainte.

La résolution de problèmes arithmétiques est un exercice faisant appel à de nombreuses compétences telles que les calculs, la mémoire, les fonctions exécutives ou encore la lecture. L'orthophoniste doit donc pouvoir disposer de matériel permettant d'analyser de façon fine l'origine des difficultés rencontrées s'appuyant, pour cela, sur des modèles cognitivistes récents tels que celui du triple code (Dehaene et Cohen, 1995).

Ce mémoire avait alors pour objectif d'identifier les éventuels manques des outils actuels, proposant des épreuves de résolutions de problèmes arithmétiques. Pour cela, l'ensemble des tests évaluant ce domaine ont été répertoriés dans un tableau de synthèse et leurs items ont été analysés selon différents critères permettant d'observer leurs différences et leurs points communs.

Les résultats obtenus ont tout d'abord montré que le type d'appui théorique (piagétien ou cognitiviste) n'avait pas d'impact sur les types d'items évalués. En effet, des épreuves similaires ont été observées dans les outils issus de différents courants théoriques.

Ensuite, l'analyse des différents résultats a mis en évidence le peu d'items proposés dans les outils. Effectivement, le nombre d'items varie entre 3 et 17 items pour 10 outils sur les 11 et seul le

dernier test propose 40 items. De plus, les résultats nous ont montré la faible proportion que représentaient les items de résolution de problèmes par rapport à l'ensemble des items des outils.

Enfin, ces résultats ont permis de mettre en évidence l'absence de problèmes analogiques. Malgré le fait que la plupart des exercices de résolution de problèmes soient présentés sous forme d'énoncés verbaux oraux ou écrits et que la littérature nous renseigne principalement sur ces types de problèmes, il nous a semblé que l'essence même de la résolution de problèmes se trouvait dans la représentation mentale de la situation et donc dans la représentation concrète des quantités. C'est pourquoi, nous avons choisi de proposer une épreuve constituée d'items de résolution de problèmes analogiques évaluant, non pas les procédures de calcul, mais le sens des opérations c'est-à-dire la capacité à attribuer un code arabe (signe opératoire) ou verbal oral (nom de l'opération) à une situation analogique.

Pour finir, un prochain mémoire pourra faire suite à celui-ci afin d'améliorer et de compléter cette proposition d'items analogiques. Une fois la proposition aboutie, une passation pourra être envisagée dans le but d'obtenir des normes auxquelles se référer lors de l'évaluation standardisée de la résolution de problèmes analogiques.

Bibliographie

- Barrouillet, P., Billard, C., De Agostini, M., Démonet, J.-F., Fayol, M., Gombert, J.-E., Habib, M., Le Normand, M.-T., Ramus, F., Sprenger-Charolles, L., & Valdois, S. (2007). *Dyslexie, dysorthographe, dyscalculie : Bilan des données scientifiques*. Inserm.
- Barrouillet, P., & Camos, V. (s.d.). Mémoire de travail. Dans *Encyclopædia Universalis*. <https://www.universalis.fr/encyclopedie/memoire-de-travail/>.
- Bettega, M., & Anfre, G. (1988). *Mots et symboles en collège*. Institut de Recherche sur l'Enseignement des Mathématiques de Lorraine.
- Blanquer, J.-M. (2019). *Recommandations pédagogiques : Un apprentissage fondamental à l'école maternelle : découvrir les nombres et leurs utilisations*. Consulté le 7 avril 2021 sur <https://www.education.gouv.fr/bo/19/Hebdo22/MENE1915454N.htm>.
- Bout-Forestier, N., & Depoorter, H. (2005). *TLC 2 Test lillois de calcul 2*. Orthoédition.
- Brun, J. (1990). La résolution de problèmes arithmétiques : bilan et perspectives. *Math-Ecole*, (141), 2-15. https://www.revue-mathematiques.ch/files/7714/6288/8326/Mathecole_141.pdf.
- Cauzinille-Marmèche, E., & Mathieu, J. (1994). Généralisation des connaissances et résolution de problèmes. *L'Année psychologique*, 94(3), 461-484. <https://doi.org/10.3406/psy.1994.28777>.
- Censabella, S. (2007). Chapitre 5 : les fonctions exécutives. Dans M.-P. Noël (dir.), *Bilan neuropsychologique de l'enfant* (pp. 117-137). Mardaga.
- Clément, E. (2008). Flexibilité, changement de point de vue et découverte de solution. Dans G. Chasseigne (dir.), *Cognition, santé et vie quotidienne*, 1, 21-42. Publibook. <https://hal-cyu.archives-ouvertes.fr/hal-02007336>.
- Coquin-Viennot, D. (2001). Problèmes arithmétiques verbaux à l'école : pourquoi les élèves ne répondent-ils pas à la question posée ? *Enfance*, 53(2), 181-196. <https://doi.org/10.3917/enf.532.0181>.
- Crocq, M.-A., & Guelfi, J.-D. (2015). *DSM-5 Manuel diagnostique et statistique des troubles mentaux*. Elsevier Masson.
- Cross, A. M., Joanisse, M. F., & Archibald, L. M. D. (2019). Mathematical Abilities in Children With Developmental Language Disorder. *Language, Speech, and Hearing Services in Schools*, 50(1), 150-163. https://doi.org/10.1044/2018_LSHSS-18-0041.
- Dehaene, S., & Cohen, S. (1995). Towards an anatomical and functional model of number processing. *Mathematical Cognition*, 1, 83-120.
- Dunn, L. M., Theriault-Whalen, C. M., & Dunn, L. M. (1993). *Échelle de vocabulaire en images Peabody*. Psycan.

