

DEPARTEMENT ORTHOPHONIE
FACULTE DE MEDECINE
Pôle Formation
59045 LILLE CEDEX
Tél : 03 20 62 76 18
departement-orthophonie@univ-lille.fr



 Université
de Lille

 **ufr3s** 
faculté
de méde

MEMOIRE

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

Loréna L'HOURS

qui sera soutenu publiquement en juin 2022

La place du lexique mathématique au sein du Bilan de Cognition Mathématique BCM

MEMOIRE dirigé par

Sophie FRAGNON, Orthophoniste et enseignant, Wingles
Sandrine MEJIAS, Maître de conférences, Université de Lille

Lille – 2022

Remerciements

Mes remerciements s'adressent tout d'abord à mes directrices de mémoire, Madame FRAGNON et Madame MEJIAS, pour leur disponibilité et leurs précieux conseils durant ces deux années.

Je remercie également mes maîtres de stage qui m'ont accueillie, soutenue et formée tout au long de l'année.

Merci à mes amies lilloises d'avoir rendu ces années universitaires plus douces.

Enfin, je tiens à remercier ma famille et mon compagnon pour leur soutien sans faille durant ces cinq longues années. Merci pour vos encouragements, pour le temps passé à m'écouter réciter ou me relire, pour vos mots toujours réconfortants...

Mais surtout, merci d'avoir cru en moi.

Résumé :

L'évaluation des troubles de la cognition mathématique fait partie du champ de compétences de l'orthophoniste. Pour ce faire, il est nécessaire d'utiliser des outils complets, basés sur des modèles théoriques récents. Ce mémoire participe au projet d'élaboration d'une nouvelle batterie d'évaluation de la cognition mathématique. Notre travail se concentre sur l'évaluation du lexique mathématique au sein des batteries de cognition mathématique. Une analyse critique des épreuves existantes et des items qu'elles proposent a été menée. Elle nous a permis de constater, entre autres, que peu de batteries de cognition mathématique proposent une évaluation du vocabulaire, contrairement à l'épreuve de comptage qui, elle, est relativement très présente dans ces mêmes batteries. Pourtant le lexique mathématique est présent dans de nombreuses épreuves et joue un rôle important dans l'acquisition des compétences mathématiques. Deux épreuves ont donc été créées afin d'évaluer le lexique mathématique : une épreuve de comptage et une épreuve de résolution de problèmes contenant plusieurs niveaux où le lexique mathématique peut être utilisé comme l'élément de difficultés d'un niveau à l'autre. Toutefois, ces épreuves pourront être améliorées puis validées et normalisées avant de pouvoir être intégrées dans une batterie d'évaluation de la cognition mathématique.

Mots-clés :

Orthophonie, cognition mathématique, évaluation, lexique mathématique

Abstract :

The evaluation of mathematical cognitive disorders is part of the speech-language pathologist's field of competence. To do so, it is necessary to use exhaustive tools, based on recent theoretical models. This dissertation is part of a project to develop a new battery for the assessment of mathematical cognition. Our work focuses on the assessment of mathematical lexicon within mathematical cognition batteries. A critical analysis of the existing tests and the items they propose was carried out. It allowed us to note, among other things, that few mathematical cognition batteries include an evaluation of vocabulary, contrary to the counting task, which is relatively common in these same batteries. However, the mathematical lexicon is present in many tests and plays an important role in the acquisition of mathematical skills. Two tasks have therefore been created to assess mathematical lexicon: a counting task and a problem-solving task containing several levels where mathematical lexicon can be used as the element of difficulty from one level to another. However, these tests can be improved and then validated and standardized before they can be integrated into a battery for assessing mathematical cognition.

Keywords :

Speech therapy, mathematical cognition, evaluation, mathematical lexicon

Introduction	1
Contexte théorique, buts et hypothèses	1
.1. La cognition mathématique	2
.1.1. Le développement du concept de la cognition mathématique.....	2
.2. Lien entre le langage et la cognition mathématique	4
.2.1. Développement du lexique	4
.2.2. Le lexique mathématique.....	4
.2.2.1. Développement de la chaîne numérique verbale	4
.2.2.2. Importance de la maîtrise de la chaîne numérique verbale	5
.2.2.3. Difficultés d'apprentissage de la chaîne numérique verbale	6
.2.2.4. Le vocabulaire lié aux mathématiques	6
.3. Les troubles de la cognition mathématique	7
.3.1. Trouble développemental	8
.3.1.1. Le Trouble des Apprentissages Mathématiques	8
.3.1.2. Comorbidités fréquentes.....	8
.3.1.3. Hypothèses explicatives	9
.3.2. Trouble secondaire.....	9
.4. Cognition mathématique et orthophonie	11
.4.1. Place de la cognition mathématique dans l'orthophonie	11
.4.2. Evaluation de la cognition mathématique	11
.4.3. Evaluation du lexique mathématique	12
Buts et hypothèses	12
Méthode.....	13
.1. Etat des lieux des outils d'évaluation	13
.1.1. Population	13
.1.2. Méthode	14
.2. Création d'épreuves évaluant le lexique mathématique	15
.2.1. Objectifs visés.....	15
.2.2. Evaluation de la chaîne numérique verbale	15
.2.3. Evaluation du vocabulaire spécifique aux mathématiques.....	16
Résultats.....	17
.1. Analyse de l'existant	17
.1.1. Le lexique mathématique dans les batteries et tests en orthophonie	17
.1.2. Paramètres pertinents quant au lexique mathématique.....	18
.2. Epreuve de comptage du BCM.....	20
.3. Epreuve de résolution de problèmes du BCM.....	21
Discussion.....	22
.1. La place du lexique mathématique dans les batteries et tests existants.....	22
.2. La place du lexique mathématique au sein du BCM	26
.2.1. Epreuve de comptage.....	26
.2.1.1. Intérêts d'une épreuve de comptage au sein du BCM	26
.2.1.2. Limites de l'épreuve créée.....	27
.2.2. Epreuve de résolution de problèmes.....	27
.2.2.1. Intérêts d'une épreuve de résolution de problèmes au sein du BCM	27
.2.2.2. Limites de l'épreuve créée.....	28
.3. Ouverture	28
Conclusion	29
Bibliographie	30
Liste des annexes	34
Annexe n°1 : Tableau d'analyse des tests existants.....	34
Annexe n° 2 : Epreuve de comptage BCM.....	34

Annexe n°3 : Epreuve de résolution de problèmes BCM.....	34
--	----

Introduction

Le bilan de la cognition mathématique fait partie du champ de compétences des orthophonistes et apparaît sous la désignation « Bilan de la cognition mathématique (troubles du calcul, troubles du raisonnement logico-mathématique...) » dans la nomenclature des actes orthophoniques (Avenant n° 16, avril 2018).

Avant toute prise en charge orthophonique, une évaluation précise par le biais d'un bilan orthophonique est essentielle, afin de spécifier les difficultés du patient et vérifier la légitimité d'un suivi en orthophonie. Cette évaluation permettra d'identifier les facteurs explicatifs sous-jacents des difficultés du patient et de poser un diagnostic orthophonique.

Le modèle du Triple Code de Dehaene (1992) ou encore le modèle développemental de Von Aster et Shalev (2007) sont précieux pour comprendre le développement des compétences mathématiques mais également comprendre les troubles mathématiques, leurs origines et leurs répercussions sur la vie quotidienne. En effet, un trouble de la cognition mathématique peut avoir des retentissements importants sur la scolarité et l'avenir professionnel d'un enfant mais également tout au long de la vie (par exemple : lire l'heure, remplir un chèque, régler un achat).

Ce mémoire participe au projet de création d'une nouvelle batterie d'évaluation de la cognition mathématique. Le Bilan de la Cognition Mathématique (BCM), basé sur le modèle cognitif du Triple Code (Dehaene, 1992), a pour objectif d'évaluer l'enfant sur un ensemble exhaustif d'épreuves.

Dans ce travail nous allons nous concentrer sur l'évaluation du lexique mathématique. Notre question de recherche est la suivante : quelle est la place du lexique mathématique lors d'une évaluation orthophonique ?

Pour tenter d'y répondre, notre travail démarre d'un état des lieux des outils disponibles pour l'évaluation de cette compétence. Le lexique mathématique proposé dans les batteries et tests retenus sera analysé à l'aide de différents critères (présence de vocabulaire mathématique, nombre d'occurrences de ces termes, présence d'une épreuve de chaîne numérique, par exemple). Ce travail d'analyse aboutira à la proposition d'épreuves permettant d'évaluer le lexique mathématique qui pourront par la suite être intégrées à la batterie BCM.

Nous allons dans un premier temps rassembler les données de la littérature abordant la cognition mathématique et le lexique mathématique au sein de celle-ci. Les objectifs et hypothèses seront ensuite précisés. Puis nous détaillerons la méthodologie mise en place pour l'état des lieux des outils d'évaluation orthophonique disponibles, puis pour la création des épreuves. Enfin, nous présenterons les résultats obtenus, qui seront enfin abordés et analysés dans la discussion.

Contexte théorique, buts et hypothèses

Dans cette partie, nous aborderons le développement de la cognition mathématique, puis nous évoquerons le lien entre le langage et la cognition mathématique. Les troubles de la cognition mathématique chez l'enfant seront ensuite présentés. Nous terminerons par étudier le lien entre la cognition mathématique et l'orthophonie.

.1. La cognition mathématique

Nous allons étudier le développement typique de la cognition mathématique. Celui-ci sera présenté conjointement aux deux modèles cognitifs les plus couramment utilisés pour expliquer le fonctionnement cognitif quant aux nombres chez l'enfant.

.1.1. Le développement du concept de la cognition mathématique

Plusieurs études ont été menées sur les capacités innées des bébés. Ces capacités innées ont été démontrées chez des nouveau-nés âgés de seulement quelques heures (Izard et al., 2009). Après avoir entendu un certain nombre de sons, ils étaient capables de regarder la quantité de points correspondante parmi deux propositions. Les bébés disposent donc d'une représentation numérique amodale. Cependant, cette étude a mis en évidence que les bébés présentent des compétences numériques limitées, sensibles à un ratio. En effet, ils ont besoin d'avoir deux représentations de quantités suffisamment éloignées pour pouvoir les distinguer. Chez les nouveau-nés ce rapport est de 3 :1, chez l'enfant il est de 3 :4 et de 10 :11 chez l'adulte. Par cette diminution de la fraction de Weber, nous constatons donc que nos capacités d'évaluation se précisent avec l'âge, mais que nous restons sensibles à l'effet de distance toute notre vie. Cet effet de distance correspond au fait que, plus deux collections sont distinctes et éloignées, plus leur comparaison sera rapide et exacte.

Très tôt, l'enfant dispose donc d'une intuition du nombre, qui lui vient de son Système Numérique Approximatif (SNA). Ce système semble partager des caractéristiques communes avec celui des animaux et celui des peuples sans langage numérique tels que le peuple Mundurucu, qui possède un lexique numérique n'allant que jusqu'à cinq. Cependant ils sont capables de faire des estimations similaires à celles évoquées précédemment (Dehaene, 2018).

Le SNA repose sur les représentations analogiques et correspondant au code analogique dans le modèle du Triple Code (Dehaene, 1992). Ce modèle est modulaire et basé sur des données neuroanatomiques. Il est composé de trois modules indépendants qui fonctionnent en réseau (cf. Figure 1). Il est donc possible de faire des liaisons entre les différents modules : ce que l'on appelle le transcodage.

Il y a le module de la représentation analogique, dans lequel se trouvent la ligne numérique mentale, la comparaison, l'estimation : comme vu précédemment, ce sont des compétences innées, qui ne nécessitent aucun apprentissage. Il existe également le module de la représentation auditive verbale, qui correspond aux faits arithmétiques et au comptage. C'est dans ce module qu'est inclus le lexique mathématique, que nous aborderons plus en détail par la suite. Enfin, le dernier module est celui de la représentation visuelle arabe (représentation par les chiffres arabes), mobilisé pour l'arithmétique écrite. Ces deux dernières représentations étant des codes symboliques, elles nécessitent un apprentissage.

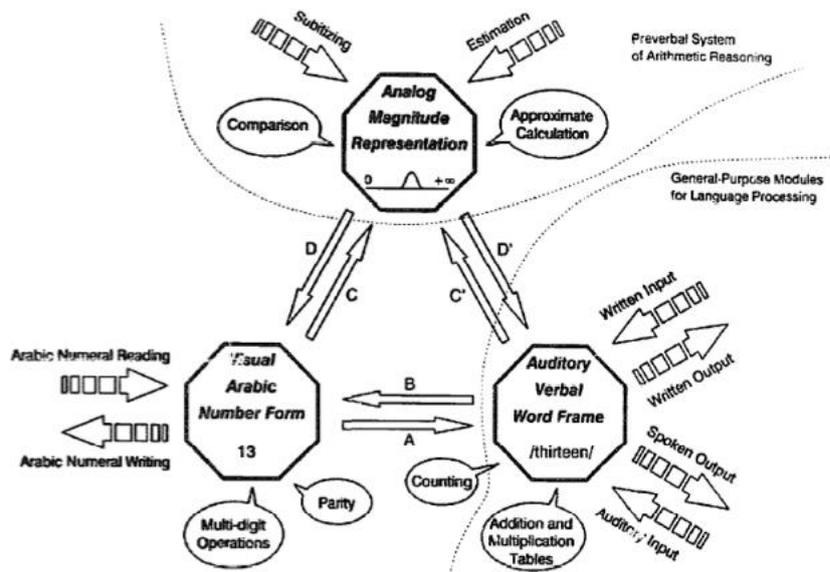


Figure 1. Modèle du Triple Code (d'après Dehaene, 1992).

Avec le temps, les représentations analogiques vont devenir de plus en plus précises. Pour expliquer ce phénomène, nous pouvons nous appuyer sur le modèle développemental de von Aster et Shalev (2007). Ce modèle illustre le développement des compétences mathématiques chez l'enfant de sa naissance jusqu'à la scolarisation (cf. Figure 2).

Capacity of Working Memory	STEP 1	STEP 2	STEP 3	STEP 4
Cognitive Representation	Core system of magnitude (cardinality) Concrete quantity	Verbal number system /one/ /two/ ... Number words	Arabic number system ..., 13, 14, 15, ... Digits	Mental number line (Ordinality) Spatial image
Brain area	Bi-parietal	Left prefrontal	Bi-occipital	Bi-parietal
Ability	Subitizing, approximation, comparison	Verbal counting, counting strategies, fact retrieval	Written calculations, odd/even	Approximate calculation, arithmetic thinking
	Infancy	Preschool	School	Time

Figure 2. Modèle développemental (d'après von Aster et Shalev, 2007).

Les auteurs décrivent quatre étapes, qui se suivent dans un ordre précis, pouvant ainsi expliquer l'origine des difficultés. En effet si l'une des étapes est atteinte, les suivantes le seront aussi. La première étape est le développement du système de magnitude : il s'agit ici des compétences innées, ne nécessitant pas d'apprentissage (l'estimation et la comparaison). La seconde étape est le développement du système numérique verbal suivi du développement du système numérique arabe, nécessitant chacun un apprentissage puisqu'il s'agit de codes symboliques. Il apparaît donc important d'avoir de bonnes compétences en ce qui concerne la chaîne numérique et le comptage pour développer ensuite le système des nombres arabes. La dernière étape est la ligne numérique mentale (construction de l'image spatiale des nombres).

Le modèle développemental souligne l'implication de la mémoire de travail ainsi que celle de la maturation neuroanatomique dans l'acquisition des compétences mathématiques.

L'enfant aura donc progressivement accès aux représentations symboliques en apprenant le code verbal puis le code arabe. Il développera son mapping sémantique, c'est-à-dire qu'il donnera du sens aux symboles, en leur associant une quantité analogique.

Avec ces apprentissages, l'enfant entre progressivement dans le monde de l'arithmétique et découvre peu à peu les opérations arithmétiques. Pour résoudre des calculs, l'enfant utilisera instinctivement ses doigts (Dehaene, 2018). Cette utilisation du corps lui permet de soulager sa mémoire de travail, tout en rendant visuel le calcul à effectuer. Peu à peu il développera des stratégies afin d'être plus efficace en calcul, notamment la stratégie du minimum (ex. pour résoudre l'opération $4+7$, l'enfant comptera à partir de 7 pour ajouter 4). L'apprentissage scolaire des tables d'addition ou encore de multiplication augmentera d'autant plus l'efficacité des enfants. Selon Dehaene (2018, p. 139), un enfant de quatre à sept ans est capable d'utiliser à propos les calculs, tout en les comprenant. Progressivement ces calculs et tables vont être retenus, ce sont les faits arithmétiques, qui seront ultérieurement activés en mémoire à long terme afin d'obtenir une résolution rapide d'un calcul. Les compétences en mathématiques sont alors dites matures.

Nous constatons donc que le langage joue un rôle dans le développement de certaines compétences mathématiques.

.2. Lien entre le langage et la cognition mathématique

Nous nous intéresserons ici au lexique, et plus particulièrement au lexique mathématique, faisant partie intégrante du code verbal selon le modèle du Triple Code.

.2.1. Développement du lexique

Le lexique est une composante du langage, tout comme la phonologie, la morphosyntaxe, par exemple. Le développement du lexique commence dès le plus jeune âge, grâce au bain de langage dans lequel est plongé le bébé. Cependant le développement de la compréhension et celui de la production ne sont pas synchrones, la compréhension précédant toujours la production. Progressivement, l'enfant va produire ses premiers mots, aux alentours de dix mois, puis son stock lexical va considérablement s'accroître au cours de ses premières années de vie (Bates et al., 1995) : c'est l'explosion lexicale.

Ce développement peut varier d'un individu à l'autre, notamment selon son environnement, les stimulations reçues et s'il comprend que les mots ont un sens (Plaza, 2016).

L'enfant acquiert d'abord le lexique puis, à partir de cinquante mots dans son stock lexical actif, il commence à utiliser la syntaxe avec la juxtaposition de deux mots pour arriver à la constitution de phrases de plus en plus longues (Kail, 2020).

.2.2. Le lexique mathématique

Concernant le développement du lexique mathématique plus particulièrement, il suit la même logique de développement que le lexique de façon générale. En effet, ce développement commence par l'acquisition du lexique puis l'utilisation de ce lexique dans une syntaxe.

Toutefois, le lexique mathématique est un champ lexical très vaste qui intervient dans de nombreux domaines de la cognition mathématique, comme nous les verrons par la suite. Dans le développement qui suit, nous allons donc nous concentrer uniquement sur une partie du lexique mathématique, à savoir les mots-nombres et le vocabulaire lié aux mathématiques.

.2.2.1. Développement de la chaîne numérique verbale

L'enfant va tout d'abord devoir apprendre les mots-nombres. Il va développer sa chaîne numérique verbale, ce qui lui permettra par la suite de faire du comptage et du dénombrement. Cette chaîne numérique va se développer en cinq étapes, en commençant par la chaîne chapelet où l'enfant récite la comptine numérique à la manière d'une litanie, les mots-nombres ne sont alors pas identifiés comme tels. Vient ensuite l'étape de la liste non sécable où l'enfant distingue

les mots-nombres mais ne peut compter qu'en partant de un. La troisième étape est celle de la chaîne sécable où l'enfant peut compter entre une borne inférieure et une borne supérieure. La quatrième étape est celle de la chaîne dénombrable où l'enfant maîtrise la suite de mots-nombres et est capable de compter entre deux bornes, de compter par pas. La cinquième et dernière étape est celle de la chaîne bidirectionnelle où l'enfant maîtrise la chaîne numérique à rebours également (Fuson et al., 1982).

La chaîne numérique n'est donc pas une simple litanie, cette compétence de comptage porte d'autres sous-compétences.

Le dénombrement repose sur cinq principes : l'ordre stable, la correspondance terme-à-terme, la cardinalité, l'abstraction et la non-pertinence de l'ordre (Gelman & Gallistel, 1978). Il nécessite la maîtrise du pointage et de la chaîne numérique.

Gelman et Gallistel (1978) constatent que, dès deux-trois ans, de nombreux enfants connaissent une séquence de noms de nombres, qui comporte souvent des erreurs, mais qui a la particularité d'être stable au travers de différentes récitations. Le respect d'un ordre stable n'est toutefois pas suffisant pour permettre un comptage correct. Il faut que cet ordre soit celui de la suite conventionnelle des noms de nombres. La définition du principe d'ordre stable donnée initialement par Gelman et Gallistel doit, par conséquent, être plus restrictive. ...

[Gelman et Meck] observent ainsi qu'à quatre ans, quasi tous les enfants sont capables de détecter si une séquence récitée par autrui est erronée (inversion, omission ou ordre aléatoire), et ceci pour un ensemble allant de 5 à 20.

Wynn (1992) remarque que, dès deux ans et demi, les enfants semblent déjà comprendre que les noms de nombres font partie d'une classe particulière, qu'ils désignent une pluralité d'éléments et non une propriété des objets. A partir de cet âge, la suite standard des noms de nombres va progressivement être mémorisée. Comme le souligne Fisher (1992), cette première connaissance de la chaîne numérique est de nature déclarative. Par la suite, l'enfant découvre les règles qui régissent la suite des noms de nombres. Il peut alors appliquer ces règles pour continuer la chaîne numérique. Celle-ci se transforme ainsi en une connaissance procédurale. (Van Nieuwenhoven & Grégoire, 1999, p.4)

.2.2.2. Importance de la maîtrise de la chaîne numérique verbale

La chaîne numérique verbale est l'une des premières compétences que l'enfant développe en mathématiques (Lafay et al., 2014). C'est également ce qui est démontré dans le modèle développemental de von Aster et Shalev (2007).

Plusieurs auteurs soulignent l'importance du développement de cette chaîne numérique verbale et de la maîtrise des mots-nombres. En effet, les mots-nombres appartiennent au code verbal d'après le modèle du Triple Code de Dehaene (1992). Une fois que l'enfant connaît ces mots-nombres il va pouvoir les associer aux quantités analogiques correspondantes (code analogique dans le modèle de Dehaene) mais également aux chiffres arabes correspondants (code arabe du même modèle). Ainsi, maîtriser les mots-nombres lui permettra d'effectuer par la suite du transcodage. Il pourra associer */trente-deux/* à la quantité correspondante ou au nombre écrit en chiffres arabes 32.

Ce transcodage permis par la maîtrise de la chaîne numérique est un moyen pour l'enfant de se représenter les quantités de façon précise, de développer son sens du nombre (Butterworth, 2004; Lafay & Cattini, 2018).

De plus, la connaissance des mots-nombres et la possibilité d'effectuer du transcodage entre le code verbal et le code arabe sont liées à la réussite en mathématiques, d'après Göbel et ses collaborateurs (2014).

Les compétences en comptage sont un facteur prédictif des compétences en calcul et des acquisitions arithmétiques (Fazio, 1999; Fuson, 1988). De plus, Göbel (2014) affirme que l'apprentissage des chiffres arabes correspondant aux étiquettes verbales est une compétence fondamentale pour le développement arithmétique de l'enfant.

En effet, maîtriser la chaîne numérique permet à l'enfant de mieux appréhender l'apprentissage des opérations d'addition et de soustraction (Van Nieuwenhoven & Grégoire, 1999). Avoir acquis les stades de chaîne sécable et dénombrable permet de développer des stratégies opératoires pour l'addition mais également pour la soustraction. Ces stratégies permettent à l'enfant de récupérer plus facilement la solution de l'opération et ainsi diminuer le coût cognitif nécessité par la tâche.

.2.2.3. Difficultés d'apprentissage de la chaîne numérique verbale

L'apprentissage de la chaîne numérique verbale dépend de la culture du pays. En effet, il y a une influence du degré de transparence de la langue parlée sur l'apprentissage de la chaîne numérique : l'opacité du système de numération augmente le coût cognitif. En France, l'enfant devra apprendre beaucoup d'étiquettes verbales pour les nombres car il est dans un système opaque avec beaucoup d'irréguliers (onze, quatorze, soixante-dix...), contrairement aux enfants chinois, par exemple, qui évoluent dans un système de numération transparent (Ho & Fuson, 1998). Ce système transparent permet à l'enfant de produire des nombres à l'infini en utilisant un système de syntaxe régulier à partir de seulement dix mots-nombres. Les nombres sont toujours construits de la même façon, il n'y a pas d'irrégularité, contrairement au système syntaxique français. Les enfants asiatiques développent ainsi plus rapidement leur chaîne numérique comparativement aux enfants français.

En effet, les français doivent apprendre 26 primitives lexicales constituées des mots-nombres *particuliers* de 1 à 16, des noms des *dizaines*, et des *multiplieurs* (ex. cent, mille) : c'est le principe de lexicalisation. Etant donné qu'il est possible de produire des nombres à l'infini, l'enfant va devoir utiliser la syntaxe des nombres et ainsi faire des combinaisons additives (quarante-et-un), multiplicatives (quatre-vingts) ou mixtes (trois-cent-vingt-deux). Cette syntaxe est soumise à des règles particulières : *vingt-et-un* est correct d'un point de vue syntaxique alors que *dix-et-un* ne l'est pas. L'enfant français va donc également devoir apprendre ces règles syntaxiques.

Il est possible d'observer des erreurs concernant les primitives lexicales (erreurs lexicales) ou concernant les combinaisons syntaxiques (erreurs syntaxiques).

C'est donc un apprentissage long et difficile mais essentiel pour le développement des compétences arithmétiques d'un enfant.

L'enfant va également devoir acquérir le vocabulaire lié aux mathématiques, qui s'ajoute à la connaissance des mots-nombres, tous deux faisant partie intégrante du lexique mathématique.

.2.2.4. Le vocabulaire lié aux mathématiques

Le vocabulaire spécifique aux mathématiques fait l'objet, tout comme la chaîne numérique, d'un apprentissage formel. Il est enseigné dès l'école maternelle et ce tout au long de la scolarité de l'enfant. D'après les programmes scolaires (Ministère de l'éducation nationale, de la jeunesse et des sports, 2016), le vocabulaire spécifique enseigné est de complexité croissante selon les cycles. Au cycle un (classes de l'école maternelle), les termes *pareil*, *plus*, *moins*, *beaucoup*, *premier* ou encore *cube*, par exemple, sont enseignés. Les termes *unité*, *dizaine*, *reste* ou encore *moitié* sont enseignés au cycle deux (CP, CE1, CE2). Au cycle quatre (cinquième, quatrième et troisième), ce sont des termes encore plus précis qui sont enseignés : *parallépipède*, *médiane*, par exemple. Au fur et à mesure des apprentissages, le

vocabulaire mathématique connu par l'enfant est donc de plus en plus riche, à l'instar de la connaissance des mots-nombres.

Ce vocabulaire mathématique peut être réparti en plusieurs catégories. Il y a tout d'abord la catégorie des quantificateurs (ex. *aucun, beaucoup, quelques, tous*), celle des termes d'inclusion (ex. *parmi, dont, d'entre eux*), celle des adjectifs numéraux ordinaux (ex. *premier, deuxième, troisième, dernier*) ou encore celle des termes comparatifs (ex. *autant, même, plus, moins, égal*). Il existe également la catégorie des adjectifs multiplicateurs (ex. *double, triple, quadruple*).