- Fayol, M. (2018). L'acquisition du nombre (3^e éd.). Presses universitaires de France.
- Fédération Nationale des Orthophonistes. (2018). *Note pratique : les évolutions de la NGAP au 1er avril 2018*.
- Feyfant, A. (2015). La résolution de problèmes de mathématiques au primaire. *Dossier de veille de l'IFÉ*, (105), 1-20.
- Geary, D. C. (1990). A componential analysis of an early learning deficit in mathematics. *Journal of experimental child psychology*, (49), 363-383. [https://doi.org/10.1016/0022-0965\(90\)90065-G](https://doi.org/10.1016/0022-0965(90)90065-G).
- Ghenimi, A., & Rolle-Boumlic, M. (2002). Le lexique des mathématiques. *Bulag*, (27), 95-104.
- Giroux, J., & Lemoyne, G. (1993). La construction des connaissances sur les codes numériques et digitaux des nombres : un processus de coordination de connaissances multiples. *Revue des sciences de l'éducation*, 19(3), 511-535. <https://doi.org/10.7202/031645ar>.
- Haute Autorité de Santé. (2015). *Trouble déficit de l'attention avec ou sans hyperactivité (TDAH) : repérer la souffrance, accompagner l'enfant et la famille – questions / réponses*. Consulté le 11 avril 2021 sur https://www.has-sante.fr/jcms/c_2025618/fr/trouble-deficit-de-l-attention-avec-ou-sans-hyperactivite-tdah-reperer-la-souffrance-accompagner-l-enfant-et-la-famille-questions-/-reponses.
- Houdé, O. (2005). Se développer, c'est apprendre à inhiber. *La recherche*, (388), 74-77.
- Huart, J.-M. (2019). *Programmes de français, de mathématiques et d'enseignement moral et civique du cycle des apprentissages fondamentaux (cycle 2), du cycle de consolidation (cycle 3) et du cycle des approfondissements (cycle 4)*. Consulté le 5 mai 2021 sur <https://www.education.gouv.fr/bo/19/Hebdo22/MENE1913283N.htm>.
- Lafay, A., & Cattini, J. (2018). Analyse psychométrique des outils d'évaluation mathématique utilisés auprès des enfants francophones. *Canadian Journal of Speech-Language Pathology and Audiology*, 42(2), 127-144.
- Lafay, A., & Helloin, M.-C. (2016). *Examath 8-15, batterie informatisée d'examen des habiletés mathématiques*. HappyNeuron.
- Larousse. (s. d.). Problème. Dans *Le Dictionnaire Larousse en ligne*. Consulté le 5 avril 2021 sur <https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/problème/64046>
- Lenfant, M., Thibault, M.-P., & Helloin, M.-C. (2009). *Exalang 11-15, Examen du langage oral et écrit et des compétences transversales chez le collégien*. Happyneuron.
- McCloskey, M., Caramazza, A., & Basili, A. (1985). Cognitive mechanisms in number processing and calculation: Evidence from dyscalculia. *Brain and Cognition*, 4(2), 171-196. [https://doi.org/10.1016/0278-2626\(85\)90069-7](https://doi.org/10.1016/0278-2626(85)90069-7).
- Massé, L., & Nadeau, M.-F. (2019). Comment aider les élèves présentant un TDAH à mieux réussir en mathématique ? *La foucade*, 19(2), 99-102.