Nous pouvons également citer les termes issus de la géométrie (ex. *losange, quadrilatère, périmètre*) et ceux issus des systèmes de mesures : du temps (ex. *seconde, minute, jour*), de la longueur (ex. *mètre, centimètre, kilomètre*) ou encore de la masse (ex. *gramme, tonne*).

Parmi le vocabulaire mathématique il y a les termes issus de la numération décimale (ex. *dixième, centième*), de la numération entière (ex. *unité, dizaine, centaine*) ou encore de la numération fractionnaire (ex. *demi, quart, numérateur*)

L'arithmétique apporte également de nombreux termes de vocabulaire mathématique : *somme, retenue, division, reste, multiplicande, quotient*, par exemple.

À cela peuvent s'ajouter les termes pouvant être utiles en mathématiques, notamment pour la résolution de problèmes, par exemple : *perdre, gagner, partager, retirer, ajouter, arrondir, réduire*, par exemple.

Le vocabulaire mathématique est donc très varié et riche.

Le vocabulaire spécifique aux mathématiques intervient dans de nombreux domaines des mathématiques : faits arithmétiques, dénombrement, résolution de problèmes, géométrie... Pourtant, la maîtrise des termes spécifiques que l'on retrouve dans les mathématiques n'est pas toujours aisée. Le vocabulaire mathématique est parfois déconcertant (Rubenstein & Thompson, 2002).

Rubenstein et Thompson (2002) ont dressé une liste de onze catégories de difficultés liées au vocabulaire mathématique. Parmi ces difficultés nous retrouvons notamment le fait qu'un même mot peut avoir une signification différente s'il est utilisé en mathématiques ou dans la vie quotidienne (par exemple, en français, le mot *produit*), le fait que certains termes n'existent que dans le domaine des mathématiques rendant alors leur compréhension difficile (par exemple : *quotient, décimal*), le fait que certains mots soient proches sémantiquement et phonologiquement (par exemple *multiplicande* et *multiplicateur*) ou encore qu'un même mot peut avoir différentes significations en mathématiques (par exemple : *dixième, carré*).

Les compétences mathématiques sont donc le résultat de l'association des compétences innées et des apprentissages se réalisant tout au long du développement de l'enfant, comme l'expliquent von Aster et Shalev (2007).

Toutefois, il arrive que certains enfants ne suivent pas le développement décrit ci-dessus.

.3. Les troubles de la cognition mathématique

Dans ce chapitre seront évoqués uniquement les troubles concernant les enfants, puisque la batterie d'évaluation BCM cible précisément ce public. Nous aborderons le trouble développemental ainsi que le trouble secondaire.

.3.1. Trouble développemental

.3.1.1. Le Trouble des Apprentissages Mathématiques

Les enfants présentant des difficultés en mathématiques ont ce que l'on appelle un Trouble des Apprentissages Mathématiques (TAM). Nous pouvons encore entendre parler de « dyscalculie développementale » pour évoquer ce trouble.

D'après le Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders (DSM-5) (2013), le TAM est un trouble neurodéveloppemental qui appartient à la catégorie des Troubles des Apprentissages. Il se caractérise par des difficultés à apprendre et à utiliser le sens du nombre, les données chiffrées ou le calcul, mais également par des difficultés de raisonnement mathématique. Il doit persister depuis au moins six mois, bien que des mesures ciblant ces difficultés aient été mises en place. Il faut également que le trouble interfère de façon significative avec la réussite scolaire : les performances scolaires doivent être altérées comparativement aux enfants de même âge. Cela doit pouvoir se vérifier par des tests standardisés et une évaluation complète, révélant un écart-type de -1,5 ou un score inférieur au percentile 7. L'apparition des difficultés durant la scolarité appartient également aux critères du DSM-5. Enfin, aucune des causes suivantes ne peut expliquer les difficultés : handicap intellectuel, handicap sensoriel, troubles neurologiques ou mentaux, trouble psychosocial, manque de maîtrise de la langue de l'enseignement ou pédagogie inadéquate de l'enseignement. La sévérité du trouble pourra alors être jugée légère, moyenne ou grave, selon des critères de fonctionnalité bien définis.

Les études montrent que trois à huit pour cent des enfants présentent des difficultés en mathématiques (Fayol, 2018).

Lorsqu'un enfant présente un TAM, il n'est pas rare qu'il y ait des comorbidités associées (Rubinsten & Henik, 2009). Nous allons donc les détailler dans la partie suivante.

.3.1.2. Comorbidités fréquentes

Les difficultés en mathématiques sont fréquemment associées à d'autres troubles. D'après Kaufmann et von Aster (2012), entre vingt à soixante pour cent des personnes diagnostiquées comme ayant un TAM présentent d'autres difficultés d'apprentissage. Il peut alors s'agir d'un Trouble Développemental du Langage, d'un Trouble développemental de la Coordination, d'un Trouble Spécifique du langage écrit ou encore d'un déficit de l'attention avec ou sans hyperactivité.

Le trouble le plus fréquemment associé à des difficultés mathématiques est le trouble de la lecture. En effet soixante-dix pour cent des enfants ayant des difficultés en mathématiques ont également des difficultés en lecture (Soares et al., 2018). Les enfants diagnostiqués dyscalculiques sont également diagnostiqués dyslexiques dans dix-sept pour cent des cas (Gross-Tsur et al., 1996). Un dysfonctionnement du gyrus angulaire serait en cause lorsque l'on retrouve des déficits en lecture mais également en mathématiques (Rubinsten & Henik, 2009). Cette forte comorbidité pourrait donc s'expliquer par l'atteinte d'une zone cérébrale commune aux deux compétences.

Gross-Tsur et ses collaborateurs (1996) identifient également dans vingt-cinq pour cent des cas des symptômes de troubles attentionnels chez les enfants dyscalculiques. Les déficits attentionnels se retrouveraient plus fréquemment associés à un TAM qu'à une dyslexie. Cela peut engendrer des difficultés dans le dénombrement, les calculs et la rétention des faits arithmétiques notamment, dues à la rigidité mentale, les persévérations ou un défaut d'inhibition (Lindsay et al., 1999).

Les enfants ayant un TAM ont également fréquemment des difficultés de mémoire, ne permettant donc pas la mémorisation et la récupération de faits arithmétiques, l'acquisition de la chaîne numérique, ou encore le transcodage. Ils ne développent alors pas de stratégies de

comptage ou de récupération efficaces et expriment davantage de difficultés dans les tâches plus complexes (Geary et al., 2012).

Butterworth (2004) évoque également d'autres pathologies pouvant être associées à un TAM, notamment l'épilepsie et le syndrome de Gerstmann dans lequel les troubles mathématiques sont associés à une agnosie digitale, une désorientation droite-gauche et une dysgraphie.

Il apparaît donc que le TAM est fréquemment associé à d'autres troubles, sans que le lien de causalité entre ces troubles n'ait été établi (Butterworth, 2004).

Différentes études ont été menées pour identifier l'origine des troubles de la cognition mathématique.

.3.1.3. Hypothèses explicatives

L'origine des troubles de la cognition mathématique ne fait pas preuve d'un consensus à l'heure actuelle. Cependant plusieurs hypothèses explicatives ont été avancées.

Il y a tout d'abord l'hypothèse génétique. En effet, plusieurs études ont démontré qu'environ la moitié des enfants atteints d'un trouble des mathématiques ont un membre de leur famille (parent, fratrie) qui présente ce même trouble (Fayol, 2018).

De plus, nous retrouvons des difficultés d'apprentissages mathématiques partagées chez 58% des jumeaux homozygotes, contre 39% chez les jumeaux hétérozygotes (Fayol, 2018).

Toutefois, aucun gène en particulier n'a été identifié jusqu'à présent.

L'hypothèse neurobiologique a également été avancée. Plusieurs études utilisant des techniques de neuroimagerie ont identifié des lésions dans une zone particulière du cerveau : le sillon intrapariétal. Les enfants dyscalculiques auraient « subi une désorganisation précoce des régions cérébrales qui auraient dû, normalement, se spécialiser dans les nombres » (Dehaene, 2018, p. 225). Ces régions sont celles du sillon intrapariétal, du gyrus angulaire et des régions préfrontales (Dehaene et al., 2003).

Enfin, il y a l'hypothèse cognitive. Selon cette hypothèse, deux causes pourraient expliquer les Troubles des Apprentissages Mathématiques primaires (Lafay et al., 2015).

La première est celle d'un déficit du sens du nombre. Dans ce cas, les enfants ne peuvent pas se représenter correctement les quantités numériques, c'est un problème au niveau du module analogique dans le modèle du Triple Code. L'individu éprouve alors des difficultés à comparer, estimer ou encore appréhender rapidement de petites quantités.

La seconde est celle d'un déficit d'accès à ces représentations de quantités numériques par le biais des codes. Dans ce cas, le sens du nombre de l'individu est intact (Noël & Rousselle, 2011). Il a du mal à associer un nombre arabe à la quantité de points correspondant, à comparer deux nombres oraux, à effectuer un jugement de grammaticalité, par exemple.

.3.2. Trouble secondaire

Lorsqu'un enfant présente un trouble de la cognition mathématique, il peut être primaire comme nous l'avons vu précédemment, mais il peut également être secondaire.

Dans ce cas, le trouble mathématique peut s'expliquer par un trouble cognitif plus général qui peut toucher la mémoire de travail, les fonctions exécutives, les capacités gnosiques et les compétences langagières.

Un trouble précoce du langage oral aura des répercussions sur les compétences ultérieures de la personne en mathématiques (Durkin et al., 2015; Hall & Segarra, 2007).

Cross et ses collègues (2019) ont démontré que les enfants avec un Trouble Développementale du Langage (TDL) ont des difficultés dans les domaines des mathématiques sollicitant fortement le code verbal (par exemple : résolution de problèmes, transcodage, dénombrement) mais pas dans les domaines sans intervention de ce code (ex. comparaison de magnitude, ligne numérique).

Ces enfants ont de moins bonnes capacités pour énoncer la chaîne verbale (Fazio, 1994). Comparativement aux enfants du groupe contrôle, ils ont une chaîne numérique moins étendue et mettent plus de temps à l'énoncer (Camos et al., 1998).

Cela peut s'expliquer par les difficultés d'apprentissage et de mémorisation de la chaîne numérique (Donlan et al., 2007) mais aussi d'accès au lexique (Fazio, 1996) que présentent les enfants ayant un TDL. Ils sont également davantage en difficulté lorsqu'il est question des grands nombres qui nécessitent la maîtrise des règles syntaxiques.

Ils ont également de moins bonnes capacités en calcul (Donlan et al., 2007), comparativement aux enfants de même âge. En effet, nous l'avons évoqué précédemment, les compétences de comptage permettent de développer des stratégies lors de la résolution de calculs simples. Les enfants avec un TDL ne peuvent pas mettre en place ces stratégies, les calculs sont donc échoués. De plus ils présentent d'importantes difficultés à mémoriser les faits arithmétiques et à les retrouver rapidement en situation de calcul.

La résolution de problèmes est également déficitaire chez les enfants TDL dans toutes les études évaluant cet aspect. Les difficultés en résolution de problèmes peuvent notamment s'expliquer par les difficultés de compréhension que présentent les enfants avec un TDL.

Le trouble de la cognition mathématique peut également être secondaire à un syndrome génétique. En effet, plusieurs syndromes génétiques présentent une atteinte des régions impliquées dans le développement de la cognition mathématique, engendrant par conséquent des difficultés chez l'enfant porteur du syndrome.

Les enfants atteints du syndrome de Williams-Beuren expriment des difficultés au niveau de la numération, des calculs simples et des difficultés d'apprentissage des codes symboliques (Butterworth, 2004). La chaîne numérique verbale se développe peu, ne permettant pas la mise en place du transcodage.

Dans le syndrome de Turner, qui touche le genre féminin, le sens du nombre est préservé mais il y a des difficultés dans la manipulation des faits arithmétiques, dans les procédures de calcul et la résolution de problèmes (Soares et al., 2018). Toutefois, le comptage ainsi que le transcodage sont relativement préservés.

Concernant le syndrome du X fragile, une atteinte du sens du nombre, du dénombrement et de la résolution de problèmes est retrouvée. Des compétences de comptage déficientes sont parfois observées, cependant le transcodage semble préservé chez les filles atteintes de ce syndrome (Deffrennes et al., 2018).

Enfin, dans la Trisomie 21, syndrome causé par une anomalie chromosomique, les enfants connaissent moins de mots-nombres mais peuvent tout de même réussir à développer leur chaîne numérique (Nye et al., 2001).

Lorsque le lexique mathématique est atteint chez un enfant, dans le cadre d'une pathologie du langage oral ou dans le cadre d'un TAM, les conséquences sont multiples. Comme nous venons de le voir, lors d'un bilan de la cognition mathématique les difficultés se répercutent (dans le cas d'un trouble secondaire) ou se cumulent (dans le cas d'une comorbidité) sur diverses épreuves sollicitant le code verbal, d'après le modèle du Triple Code de Dehaene, et où l'on peut rencontrer plus particulièrement du lexique mathématique : chaîne numérique, transcodage, faits arithmétiques et bien d'autres encore.

L'expression des difficultés mathématiques varie donc selon l'origine du trouble (primaire ou secondaire). Ces différences pourront transparaître lors du bilan orthophonique de la cognition mathématique.

.4. Cognition mathématique et orthophonie

Dans ce chapitre, nous présenterons la place de la cognition mathématique dans le vaste champ de compétences de l'orthophoniste, puis nous aborderons son évaluation.

.4.1. Place de la cognition mathématique dans l'orthophonie

Comme nous l'avons vu précédemment, le domaine des mathématiques fait partie du champ de compétences de l'orthophoniste depuis longtemps, même s'il est apparu sous des noms différents. En effet, nous pouvions voir apparaître dans la Nomenclature Générale des Actes Professionnels (NGAP) la mention « la rééducation du langage écrit : dyslexie, dysorthographe, dyscalculie, dysgraphie » en 1983 (Décret 83-766 du 24 août 1983).

Actuellement, le domaine des mathématiques apparaît sous l'appellation « Bilan de la cognition mathématique (troubles du calcul, troubles du raisonnement logico-mathématique...) » (NGAP version du 15 janvier 2021). Ce changement de libellé est récent puisqu'il apparaît dans la NGAP suite à la publication de l'avenant 16 le premier avril 2018.

Toute prise en charge orthophonique débute par une évaluation des compétences du patient afin d'identifier la cause des difficultés et ainsi de proposer une intervention ciblée si nécessaire.

.4.2. Evaluation de la cognition mathématique

Lorsqu'un enfant présente des difficultés en mathématiques et qu'une plainte dans ce domaine est exprimée, il est utile d'effectuer un « Bilan de la cognition mathématique (troubles du calcul, troubles du raisonnement logico-mathématique...) » (NGAP, janvier 2021). Ce bilan permettra de distinguer les personnes présentant un retard d'acquisition des mathématiques, qui ne serait alors pas du ressort de l'orthophoniste, de celles présentant un trouble, nécessitant un suivi orthophonique et éventuellement des aménagements scolaires.

De plus, le bilan orthophonique de la cognition mathématique permettra en cas de trouble de préciser sa nature ainsi que sa sévérité et durabilité (Deffrennes et al., 2018). En effet, la cognition mathématique est composée de plusieurs domaines, qui peuvent ne pas être altérés de la même façon d'un individu à un autre : il existe une multitude d'atteintes et de combinaisons d'atteintes possibles. C'est cette hétérogénéité de compétences dans les atteintes de la cognition mathématique que le bilan orthophonique tentera de mettre en évidence, afin d'identifier précisément les domaines atteints et préservés.

Le but de ces évaluations est d'objectiver ou non des difficultés dans des domaines autres que ceux généralement atteints lorsque l'enfant présente un TAM, afin de poser un diagnostic de trouble primaire ou secondaire.

Cette évaluation complète aboutit à la pose d'un diagnostic et permet également de dresser un profil des compétences et difficultés précises du patient, sur lesquelles repose l'intervention orthophonique. Cette intervention diffère selon l'origine des difficultés, à savoir s'il s'agit d'un TAM ou d'un trouble de la cognition mathématique secondaire, notamment secondaire à des difficultés de langage oral.

L'évaluation orthophonique de la cognition mathématique peut être expliquée en s'appuyant sur le modèle du Triple Code de Dehaene.

Lors de l'évaluation, l'orthophoniste propose diverses épreuves permettant d'évaluer l'efficacité de chacun des trois codes. Cette « évaluation des habiletés numériques de base, et plus particulièrement du traitement des codes numériques analogiques [...] et des codes numériques arabe et oral, et de leurs liens avec les représentations numériques mentales, est indispensable pour cerner la présence d'un trouble cognitif numérique et envisager le diagnostic de dyscalculie. » (Lafay et al., 2015, p.105).

Parmi les épreuves proposées lors du bilan, celles nécessaires pour diagnostiquer un trouble secondaire (notamment secondaire à un TDL) sont les épreuves qui ciblent l'évaluation du code verbal, particulièrement atteint chez les enfants présentant un TDL comme nous l'avons vu précédemment. Il s'agit de l'épreuve de chaîne numérique verbale, de dénombrement, de faits arithmétiques, de vocabulaire mathématique, de l'épreuve évaluant la connaissance du code oral (décision numérique orale) et celle de résolution de problèmes.

Le code verbal est donc évalué au travers de nombreuses épreuves. Dans notre travail, nous avons choisi de nous concentrer sur les épreuves de chaîne numérique (pour l'évaluation des mots-nombres) et celle de résolution de problèmes (pour l'évaluation du vocabulaire lié aux mathématiques).

Notre processus de création d'épreuve, qui sera présentée ci-après, démarre du travail mené par Claire Van Vlierberghe lors de son mémoire universitaire soutenu en juin 2021. Elle a proposé une épreuve de résolution de problèmes, composée de 31 énoncés additifs et multiplicatifs.

Dans l'épreuve de résolution de problèmes il est possible d'ajuster le niveau de difficulté en ajoutant des contraintes liées au vocabulaire mathématique, par exemple. Ainsi, l'évaluation du vocabulaire mathématique est rendue possible, en plus de l'objectif initial de l'épreuve : l'évaluation de la résolution de problèmes.

.4.3. Evaluation du lexique mathématique

Nous avons vu précédemment que le lexique mathématique est une sous-composante du lexique.

Le lexique est généralement évalué sous deux principales modalités dans les batteries de langage oral. Il s'agit de la désignation (versant réception) et de la dénomination (versant production). Le but de ces épreuves est d'évaluer le stock lexical actif et passif de l'enfant ainsi que l'accès à ce stock lexical.

Dans notre travail, le lexique mathématique regroupe à la fois les mots-nombres et le vocabulaire lié aux mathématiques. Les mots-nombres sont évalués au travers de l'épreuve de chaîne numérique verbale.

Le vocabulaire lié aux mathématiques, quant à lui, devrait donc être évalué comme le lexique dans les batteries de langage oral : sur le versant production et sur le versant réception au moyen notamment de la désignation et de la dénomination. Le but étant là aussi d'évaluer le stock lexical de l'enfant mais dans un domaine précis : les mathématiques.

Buts et hypothèses

Précédemment, nous avons vu que le bilan de la cognition mathématique est constitué de nombreuses épreuves faisant partie du code verbal, du code arabe ou du code analogique. Plusieurs études ont montré l'importance du lexique mathématique dans la cognition

mathématique. Son évaluation semble donc inévitable lors d'un bilan orthophonique. Cela nous a donc amenés à nous questionner sur la manière dont est évalué le lexique mathématique lors d'un bilan orthophonique de la cognition mathématique.

Le but de notre étude est de répondre à la question de recherche suivante : quelle est la place du lexique mathématique lors d'une évaluation orthophonique de la cognition mathématique ?

Pour y répondre nous proposons trois hypothèses :

- Nous supposons que l'évaluation du vocabulaire mathématique est peu présente dans les batteries d'évaluation des compétences mathématiques existantes.
- Nous supposons également que l'évaluation du vocabulaire mathématique est proposée selon les mêmes modalités que celles du lexique dans les batteries de langage oral.
- Enfin, nous supposons que le vocabulaire mathématique intervient dans de nombreuses épreuves au sein d'une batterie d'évaluation de la cognition mathématique.

Méthode

Notre mémoire fait partie d'un projet de création d'une batterie d'évaluation de la cognition mathématique : le BCM (Bilan de la Cognition Mathématique). Plusieurs mémoires ont déjà été présentés et d'autres seront à venir.

Les étudiants ayant déjà présenté un mémoire dans ce projet de création d'une batterie d'évaluation ont constitué un tableau d'analyse des tests existants très complet mais qui toutefois ne fait pas apparaître le lexique mathématique. Le travail d'analyse des outils existants, que nous verrons dans la partie qui suit, vient donc compléter ce tableau.

.1. Etat des lieux des outils d'évaluation

La première étape de notre travail est de réaliser un état des lieux des outils d'évaluation existants afin d'analyser de quelle façon le lexique mathématique y est intégré.

.1.1. Population

Notre état des lieux repose sur les critères d'inclusion suivants :

- Outils destinés à l'évaluation de l'enfant
- Présence de termes appartenant au lexique mathématique (chaîne numérique et vocabulaire lié aux mathématiques)
- Outils disponibles en langue française
- Outils disponibles à la testothèque du département d'orthophonie de Lille

Il repose également sur les critères d'exclusion suivants :

- Outils en langue étrangère
- Outils destinés à l'évaluation de l'adulte

Notre état des lieux des outils existants pour l'évaluation de la cognition mathématique prend en compte des outils orthophoniques et non orthophoniques. Il prend également en compte des outils de première et deuxième ligne et des outils dits de repérage ou de dépistage. Ils sont présentés dans le tableau 1.

Tableau 1. Tests retenus pour l'état des lieux de l'évaluation du lexique mathématique.

Tests non orthophoniques	Tests orthophoniques	
- BMT-a : <i>Batterie Modulable de Test – apprentissages</i> (Billard, Mirassou et Touzin, 2019)	Tests destinés à l'évaluation de la cognition mathématique	Tests non destinés à l'évaluation de la cognition mathématique
- Boehm-3 (BOEHM, 2009)		
- ECPN : <i>Epreuves Conceptuelles de résolution des Problèmes Numériques</i> (Groupe CIMETE, 1995)	- B-LM : <i>Batterie de logico-mathématique</i> (Métral, 2008)	- EVALEO : <i>Evaluation du Langage Ecrit et du langage Oral</i> (Launay et al., 2018)
- EDA : <i>Evaluation Des fonctions cognitives et des Apprentissages</i> (Billiard Touzin, 2012)	- Examaths 5-8 (Lafay et Helloin, 2021)	- EXALang 3-6 ; 5-8 ; 8-11 ; 11-15 (Thibaut et al., 2006, 2010, 2012, 2009)
- ERTLA 6 : <i>Epreuves de Repérage des Troubles du Langage et des Apprentissages utilisables lors du bilan médical de l'enfant de 6 ans</i> (Roy et al., 2000)	- Examaths 8-15 (Lafay et Helloin, 2016)	- Isadyle (Piérart et al., 2010)
- EVAC : <i>Épreuve Verbale d'Aptitudes Cognitives</i> (Flessas et Lussier, 2003)	- Numérical : <i>Test neurocognitif pour l'apprentissage du nombre et du calcul</i> (Gaillard, 2000)	- N-EEL : <i>Nouvelles Epreuves pour l'Evaluation du Langage</i> (Chevrie-Muller, 2001)
- NEPSY : <i>Bilan Neuropsychologique de l'enfant</i> (Korkman, 1997)	- TediMaths (Van Nieuwenhoven et al, 2001)	
- UDN-II : <i>construction et Utilisation Du Nombre</i> (Meljac et Lemmel, 1999)	- TediMaths Grands (Noël et Grégoire, 2015)	
	- Zareki-R : <i>Batterie pour l'Evaluation des Nombres et du Calcul</i> (Dellatolas et Von Aster, 2005)	

.1.2. Méthode

Un tableau de synthèse a été créé afin de regrouper les informations pertinentes issues de l'analyse des outils.

L'analyse des outils s'est concentrée sur le lexique mathématique. Ainsi, chaque terme lié aux mathématiques utilisé dans la batterie ou le test étudié, peu importe le type d'épreuve dans lequel il apparaît, est relevé et est inscrit dans une ligne du tableau de synthèse.

Ensuite le nombre d'occurrences de chaque terme est précisé dans le but d'identifier les termes les plus présents dans notre échantillon de tests.

L'ensemble des termes relevés ont également fait l'objet d'une comparaison aux programmes scolaires du cycle deux au cycle quatre, soit du CP jusqu'à la troisième. En effet, il est intéressant d'observer si les termes présents dans les tests sont les mêmes que ceux auxquels est confronté l'enfant lorsqu'il est en classe.

Enfin, la répartition des occurrences des termes liés aux mathématiques est étudiée au sein des batteries spécifiques et non spécifiques.

Les tests proposant une épreuve de vocabulaire mathématique et de chaîne numérique sont répertoriés.

Lorsqu'une épreuve de vocabulaire mathématique est proposée, les termes présents dans cette épreuve sont listés et pourront être confrontés au premier tableau regroupant les termes mathématiques présents dans l'ensemble des tests. La modalité de réponse imposée par l'épreuve évaluant le vocabulaire mathématique est également analysée.

Une liste d'épreuves où l'on peut retrouver du lexique mathématique est créée, afin de rendre compte de l'importance de sa présence au sein d'épreuves diverses lors de l'évaluation de la cognition mathématique en orthophonie.

.2. Création d'épreuves évaluant le lexique mathématique

.2.1. Objectifs visés

Les objectifs visés par la création d'épreuves évaluant le lexique mathématique sont de répondre à un besoin clinique, de proposer une évaluation approfondie des compétences de l'enfant et de ses difficultés et d'identifier la cause de ces difficultés.

Ces épreuves faisant partie d'une batterie ayant pour but de diagnostiquer un trouble développemental, elles viseront l'évaluation des compétences de l'enfant.

.2.2. Evaluation de la chaîne numérique verbale

Pour l'évaluation de la chaîne numérique verbale, une passation informatisée est proposée. Il convient d'enregistrer les consignes et de les diffuser par l'ordinateur lors de la passation. Cela permet d'assurer la reproductibilité des résultats quel que soit l'examineur, c'est la fidélité inter-juges. Il est également possible de renseigner les scores et les observations en ligne, l'objectif étant d'avoir une évaluation quantitative et qualitative.

Les consignes sont données à l'oral par des consignes préenregistrées. L'enfant répond à l'oral. Les réponses sont notées par l'examineur afin d'en faire une analyse quantitative et qualitative. Un encart est prévu pour que l'examineur puisse noter toutes les remarques qui lui semblent nécessaires à l'interprétation des résultats. Quelques suggestions d'observations sont proposées dans le but d'aider l'examineur à faire son analyse qualitative, celles-ci sont en lien avec la nature de l'épreuve et permettent d'analyser plus précisément le type d'atteinte du lexique. Le temps de réponse est chronométré (soit grâce à un outil inclus dans logiciel BCM soit l'orthophoniste utilise un chronomètre).

La création de cette épreuve repose sur les bases théoriques présentées auparavant, à savoir les étapes du développement de la chaîne numérique selon Fuson et ses collaborateurs (1982).

La consigne générale de l'épreuve est donnée à l'enfant, afin qu'il comprenne le but de celle-ci et celui des tâches qui vont lui être demandées.