- Ménissier, A. (2005). L'orthographe lexicale : les mots du vocabulaire mathématique. *Rééducation orthophonique*, (222), 121-148. Orthoédition.
- Ménissier, A. (2011). Analyser, comprendre et travailler les problèmes arithmétiques. Dans M. Habib, M.-P. Noël, F. Georges-Poracchia et V. Brun (dirs), *Calcul et dyscalculies* (pp. 79-129). Elsevier Masson.
- Métral, E. (2008). *B-LM, Bilan logico-mathématique*. Orthopratric.
- Mikaeloff, Y., Chaix, Y., Ramus, F., Delteil, F., Billard, C., & Lanoë, C. (s. d.). *Troubles spécifiques des apprentissages*. Inserm. Consulté le 22 avril 2021, sur <https://www.inserm.fr/information-en-sante/dossiers-information/troubles-specifiques-apprentissages>.
- Noël, M.-P. (2005). Rôle de la mémoire de travail dans l'apprentissage du calcul. Dans A. Van Hout, C. Meljac et J.-P. Fischer (dirs.), *Troubles du calcul et dyscalculies chez l'enfant* (2^{ème} édition, pp. 186-194). Masson.
- Noël, M.-P., & Grégoire, J. (2015). *Tedi-Math Grands, Test diagnostique des compétences de base en mathématique*. ECPA.
- Noël, M.-P., Rousselle, L., & De Visscher, A. (2013). La dyscalculie développementale : à la croisée de facteurs numériques spécifiques et de facteurs cognitifs généraux. *Développements*, 2(15), 24-31.
- Prévost-Tarabon, C., & Villain, M. (2014). *BENQ R, Batterie d'évaluation des nombres au quotidien*. Orthoédition.
- Poirier-Proulx, L. (1999). *La résolution de problèmes en enseignement : cadre référentiel et outils de formation*. De Boeck Université.
- Richard, J.-F. (1982). Mémoire et résolution de problèmes. *Revue française de pédagogie*, (60), 9-17.
- Riley, M. S., Greeno, J. G., & Heller, J. I. (1984). Development of children's problem-solving ability in arithmetic. Dans H. Ginsburg (dir.), *The Development of Mathematical Thinking* (pp. 153-196). Academic Press.
- Rolland, J.-P. (2006). Comment évaluer un test ? Dans C. Levy-Leboyer, C. Louche, & Rolland, J.-P., *Ressources humaines : Les apports de la psychologie du travail* (pp. 61-82). Editions d'Organisation.
- Thevenot, C. (2008). Représentations mentales et stratégies de résolution de problèmes arithmétiques verbaux chez les enfants de CM2. *L'année psychologique*, 108(3), 617-630.
- Thevenot, C., & Perret, P. (2009). Le développement du raisonnement dans la résolution de problèmes : l'apport de la théorie des modèles mentaux. *Développements*, 2(2), 49-56.
- Thibault, M.-P., Lenfant, M., & Helloin, M.-C. (2012). *Exalang 8-11, Examen du langage oral et écrit et des compétences transversales du CE2 au CM2*. Happyneuron.
- Vaillé, H. (2009). De Piaget aux théories actuelles. Dans M. Fournier et R. Lécuyer (dirs.), *L'intelligence de l'enfant* (pp. 25-33). Éditions Sciences Humaines.

- Van Nieuwenhoven, C., De Vriendt S., & Hanin V. (2019). *L'enfant en difficulté d'apprentissage en mathématiques : Pistes de diagnostic et supports d'intervention* (2^e éd.). De Boeck Supérieur.
- Van Nieuwenhoven, C., Grégoire, J., & Noël, M.-P. (2001). *Tedi-Math, Test diagnostique des compétences de base en mathématiques*. ECPA.
- Vergnaud, G. (1990). La théorie des champs conceptuels. *Recherches en didactique des mathématiques*, 10(2-3), 133-170.
- Von Aster, M., & Dellatolas, G. (2005). *Zareki-R, Batterie pour l'évaluation du traitement des nombres et du calcul chez l'enfant*. ECPA.
- Von Aster, M., & Shalev, R. S. (2007). Number development and developmental dyscalculia. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 49, 868–873.
- Weschler, D. (1949). *WISC, Weschler Intelligence Scale for Children*. ECPA.
- Weschler, D. (1955). *WAIS, Weschler Adult Intelligence Scale*. ECPA.

Liste des annexes

Annexe n°1 : Synthèse des outils évaluant un ou plusieurs domaines de la cognition mathématique.

Annexe n°2 : Synthèse des outils proposant des items de résolution de problèmes arithmétiques.

Annexe n°3 : Proposition d'items de résolution de problèmes arithmétiques analogiques.