Aucun item d'exemple ne sera proposé au début de cette épreuve afin de ne pas fausser la passation (indice sur le début de la chaîne numérique). Il sera cependant possible de répéter la consigne, cela devra être précisé dans les observations qualitatives.

Les items sont de complexité croissante, ils suivent le continuum de l'acquisition de la chaîne numérique. Ainsi, le premier item teste les deux premiers stades acquis par l'enfant selon Fuson (1982) : la chaîne chapelet et la chaîne insécable. Le deuxième item teste le niveau supérieur dans l'acquisition de cette chaîne numérique verbale soit la chaîne sécable et ainsi de suite jusqu'au dernier item, l'item sept, qui teste alors le stade le plus complexe : la chaîne bidirectionnelle.

Cela nous amène à réfléchir à la façon dont seront présentés les items à l'enfant. Plusieurs possibilités existent.

La première est la présentation des items en ordre croissant. De cette façon, l'examineur présente les items dans leur ordre chronologique d'apparition dans l'apprentissage de la chaîne numérique. Ici, il est possible de proposer un critère d'arrêt car comme évoqué précédemment, si une étape est échouée, les items évaluant les étapes suivantes le seront également.

La deuxième présentation possible correspond à celle proposée par Dunn et ses collaborateurs (1993) dans le test de langage oral EVIP (Échelle de Vocabulaire en Images Peabody) qui cible l'évaluation du vocabulaire passif, bien qu'ici il s'agisse d'une évaluation du vocabulaire actif, en l'occurrence des mots-nombres. Il convient alors de proposer en premier lieu le niveau le plus complexe par rapport à l'âge du patient. Si l'item le plus complexe est réussi, en l'occurrence l'item sept dans l'épreuve créée, nous pouvons considérer que les items inférieurs (donc acquis avant cet ultime stade qui est le stade de la chaîne bidirectionnelle) sont également acquis, il n'est alors pas nécessaire de les proposer à l'enfant. A l'inverse, si l'enfant échoue à l'item sept, l'examineur propose le niveau inférieur, correspondant ici à l'item six testant le stade précédent. Si à nouveau l'item est échoué, l'examineur propose les items dans l'ordre décroissant jusqu'à obtenir un item réussi ou jusqu'au dernier item s'il n'y a pas de réussite avant. Un item peut être considéré comme échoué si l'enfant oublie des mots-nombres, commet des inversions ou encore des substitutions, par exemple.

Toutefois, il faudra attendre d'avoir effectué l'étalonnage pour décider de la façon la plus adaptée de présenter les items ainsi que les modalités précises de passation (critères de départ et d'arrêt notamment).

Un tableau récapitulatif avec les stades d'acquisition est présent en bas de la feuille de passation (version imprimable) ou directement sur l'ordinateur (version informatisée). Une fois que l'étalonnage aura été effectué il sera alors possible, en se basant là encore sur le test EVIP (Dunn et al., 1993) d'attribuer un âge de référence à chaque stade. Cela permettra à l'examineur de situer le patient par rapport à l'âge de référence du stade où il se situe.

.2.3. Evaluation du vocabulaire spécifique aux mathématiques

Pour l'évaluation du vocabulaire spécifique, nous nous baserons sur les items proposés pour l'épreuve de résolution de problèmes dans le mémoire de Claire Van Vlierberghe, soutenu en juin 2021.

Nous proposerons des items qui évalueront les mêmes compétences mathématiques, sur le plan de la structure du problème (type et nature), sur plusieurs niveaux de difficulté. Dans les niveaux plus élevés, la complexité linguistique sera supérieure aux items initialement proposés par Claire Van Vlierberghe, d'un point de vue du lexique mathématique.

Les modalités d'entrée et de sortie sont identiques pour chaque niveau et sont celles initialement proposées par Claire Van Vlierberghe. Les énoncés sont présentés à l'écrit. Concernant la modalité de sortie, l'enfant doit évoquer à l'oral la solution aux problèmes qui lui sont présentés.

Concernant la passation de l'épreuve, nous choisissons de conserver le déroulement prévu par Claire Van Vlierberghe. Au début, la consigne générale de l'épreuve est donnée. Comme pour l'épreuve de comptage, la consigne peut être enregistrée et diffusée à l'enfant par l'examineur, pour garantir la fidélité inter-juge. Les réponses et les scores sont renseignés sur l'ordinateur. Le temps de réponse est calculé automatiquement.

Les items lui sont ensuite proposés en respectant la progression établie, afin d'observer une complexité croissante des énoncés.

Le critère de départ est celui initialement proposé par Claire Van Vlierberghe, à savoir le premier item présenté à l'enfant est celui défini selon son niveau scolaire.

Là encore il est possible d'imaginer une passation semblable à celle proposée dans le test EVIP (Dunn et al., 1993). Le départ s'effectuerait alors au niveau trois, afin de proposer d'office le niveau de difficulté le plus élevé à l'enfant. Si l'enfant réussit l'item, il obtient un point et l'item suivant lui est proposé. S'il échoue à deux items consécutifs du niveau trois, ce niveau est arrêté et l'examineur présente ces mêmes items en niveau deux, de complexité

inférieure en termes de lexique mathématique. Si deux échecs consécutifs sont constatés en niveau deux, à nouveau le niveau est interrompu et les items échoués sont présentés en niveau un.

Toutefois, il ne s'agit ici que de pistes envisageables concernant la passation de l'épreuve créée. Ces éléments ne pourront être définis qu'une fois l'étalonnage réalisé.

Dans les énoncés des niveaux deux et trois, créés dans le cadre de ce travail, les items ont été contrôlés. Les phrases proposées sont de difficultés similaires d'un niveau à l'autre et ne comportent pas de distracteurs linguistiques ni de distracteurs numériques, afin que la seule différence entre les niveaux soit le vocabulaire mathématique.

Les termes relatifs au vocabulaire mathématique utilisés dans l'épreuve sont ceux présents dans le tableau d'analyse effectué lors de l'analyse de l'existant ou des synonymes de ces termes (ex. perdre, enlever, retirer).

La difficulté des niveaux supérieurs est apportée par la fréquence et la variété du vocabulaire mathématique utilisé mais aussi par la combinaison de certains termes lexicaux ainsi que la formulation syntaxique. Ainsi, le niveau trois est considéré comme plus difficile car le lexique mathématique qu'il contient est plus varié et plus spécifique, à l'inverse le niveau un est plus facile car il contient peu de vocabulaire mathématique différent et celui-ci est plus fréquent.

Notre sujet de travail étant le lexique mathématique, il est intéressant ici de ne faire varier que ce curseur de difficulté au sein des niveaux proposés afin d'évaluer son impact sur la réussite du patient lors de l'évaluation de la résolution de problèmes, qui reste l'objectif principal de cette épreuve.

Résultats

.1. Analyse de l'existant

.1.1. Le lexique mathématique dans les batteries et tests en orthophonie

Notre analyse s'est volontairement portée sur des tests variés, dont la cible principale n'est pas forcément l'évaluation des compétences mathématiques. L'un des critères d'inclusion pour l'analyse de l'existant était la présence de termes liés aux mathématiques au sein des épreuves constituant le test. Cela nous a permis d'étudier 22 tests différents. La Figure 3 illustre la répartition des tests contenant du lexique mathématique, selon leur spécificité ou non dans le domaine des mathématiques.

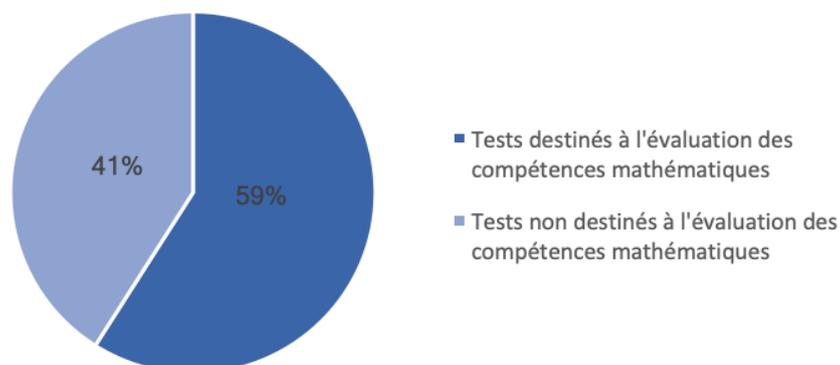


Figure 3. Répartition des tests contenant du lexique mathématique parmi notre échantillon.

1.2. Paramètres pertinents quant au lexique mathématique

Lors de l'analyse des tests et batteries existants et répondant aux critères d'inclusion établis, nous avons sélectionné plusieurs paramètres qu'il nous semblait intéressant d'étudier.

Le tableau d'analyse (cf. Annexe A1) rassemble plusieurs de ces paramètres, présentés précédemment.

Parmi ces critères, il y a celui de la présence ou non d'une épreuve testant la chaîne numérique, dans le panel de 22 tests évaluant le langage oral (LO), le langage écrit (LE) ou les compétences mathématiques (CM). Au total, 36% de ces tests proposent une épreuve de chaîne numérique, soit 8 tests sur les 22 analysés.

Suite à ce constat, nous avons regardé plus précisément parmi les tests et batteries destinés à l'évaluation des compétences mathématiques ceux qui proposent une telle épreuve.

Au total, 67% de ces tests proposent une épreuve évaluant la chaîne numérique, soit 6 tests sur les 9 évaluant spécifiquement les compétences mathématiques. Ils sont présentés dans le Tableau 2.

Il apparaît donc que seulement deux tests non spécifiques à l'évaluation de la cognition mathématique proposent une épreuve évaluant la chaîne numérique verbale, soit quinze pour cent. Ils sont également présentés dans le Tableau 2.

Tableau 2. Tests proposant une évaluation de la chaîne numérique.

Tests LO et/ou LE	Tests CM
- BMT-a (Billard, Mirassou et Touzin, 2019)	- B-LM (Métral, 2008)
- EDA (Billiard Touzin, 2012)	- Examaths 5-8 (Lafay et Helloin, 2021)
	- Numérique (Gaillard, 2000)
	- TediMaths (Van Nieuwenhoven et al, 2001)
	- Zareki-R (Dellatolas et Von Aster, 2005)
	- UDN-II (Meljac et Lemmel, 1999)

Un deuxième paramètre intéressant est la présence ou non d'une épreuve spécifique permettant l'évaluation du vocabulaire mathématique. Là encore, nous avons comparé les tests selon leur spécificité ou non pour l'évaluation des compétences mathématiques.

Au total, sur les 22 tests du panel analysés regroupant des tests évaluant le langage écrit, le langage oral ou les compétences mathématiques, 9 proposent une épreuve évaluant spécifiquement le vocabulaire mathématique, soit 41%.

Si nous nous intéressons aux tests spécifiques à l'évaluation des mathématiques, nous constatons que 33% d'entre eux contiennent une épreuve de vocabulaire mathématique, soit 3 tests sur les 9 spécifiques. Ils sont présentés dans le Tableau 3.

Parmi les tests non spécifiques à l'évaluation de la cognition mathématique, 6 proposent une épreuve évaluant le vocabulaire spécifique aux mathématiques, soit 46%. Ils sont également présentés dans le Tableau 3.

Tableau 3. Tests proposant une épreuve dédiée au vocabulaire mathématique.

Tests LO et/ou LE	Tests CM
- EVAC (Flessas et Lussier, 2003)	- Examaths 5-8 (Lafay et Helloin, 2021)
- N-EEL (Chevrie-Muller, 2001)	- Examaths 8-15 (Lafay et Helloin, 2016)
- Boehm-3 (BOEHM, 2009)	- TediMaths Grands (Noël et Grégoire, 2015)
- Isadyle (Piérart et al., 2010)	
- EXALang 3-6 ; 11-15 (Thibaut et al., 2006, 2009)	

Lorsqu'une épreuve est dédiée à l'évaluation du lexique mathématique dans un test, nous nous sommes intéressés aux modalités de réponse possibles, afin d'observer les modalités de réponse les plus fréquemment proposées dans ce type d'épreuve.

Parmi l'ensemble des tests, la modalité de réponse la plus souvent proposée est la dénomination suivie par la complétion de phrases et la désignation d'image sur consigne orale.

Concernant les tests ciblant spécifiquement les mathématiques, deux des trois tests proposent de répondre en complétant un énoncé : le test Tedimaths Grands propose de compléter l'énoncé sans proposer de choix, contrairement à l'Examaths 8-15 qui en propose plusieurs à l'écrit. Tedimaths Grands dispose d'un autre mode de réponse qui est la dénomination : l'enfant doit donner spontanément une réponse à la question posée par l'examineur. Enfin, Examaths 5-8 propose à l'enfant de la désignation ainsi que de la manipulation sur consigne orale.

Le troisième paramètre intéressant est le nombre d'occurrences par terme. En effet, en ayant relevé chaque mot de vocabulaire lié aux mathématiques et le nombre de fois que celui-ci apparaît dans l'ensemble des épreuves proposées dans les tests analysés, nous pouvons établir un classement des termes les plus récurrents, présenté dans le Tableau 4.

Tableau 4. Termes liés aux mathématiques les plus présents dans l'ensemble des épreuves des tests analysés. Le nombre d'occurrences parmi tous les tests étudiés apparaît entre parenthèses.

Termes les plus présents dans les tests		
- Combien (183)	- Même (22)	- Rond (15)
- Plus (115)	- Opération (21)	- Parallélépipède (14)
- Le plus (99)	- Chaque (20)	- Fois plus (14)
- Plus que (58)	- Unité (19)	- Calcul (14)
- Moins (45)	- Egal (18)	- Donner (13)
- Tous (43)	- De plus que (18)	- Rectangle (13)
- En tout (29)	- Ensemble (17)	- Rester (13)
- Carré (24)	- Euro (16)	- Premier (12)
- Dizaine (24)	- Autant (15)	- Beaucoup (11)
- Fois (24)	- Chacun (15)	- Centaine (11)

Nous nous sommes ensuite intéressés plus particulièrement aux épreuves qui évaluent spécifiquement le vocabulaire mathématique, afin de constater les termes les plus présents dans ces épreuves.

Au total, les termes les plus testés sont les suivant : *autant* (présent dans six épreuves sur neuf), *même*, *double*, *le plus*, *premier*, *tous/toutes*, *fois plus* (présents dans trois épreuves sur neuf) et *plus que*, *moitié*, *pareil*, *le moins*, *parmi*, *inférieur*, *dont*, *beaucoup* (présents dans deux tests sur neuf).

Il est intéressant de noter que dans les épreuves spécifiques ciblant le vocabulaire mathématique au sein de batteries de cognition mathématique, les termes de la géométrie sont particulièrement testés, contrairement aux épreuves de lexique mathématique contenues dans des batteries ciblant le langage oral ou écrit. Par exemple, les termes tels que *trapèze*, *diagonale*, *hexagone*, *aire*, *périmètre* sont proposés à l'évaluation.

Cela se vérifie également pour les termes liés à l'arithmétique tels que *multiple*, *quotient*, *produit*, *dividende* ou encore *fraction*, qui apparaissent uniquement dans les batteries évaluant la cognition mathématique.

Parmi les épreuves spécifiquement dédiées à l'évaluation du vocabulaire mathématique, Examaths 8-15 est la batterie qui teste le plus de termes différents : 21 termes sont proposés à

l'évaluation. La batterie Tedimaths Grands proposent onze termes différents et Examaths 5-8 en propose dix-sept. En moyenne, les batteries de cognition mathématique proposent seize termes différents dans l'épreuve de vocabulaire mathématique.

Les batteries ciblant le langage oral ou le langage écrit sont assez inégales en ce qui concerne le nombre de termes testés dans l'épreuve de vocabulaire mathématique. En effet, la batterie Bohem 3 propose dix termes différents alors que Isadyle n'en propose que trois. En moyenne, les batteries non destinées à l'évaluation des compétences mathématiques proposent sept termes différents dans l'épreuve de vocabulaire mathématique.

Enfin, nous avons établi une liste répertoriant les épreuves où nous pouvons rencontrer du lexique mathématique au sens large (mots-nombres et vocabulaire liés aux mathématiques).

Nous retrouvons ainsi du lexique mathématique dans les épreuves suivantes en ce qui concerne le code verbal : chaîne numérique, dénombrement, décision numérique orale, jugement de grammaticalité, vocabulaire mathématique, géométrie, résolution de problèmes, comparaison de nombres présentés à l'oral ou à l'écrit (en toutes lettres) et faits arithmétiques.

Concernant les épreuves ciblant l'évaluation du code arabe, le lexique mathématique intervient dans les épreuves suivantes : numération décimale et entière, transcodage, fractions, et stratégies opératoires.

Enfin, les épreuves ciblant l'évaluation des compétences analogiques dans lesquelles intervient le lexique mathématique sont les suivantes : subitizing, estimation, ligne numérique mentale.

Il est important de souligner le fait que ces épreuves n'ont pas vocation à évaluer le lexique mathématique, à l'exception de l'épreuve de vocabulaire mathématique. Le lexique mathématique y est présent sans faire l'objet d'une évaluation particulière.

Cette analyse détaillée de l'existant nous a permis d'élaborer deux épreuves qui pourront être intégrées à la batterie BCM.

.2. Epreuve de comptage du BCM

L'épreuve de comptage comporte 7 items qui permettent de tester les différents niveaux de développement de la chaîne numérique verbale selon les critères établis par Fuson et ses collaborateurs en 1982.

Le premier item correspond aux stades de la chaîne chapelet et insécable. Les items deux, trois et quatre correspondent au stade de la chaîne sécable. Trois items sont nécessaires pour évaluer ce stade car il faut pouvoir évaluer différentes compétences :

- Compter le plus loin possible en partant d'une borne inférieure donnée
- Compter jusqu'à une borne supérieure donnée en partant du début de la chaîne numérique
- Compter entre deux bornes (une borne inférieure et une borne supérieure)

Ils permettent de vérifier que l'enfant a bien individualisé chaque mot-nombre, qu'il est en mesure de commencer la chaîne numérique à n'importe quel endroit (et non du début) et de la terminer à un endroit précis (et non lorsque sa connaissance de la chaîne s'arrête).

Les items cinq et six correspondent au stade de la chaîne dénombrable. Pour finir, l'item sept correspond au stade de la chaîne bidirectionnelle. L'ensemble de l'épreuve est présenté dans l'Annexe 2.

Enfin, les nombres utilisés dans l'épreuve permettent de tester la chaîne numérique jusqu'à 24 concernant les items 2 à 7 pour les patients scolarisés en grande section de maternelle, afin de correspondre aux enseignements et attendus scolaires (chaîne numérique jusqu'à 30 pour les enfants en maternelle). Pour les enfants scolarisés dans les classes supérieures (à partir du CP), les nombres proposés vont au-delà de 30 puisque les enseignements et attendus scolaires sont supérieurs. Un exemple est présenté dans le Tableau 5.

Toutefois, il est important de noter qu'ici les nombres utilisés dans l'épreuve de comptage sont des suggestions. Ils seront amenés à être modifiés une fois l'étalonnage réalisé.

Tableau 5. Item 4, correspondant au niveau de la chaîne sécable selon Fuson et al. (1982) et testant des nombres différents selon le niveau scolaire.

Item 4 : Compter entre deux bornes

Consigne : *Peux-tu compter de 6 à 24 ? maternelle de 16 à 71 ? CP et +*

Consigne de substitution : Compte en partant de 6/16 et tu t'arrêtes à 24/71.

.3. Epreuve de résolution de problèmes du BCM

L'épreuve de résolution de problèmes comporte trois niveaux de complexité croissante. Chaque niveau est constitué de 31 énoncés, séparés en 2 parties : les problèmes additifs et les problèmes multiplicatifs. Un exemple d'énoncé de chaque niveau est présenté dans le Tableau 6.

L'ensemble de l'épreuve est présenté dans l'Annexe 3.

Tableau 6. Enoncé d'un problème de type additif proposé sous différentes formes selon le niveau. Le résultat et l'opération à réaliser pour résoudre cet énoncé sont les mêmes pour tous les niveaux.

Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3
Léo avait 6 billes. Puis, il a perdu 2 billes. Combien Léo a-t-il de billes maintenant ?	Léo avait 6 billes dans sa poche mais il en a enlevé 2. Combien Léo a-t-il de billes maintenant ?	Léo a des billes. Avant de retirer 2 billes de sa poche, il en avait 6. Combien Léo a-t-il de billes maintenant ?

Le vocabulaire mathématique contenu dans les énoncés varie d'un niveau à l'autre. Le premier niveau comporte 14 mots spécifiques aux mathématiques, le deuxième niveau en comporte 26 et le troisième 20. Ces termes sont recensés dans le Tableau 7.

Tableau 7. Termes présents dans les énoncés de l'épreuve de résolution de problèmes.

Niveau 1		Niveau 2		Niveau 3	
- Perdre	- Enlever	- Chaque	- Retirer	- Plusieurs	
- Même	- Perdre	- Double	- Offrir	- Chaque	
- Partager	- Offrir	- Moitié	- Perdre	- Double	
- Gagner	- Autant	- Fois plus	- Tomber	- Moitié	
- Ensemble	- Même	- Tous	- Equitablement	- D'entre elles	
- Au total	- Répartir	- De plus	- Autant	- Fois plus	
- De plus	- Partager	- Chacun	- Répartir	- De plus	
- Quelques	- Gagner	- Quelques	- Partager	- Chacun	
- Parmi	- Prendre	- Parmi	- Remporter	- Reste	
- Reste	- Trouver	- D'entre elles	- Recevoir	- Parmi	
- De moins	- Voler	- Reste	- Trouver	- Compter	
- Chaque	- Ensemble	- De moins	- Acheter	- De moins	
- Fois plus	- En tout	- Compter	- Obtenir		
- Fois moins			- Gagner		
			- Voler		
			- Ensemble		
			- En tout		

Note. Les termes similaires sont identifiés par une même couleur.

Discussion

Le lexique mathématique regroupe deux grandes catégories de termes : ceux de la chaîne numérique verbale que l'on appelle les mots-nombres et ceux issus du vocabulaire spécifique aux mathématiques. Nous avons pu voir précédemment les particularités d'acquisition des termes de chaque catégorie et leur intérêt. Nous nous sommes ensuite penchés sur l'évaluation du lexique mathématique au sein des bilans orthophoniques dans le but de répondre à notre question de recherche : quelle est la place du lexique mathématique lors d'une évaluation orthophonique de la cognition mathématique ?

Pour cela nous avons analysé un large échantillon de tests et batteries destinés à l'évaluation de l'enfant dans divers domaines (langage oral, langage écrit, cognition mathématique) et parfois non spécifiquement destinés aux orthophonistes (par exemple, la NEPSY).

Les résultats obtenus suite à ces analyses nous ont permis d'observer certains phénomènes intéressants et importants par rapport à l'évaluation du lexique mathématique. Ainsi deux épreuves ont été créées incluant du lexique mathématique : une épreuve évaluant la chaîne numérique verbale et une épreuve de résolution de problèmes. Ces épreuves sont proposées dans la cadre de la création d'une nouvelle batterie d'évaluation de la cognition mathématique : le BCM.

Dans la partie qui suit, nous allons confronter les résultats obtenus lors de notre travail d'analyse et de création d'épreuves aux hypothèses formulées précédemment.

.1. La place du lexique mathématique dans les batteries et tests existants.

Notre première hypothèse était la suivante : *Nous supposons que l'évaluation du vocabulaire lié aux mathématiques est peu présente dans les batteries d'évaluation des compétences mathématiques existantes.*

Nous avons constaté que parmi les 22 tests analysés, 59% sont des tests non spécifiques à l'évaluation des mathématiques. Il apparaît donc que le lexique mathématique n'est pas spécifique aux tests et batteries évaluant les compétences mathématiques. Au contraire, le lexique mathématique se révèle plus fréquemment employé dans des tests non spécifiques, dans notre échantillon de tests analysés.

Cela peut se nuancer par le fait qu'il y a davantage de tests ciblant le langage oral ou écrit que de tests ciblant les mathématiques dans notre échantillon de 22 tests. Pourtant la prévalence des TAM est similaire à celle des troubles spécifiques du langage écrit, nous pourrions donc nous attendre à une offre d'outils d'évaluation identique, mais ce n'est pas le cas.

Bien que l'offre d'outils d'évaluation en cognition mathématique soit assez fournie comme l'expliquent Lafay et Catini (2018), elle reste inférieure à celle des outils évaluant le langage oral ou écrit. En effet, elles recensent quatorze outils d'évaluation de l'enfant de quatre à dix-huit ans, spécialisés dans la cognition mathématique. Au département d'orthophonie de Lille, une cinquantaine de tests évaluant le langage oral ou écrit sont disponibles à la consultation, pour cette même tranche de population. Cette inégalité d'offres d'outils d'évaluation entre le langage oral et écrit et la cognition mathématique peut donc expliquer le résultat obtenu suite à notre analyse, bien que ce ne soit pas la seule justification possible, comme nous allons le voir par la suite.

Nous l'avons évoqué plus tôt, le lexique mathématique regroupe les mots-nombres et le vocabulaire spécifique aux mathématiques. Nous nous sommes donc interrogés sur la présence d'épreuves évaluant ces deux catégories au sein des tests étudiés.

Parmi les 22 tests analysés, nous avons constaté que 36% d'entre eux proposent une évaluation de la chaîne numérique verbale. En regardant plus précisément les tests proposant une telle épreuve, les pourcentages sont éloquentes. Dans les tests spécifiquement mathématiques, le taux de présence d'une épreuve de chaîne numérique monte à 67%. Comparativement, cette épreuve n'est présente que dans quinze pour cent des tests ciblant le langage oral ou écrit.

C'est une épreuve que l'on ne retrouve que très peu dans les tests ciblant le langage oral ou le langage écrit, contrairement aux tests ciblant les compétences mathématiques.

L'évaluation de la chaîne numérique est donc une épreuve particulièrement présente dans les tests spécifiques aux mathématiques.

Nous avons pratiqué les mêmes analyses concernant le vocabulaire lié aux mathématiques (tel que les quantificateurs, les adjectifs ordinaux...).

Parmi tous les tests analysés, 41% d'entre eux proposent une évaluation du vocabulaire lié aux mathématiques, soit 9 tests sur 22. Ce résultat laisse penser que l'épreuve de vocabulaire mathématique est une épreuve relativement présente dans les batteries d'évaluations. Toutefois, il est nécessaire de s'intéresser plus précisément aux tests évaluant la cognition mathématique.

On constate que parmi ces tests, seulement 33% proposent une épreuve de vocabulaire mathématique, soit 3 tests (Tedimaths Grands, Exmaths 5-8 et Examaths 8-15) sur 9.

L'épreuve évaluant le vocabulaire mathématique est donc moins fréquemment retrouvée dans ces tests que celle évaluant la chaîne numérique verbale. Cela nous apporte un élément de réponse quant à notre première hypothèse.

En effet, 67% des outils d'évaluation de la cognition mathématique retenus pour notre étude ne proposent pas d'épreuve évaluant le vocabulaire mathématique. Elle n'apparaît pas comme une épreuve incontournable dans les batteries d'évaluation de la cognition mathématique.

Notre première hypothèse peut donc être confirmée d'après les analyses réalisées sur les tests sélectionnés pour ce travail. L'épreuve spécifique de vocabulaire lié aux mathématiques est une épreuve peu présente dans les batteries évaluant la cognition mathématique.

Les tests Tedimaths Grands, Examaths 5-8 et Examaths 8-15 évaluent principalement le vocabulaire mathématique sur le versant réception, par des tâches de complétion d'énoncés et de désignation. Seule la batterie Tedimaths Grands propose une évaluation du lexique sur les deux versants, avec notamment une tâche de dénomination. Notre deuxième hypothèse « *nous supposons que l'évaluation du vocabulaire mathématique est proposée selon les mêmes modalités que celles du lexique dans les batteries de langage oral* » est en partie validée. Il s'agit bien des mêmes modalités (dénomination et désignation) qui permettent d'évaluer les deux versants (compréhension et production). Toutefois il faut noter que les deux versants ne sont pas systématiquement évalués conjointement.

C'est également le constat qui est établi pour les tests de langage oral ou langage écrit : le versant compréhension est le plus sollicité lors d'une épreuve de vocabulaire mathématique.

Nous allons à présent étudier plus en détail les résultats concernant les tests évaluant la cognition mathématique. Nous constatons que ce sont ceux les plus récents et issus du courant cognitiviste qui proposent une épreuve évaluant le vocabulaire mathématique. En effet, nous ne retrouvons une telle épreuve que dans les batteries suivantes : Tedimaths Grands publiée en 2015, Examaths 8-15 publiée en 2016 et Examaths 5-8 publiée en 2021.

L'épreuve de vocabulaire lié aux mathématiques est donc assez récente dans les batteries dédiées à l'évaluation des mathématiques. Avant, les batteries étaient issues du courant

piagétien (comme l'UDN II, publié en 1999 par exemple). Ces batteries n'étaient donc pas fondées sur des modèles cognitifs.

Or, les batteries les plus récentes de cognition mathématique s'appuient sur les modèles théoriques cognitifs, notamment celui du Triple Code de Dehaene (1992) avec le code verbal, arabe et analogique. Ces batteries proposent donc des épreuves permettant d'évaluer les trois codes afin de proposer une évaluation la plus exhaustive possible pour permettre à l'orthophoniste de mettre en place une démarche hypothético-déductive et d'identifier l'origine des difficultés. Cela justifie alors la présence d'une épreuve évaluant le vocabulaire mathématique au sein des batteries les plus récentes.

Concernant le vocabulaire présent dans ces épreuves spécifiques, nous constatons que certains termes sont communs aux batteries ciblant le langage oral ou écrit et à celles ciblant les compétences mathématiques. Il s'agit de termes tels que *autant, même ou double*, par exemple, qui sont assez généraux.

Toutefois, dans les batteries de cognition mathématique, les termes proposés au cours de l'épreuve de vocabulaire mathématique sont plus spécifiques : arithmétique, géométrie, par exemple. Cela ne se vérifie pas dans les batteries de langage oral ou écrit.

Il apparaît donc que les épreuves de vocabulaire mathématique proposées dans les batteries de cognition mathématique sont plus approfondies en termes de spécificité du vocabulaire proposé.

Ces propos peuvent être appuyés par les résultats obtenus quant à la diversité des termes proposés au sein des épreuves de vocabulaire mathématique. En effet, les batteries de langage oral ou écrit proposent en moyenne sept termes différents sur l'ensemble de l'épreuve de vocabulaire mathématique, quand en moyenne les batteries de cognition mathématique en proposent seize.

Nous nous apercevons donc que dans les épreuves de vocabulaire mathématique, que ce soit dans les tests de langage oral et langage écrit ou dans les tests de cognition mathématique, peu de termes sont testés. Pourtant le vocabulaire des mathématiques représente un champ lexical très vaste.

Proposer au patient une épreuve de vocabulaire mathématique telle qu'elle peut exister dans les batteries analysées ne permet donc pas d'évaluer de façon approfondie sa connaissance du vocabulaire mathématique.

De plus, en proposant une épreuve spécifique, avec une modalité de réponse de type désignation d'image sur consigne orale ou complétion d'énoncé comme c'est le cas pour les épreuves des batteries mathématiques existantes, il n'est possible de tester qu'une petite partie du lexique mathématique, en réception. En effet, il est difficile d'imager certains mots issus du vocabulaire mathématique (par exemple : *quotient*), ils ne peuvent donc pas être proposés dans les épreuves de vocabulaire mathématique telles qu'elles sont actuellement construites.

L'épreuve n'est donc pas vraiment représentative des compétences de l'enfant.

En revanche, si le lexique mathématique est pris en compte dans toutes les épreuves où il apparaît, il est alors possible de tester un champ lexical plus vaste.

Cette proposition nous permet d'aborder notre troisième hypothèse qui était la suivante : *Nous supposons que le vocabulaire mathématique intervient dans de nombreuses épreuves au sein d'une batterie d'évaluation de la cognition mathématique.*

Nous avons observé que le lexique mathématique est présent dans de nombreuses épreuves du bilan de cognition mathématique. Comme nous l'avons précisé précédemment, ces épreuves n'ont pas vocation d'évaluer la maîtrise du vocabulaire mathématique. Il s'agit juste d'un input ou d'un output verbal qui de ce fait sollicite le code verbal. L'hypothèse avancée peut donc en partie être vérifiée. Le lexique mathématique intervient effectivement dans de nombreuses

épreuves lors d'un bilan de la cognition mathématique mais il ne s'agit là que d'une présence et non d'une cible d'évaluation.

Certaines de ces épreuves sollicitent les mots-nombres, tels que le calcul mental, les faits arithmétiques ou encore le transcodage (lecture et dictée de grands nombres). D'autres sollicitent le lexique mathématique tels que la numération fractionnaire (ex. *quart, tiers, moitié, demi*), numération décimale (ex. *dixième, millième*), le système en base dix (ex. *unité, dizaine, centaine*), la comparaison de quantités analogiques ou la comparaison nombre oral/quantité analogique (ex. montrer *le plus*), la géométrie (ex. calculer *l'aire, le périmètre, losange*).

Lorsque l'on prend en compte l'ensemble des épreuves où il est possible de rencontrer du lexique mathématique, nous nous apercevons que sur la totalité d'un bilan, le vocabulaire mathématique proposé à l'enfant dépasse celui évalué dans l'épreuve de lexique mathématique.

De ce fait, la présence d'une épreuve spécifique de vocabulaire mathématique dans une nouvelle batterie d'évaluation de la cognition mathématique est discutable. Toutefois, nous avons apprécié précédemment l'enjeu que représente l'apprentissage du lexique mathématique dans la réussite scolaire d'un enfant. Il paraît donc tout de même important d'évaluer cette compétence lors d'un bilan mathématique.

De plus, il est intéressant d'évaluer le lexique mathématique lors des bilans orthophoniques puisqu'il intervient dans différents contextes et non pas seulement lorsqu'il est question des mathématiques. On le constate avec les résultats obtenus lors de notre analyse : 59% du vocabulaire mathématique relevé est issu de tests de langage oral ou écrit. Pourtant, seulement 41% de ces mêmes tests proposent une épreuve spécifique de vocabulaire mathématique. Il apparaît donc qu'il est présent dans les épreuves de ces batteries (sans pour autant être évalué spécifiquement). Donc si l'enfant présente un déficit au niveau du lexique mathématique, cela pourrait potentiellement expliquer des scores déficitaires dans les épreuves le sollicitant dans les batteries de langage oral ou écrit, ainsi que les difficultés de compréhension de consignes en classe (phonologie : *enlève le premier son, combien y a-t-il de sons en tout ?* ; en histoire : ranger par *ordre chronologique* ; en sport : courir *jusqu'au troisième plot*, par exemple).

Cela peut également influencer les résultats obtenus aux épreuves sollicitant le lexique mathématique (mots-nombres et vocabulaire spécifique) lors d'un bilan de cognition mathématique.

La batterie BCM se veut exhaustive afin de proposer aux orthophonistes un outil complet permettant de mettre en place une démarche hypothético-déductive. En effet, avoir plusieurs épreuves à disposition du professionnel est un plus, il peut alors construire son évaluation en sélectionnant les épreuves les plus pertinentes en fonction de la plainte et des résultats obtenus aux différentes épreuves proposées.

L'outil d'évaluation a pour but d'identifier la cause sous-jacente des difficultés relevées au cours du bilan. Ensuite, l'orthophoniste pourra poser un diagnostic orthophonique. Ce diagnostic peut notamment être celui d'un TAM primaire ou secondaire (en cas de TDL par exemple). Des épreuves doivent donc être proposées afin d'effectuer un diagnostic différentiel.

Si lors du bilan on retrouve des résultats chutés à toutes les épreuves faisant intervenir du code verbal et plus particulièrement du lexique mathématique on peut se poser la question d'un déficit au niveau du langage oral (notamment un TDL comme vu dans la partie théorique, ces enfants ont d'importantes difficultés dans toutes les épreuves impliquant le code verbal). Il est alors intéressant de proposer des évaluations complémentaires, en l'occurrence un bilan orthophonique du langage oral, afin de vérifier l'hypothèse d'un trouble du langage oral avec un déficit lexical plus global, qui expliquerait les difficultés liées au lexique mathématique.

C'est pourquoi l'évaluation du lexique mathématique semble incontournable dans cette nouvelle batterie. Toutefois, au vu des résultats de l'analyse des tests existants, il apparaît essentiel de repenser l'évaluation de cette compétence au sein de la batterie BCM.

.2. La place du lexique mathématique au sein du BCM

Les deux épreuves créées dans le cadre de ce travail sont prévues pour être informatisées. Cela permet d'assurer les variables psychométriques des épreuves notamment la fidélité inter-juge. Ce support informatisé permet également de prendre en compte le temps de réponse de l'enfant. L'intérêt de proposer une épreuve chronométrée est que, comme expliqué dans la partie théorique, les enfants présentant un TAM peuvent avoir de bons scores mais être très lents (Lafay et al., 2014). Il est donc dans l'intérêt de l'évaluation de prendre en compte cette mesure en plus des résultats quantitatifs et de l'analyse qualitative.

.2.1. Epreuve de comptage

.2.1.1. Intérêts d'une épreuve de comptage au sein du BCM

L'épreuve proposée dans le cadre de ce travail contient sept items permettant d'évaluer les cinq étapes successives de l'acquisition de la chaîne numérique d'après Fuson (1982). Cela permet de placer l'enfant sur le continuum de l'apprentissage de la chaîne numérique et ainsi savoir à quel stade il se situe et quelles sont les compétences qui devront être travaillées en séances d'orthophonie si l'enfant débute un suivi à l'issue du bilan.

Il s'agit donc d'une épreuve relativement rapide qui fournit des informations importantes pour la prise en charge, puisque seulement sept items permettent de tester l'ensemble des compétences attendues en ce qui concerne le comptage.

Une épreuve testant la connaissance de la chaîne numérique verbale est incontournable dans une batterie basée sur le courant cognitiviste et s'appuyant sur des modèles théoriques récents.

Le comptage est contenu dans le code verbal d'après le modèle du Triple Code de Dehaene (1992). Les trois codes constituant ce modèle sont interconnectés. Un déficit dans l'un des codes aura donc des répercussions sur les deux autres.

Dans le modèle développemental de von Aster et Shalev (2007), la chaîne numérique est l'une des premières compétences acquises par l'enfant. Cette première étape est ensuite suivie du développement de compétences plus complexes, notamment le transcodage ou encore le dénombrement qui allie la maîtrise de la chaîne numérique et du pointage. Si les épreuves évaluant le dénombrement ou le transcodage, par exemple, sont échouées il convient de tester les étapes précédentes dans le modèle développemental : la connaissance de la chaîne numérique verbale.

L'orthophoniste pourra s'appuyer sur des résultats quantitatifs concernant le score obtenu et le temps de réponse mais également sur des résultats qualitatifs en renseignant ses observations dans la partie qui y est destinée. Plusieurs observations possibles sont proposées afin de permettre à l'orthophoniste de réaliser une analyse qualitative la plus précise possible.

L'enfant pourra être comparé aux âges de références établis après l'étalonnage. L'orthophoniste saura alors quels stades de la chaîne numérique restent à travailler lors de l'intervention orthophonique.

Nous savons que la chaîne numérique peut être atteinte dans différentes pathologies telles que le TDL, où l'enfant énonce plus lentement la chaîne numérique qui est significativement plus courte que les enfants tout-venant, ou encore dans les TAM où les enfants présentent un déficit lorsqu'il s'agit de dénommer les quantités (Willburger et al., 2008).

Pourtant il s'agit d'une compétence essentielle pour les acquisitions mathématiques. La maîtrise des mots-nombres est la base de nombreux autres apprentissages plus complexes tels que le transcodage et les faits arithmétiques.

L'épreuve créée dans le cadre de ce mémoire répond aux attentes en ce qui concerne l'évaluation du comptage puisqu'elle propose d'évaluer de façon complète les étapes d'acquisition de la chaîne numérique. Tous les stades d'acquisitions peuvent être évalués, contrairement aux épreuves existantes qui ne testent que certains stades.

Elle permet donc d'évaluer une partie du lexique mathématique, en l'occurrence la connaissance des mots-nombres.

Néanmoins, notre épreuve présente quelques limites.

.2.1.2. Limites de l'épreuve créée

Bien que complète et basée sur des modèles cognitifs actuels, notre épreuve pourrait être améliorée sur certains points.

En effet, les nombres proposés dans les différents items sont tous inférieurs à cent, ce qui n'est pas forcément adapté à un public tel que les collégiens ou les lycéens. De plus, ils pourraient trouver l'épreuve trop facile ou trop infantilisante. Il serait donc nécessaire d'adapter l'épreuve pour des patients plus âgés.

L'ensemble des primitives lexicales ne sont pas exploitées dans cette épreuve. Par exemple, les multiplicateurs ne sont pas proposés, car ils ne se prêtent pas à une épreuve évaluant la chaîne numérique.

Les propositions d'observations ne sont pas exhaustives et pourraient être complétées, afin d'obtenir une analyse qualitative la plus précise possible. Cela permettrait à l'orthophoniste de gagner du temps lors de la passation et de la cotation, en cochant les cases adaptées plutôt que d'avoir à réfléchir aux observations complémentaires à celles proposées et de les renseigner par écrit.

L'épreuve contient peu d'items mais ils s'enchaînent vite. Selon le mode de passation retenu une fois l'étalonnage réalisé, et notamment si c'est celui qui présente les items en ordre croissant qui est retenu, le patient devra présenter de bonnes capacités d'attention.

.2.2. Epreuve de résolution de problèmes

.2.2.1. Intérêts d'une épreuve de résolution de problèmes au sein du BCM

L'épreuve créée dans le cadre ce travail est un exemple de ce qui pourrait être proposé dans la batterie BCM : des épreuves où il est possible d'ajuster le niveau de difficulté des items afin d'évaluer une certaine compétence (ici le lexique mathématique) de façon transversale. Le principe appliqué dans cette épreuve pourrait donc l'être dans les autres épreuves de la batterie BCM (numération entière par exemple).

L'épreuve de résolution de problèmes est constituée de 3 niveaux contenant chacun 31 énoncés additifs et multiplicatifs. Si nous nous référons au Triple Code de Dehaene, la résolution de problèmes est une épreuve contenue dans le code verbal, au même titre que l'épreuve de lexique mathématique. En variant le critère de difficulté « lexique mathématique » d'un niveau à l'autre, l'évaluation de celui-ci est rendue possible, en plus de l'objectif initial de l'épreuve, à savoir l'évaluation de la résolution de problèmes.

En choisissant d'évaluer le lexique mathématique à travers l'épreuve de résolution de problèmes, nous nous adaptons, comme pour l'épreuve de comptage, aux contraintes du bilan. Avec ce moyen innovant d'évaluer des compétences, la durée du bilan pourra être optimisée.

Ici l'épreuve teste principalement la résolution de problèmes : les stratégies mises en place lors de la résolution d'un énoncé de problèmes, gestion de l'énoncé... mais également le lexique mathématique en contexte si l'on ajuste le curseur de difficulté lié à celui-ci. Dans notre proposition, c'est le seul curseur qui peut être modifié. Le niveau linguistique est contrôlé. Les phrases sont de difficultés et de longueurs similaires d'un niveau à l'autre.

La difficulté du niveau est donc uniquement liée au lexique mathématique présent dans celui-ci. Si le patient échoue aux niveaux les plus complexes en termes de lexique mathématique mais qu'il réussit à résoudre l'énoncé de problème lorsque le lexique est plus simple et moins varié, l'orthophoniste pourra, dans une démarche hypothético-déductive, proposer une évaluation complémentaire du langage oral, afin de voir s'il s'agit d'un déficit spécifique en lexique mathématique ou si ce déficit en lexique mathématique s'inscrit dans un déficit lexical global.

Concernant le vocabulaire présent dans l'épreuve créée, il est assez similaire à celui proposé dans les épreuves existantes (ex. *autant, plus que*) pour ce qui concerne le premier niveau. Dans les niveaux suivants, de nouveaux termes ont été ajoutés afin d'avoir l'épreuve la plus complète possible et évaluant le plus de mots possible. Les mots proposés en niveaux deux et trois sont des synonymes de ceux du niveau un (par exemple : *perdre – enlever – retirer*). C'est donc la fréquence et la variété des mots mais également le fait qu'ils puissent induire une opération inadéquate (Combien de billes Julie *gagne-t-elle de moins* que Léo ?) qui fait la complexité du niveau.

Comme nous l'avons vu précédemment, la connaissance des mots-nombres mais également celle du vocabulaire mathématique est importante dans la réussite des mathématiques.

Notre épreuve permet d'évaluer le lexique mathématique par le biais de l'épreuve de résolution de problèmes. En réduisant le nombre d'épreuves proposées au patient et donc la durée de passation du bilan, on permet à l'orthophoniste de mener une évaluation efficace sans entraîner de fatigue chez le patient qui serait causée par une accumulation d'épreuves et qui pourrait influencer ses résultats.

.2.2.2. Limites de l'épreuve créée

L'évaluation du lexique permise par la création de niveaux de complexité au sein de l'épreuve de résolution de problèmes n'est toutefois pas exhaustive.

Le vocabulaire testé est limité (quatorze à trente mots différents selon le niveau) comparativement à la multitude de termes que contient le champ lexical des mathématiques.

Pour compléter cette évaluation, il pourrait être envisagé de proposer un curseur de difficulté agissant sur le vocabulaire mathématique au sein d'autres épreuves de la batterie. Ainsi, il serait possible d'évaluer davantage de termes mathématiques différents (termes issus de la géométrie ou encore de la numération, par exemple). Cela permettrait également d'uniformiser la batterie. Cela constitue une piste de poursuite de cette étude : il serait intéressant de proposer des niveaux supérieurs sur le même principe que l'épreuve de résolution de problèmes présentée ici, dans d'autres épreuves de la batterie BCM.

.3. Ouverture

Nous avons vu ici que l'évaluation du lexique mathématique a sa place dans l'évaluation orthophonique de la cognition mathématique, mais si un déficit est observé dans ce domaine lors du bilan il faut pouvoir le prendre en charge ensuite lors de l'intervention orthophonique.

Après avoir étudié les batteries d'évaluation il est intéressant de se demander : *Qu'en est-il des moyens de rééducation du lexique mathématique ? L'offre de matériel répond-elle à ce besoin clinique ?*

Conclusion

L'orthophoniste, par son champ de compétences très étendu, est amené à réaliser des bilans de la cognition mathématique. L'objectif est alors d'évaluer les difficultés du patient, d'en trouver la cause sous-jacente et de proposer une intervention adaptée si besoin. Pour ce faire, il est important qu'il dispose d'outils complets et basés sur un courant théorique actuel.

Le travail présenté dans ce mémoire s'inscrit dans un projet de création d'une batterie d'évaluation de la cognition mathématique, le BCM, qui prend appui sur le modèle cognitif du Triple Code de Dehaene (1992).

Le travail d'analyse de l'existant et de création d'épreuves de ce mémoire se concentre sur le lexique mathématique. Après avoir analysé la place du lexique mathématique dans les batteries évaluant indifféremment le langage oral et écrit et la cognition mathématique, nous nous sommes plus particulièrement intéressés aux batteries de cognition mathématique existantes. Les analyses menées ont permis de constater que la chaîne numérique (partie importante du lexique mathématique) est très présente au sein des batteries de cognition mathématique, contrairement à l'évaluation du vocabulaire mathématique. Néanmoins, le vocabulaire mathématique intervient dans de nombreuses épreuves. Suite à ces analyses, deux épreuves ont pu être créées.

La première épreuve permet de tester la chaîne numérique verbale. Elle évalue les différentes étapes d'acquisition de la chaîne numérique, par le biais de sept items. L'épreuve est informatisée et prend en compte les temps de réponse de l'enfant. Des critères d'observation qualitative sont proposés afin de compléter l'évaluation quantitative des compétences de comptage de l'enfant et sa connaissance des mots-nombres.

L'épreuve de résolution de problèmes proposée permet de repenser la place du vocabulaire mathématique au sein d'une batterie de cognition mathématique. En effet, l'épreuve est proposée sur un support informatisé permettant ainsi d'ajuster certains critères de difficultés afin d'évaluer une compétence particulière, en l'occurrence le vocabulaire mathématique, au sein de l'épreuve de résolution de problèmes. Trois niveaux ont donc été créés, ils sont de complexité croissante et contiennent chacun trente-et-un items.

Toutefois ces épreuves restent perfectibles et devront être validées et normalisées auprès d'une large population afin de définir les scores seuils pathologiques et les âges de référence pour l'épreuve de comptage. Cela pourra faire l'objet d'un prochain mémoire universitaire.

Bibliographie

- American Psychiatric Association. (2015). *DSM-5-TR : Manuel diagnostique et statistique des troubles mentaux* (J. D. Guelfi & M. A. Crocq, Trad., 5e éd.). Elsevier Masson.
- Bates, E., Dale, P. S., & Thal, D. (1995). Chapter 4. Individual differences and their implications for theories of language development. Dans P. Fletcher & B. MacWhinney, *The Handbook of Child Language* (Basil Blackwell, p. 96-151).
- Butterworth, B. (2004). Developmental Dyscalculia. In *Handbook of mathematical cognition* (p. 14).
- Camos, V., Michel, F., Lacert, P., Bardi, A., & Laquière, C. (1998). Le dénombrement chez des enfants dysphasiques et des enfants dyspraxiques. *ANAE - Approche Neuropsychologique des Apprentissages chez l'Enfant*, 48, 86-91.
- 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.
- Deffrennes, C., De Clercq, M., Vallée, L., & Lemaître, M.-P. (2018). Troubles en mathématiques : Une origine multiple ? L'exemple des syndromes de Turner et de l'X Fragile. *Archives de Pédiatrie*, 25(3), 223-228.
- Dehaene, S. (1992). Varieties of numerical abilities. *Cognition*, 44(1-2), 1-42.
- Dehaene, S. (2018). *La bosse des maths* (2nde édition). Odile Jacob poche.
- Dehaene, S., Piazza, M., Pinel, P., & Cohen, L. (2003). Three Parietal Circuits for Number Processing. *Cognitive neuropsychology*, 20, 487-506.
- Donlan, C., Cowan, R., Newton, E. J., & Lloyd, D. (2007). The role of language in mathematical development: Evidence from children with specific language impairments. *Cognition*, 103(1), 23-33.
- Dunn, L. M., Theriault-Whalen, C. M., & Dunn, L. M. (1993). *Echelle de vocabulaire en images Peabody (EVIP)*.
- Durkin, K., Mok, P. L. H., & Conti-Ramsden, G. (2015). Core subjects at the end of primary school : Identifying and explaining relative strengths of children with specific language impairment (SLI). *International Journal of Language & Communication Disorders*, 50(2), 226-240.
- Fayol, M. (2018). *L'acquisition du nombre* (Presses Universitaires de France).
- Fazio, B. B. (1994). The counting abilities of children with specific language impairment : A comparison of oral and gestural tasks. *Journal of Speech and Hearing Research*, 37(2), 358-368.
- Fazio, B. B. (1996). Mathematical Abilities of Children With Specific Language Impairment. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 39(4), 839-849.

- Fazio, B. B. (1999). Arithmetic Calculation, Short-Term Memory, and Language Performance in Children With Specific Language Impairment : A 5-Year Follow-Up. *Journal of Speech, Language & Hearing Research*, 42(2), 420-431.
- Fuson, K. C. (1988). Early Relationships Among Sequence Number Words, Counting Correspondence, and Cardinality. In K. C. Fuson (Éd.), *Children's Counting and Concepts of Number* (p. 371-402). Springer.
- Fuson, K. C., Richards, J., & Briars, D. J. (1982). The Acquisition and Elaboration of the Number Word Sequence. In C. J. Brainerd (Éd.), *Children's Logical and Mathematical Cognition : Progress in Cognitive Development Research* (p. 33-92). Springer.
- Geary, D. C., Hoard, M. K., Nugent, L., & Bailey, D. H. (2012). Mathematical Cognition Deficits in Children With Learning Disabilities and Persistent Low Achievement : A Five-Year Prospective Study. *Journal of educational psychology*, 104(1), 206-223.
- Gelman, R., & Gallistel, C. R. (1978). *The child's understanding of number [Texte imprimé] / Rochel Gelman et C.R. Gallistel*. Harvard university press.
- Göbel, S. M., Watson, S. E., Lervåg, A., & Hulme, C. (2014). Children's Arithmetic Development : It Is Number Knowledge, Not the Approximate Number Sense, That Counts. *Psychological Science*, 25(3), 789-798.
- Gross-Tsur, V., Manor, O., & Shalev, R. S. (1996). Developmental Dyscalculia : Prevalence and Demographic Features. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 38(1), 25-33.
- Hall, N. E., & Segarra, V. R. (2007). Predicting academic performance in children with language impairment : The role of parent report. *Journal of Communication Disorders*, 40(1), 82-95.
- Ho, C. S.-H., & Fuson, K. C. (1998). Children's knowledge of teen quantities as tens and ones : Comparisons of Chinese, British, and American kindergartners. *Journal of Educational Psychology*, 90(3), 536-544.
- Izard, V., Sann, C., Spelke, E. S., & Streri, A. (2009). Newborn infants perceive abstract numbers. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(25), 10382-10385.
- JORF n°0251 du 26 octobre 2017—Texte n° 127—Avis relatif à l'avenant n° 16 à la convention nationale organisant les rapports entre les orthophonistes et l'assurance maladie, signée le 31 octobre 1996. (s. d.). Consulté le 11 mai 2021 sur <https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/jo/2017/10/26/0251>
- Kail, M. (2020). Chapitre II. De l'émergence de la syntaxe aux constructions grammaticales. In *L'acquisition du langage: Vol. 3e éd.* (p. 50-77). Presses Universitaires de France.
- Kaufmann, L., & von Aster, M. (2012). The Diagnosis and Management of Dyscalculia. *Deutsches Ärzteblatt International*, 109(45), 767-778.
- 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, 127-144.
- Lafay, A., Saint-Pierre, M.-C., & Macoir, J. (2014). L'évaluation des habiletés mathématiques de l'enfant : Inventaire critique des outils disponibles. *Glossa*, 116, 33-58.

- Lafay, A., Saint-Pierre, M.-C., & Macoir, J. (2015). Revue narrative de littérature relative aux troubles cognitifs numériques impliqués dans la dyscalculie développementale : Déficit du sens du nombre ou déficit de l'accès aux représentations numériques mentales ? *Canadian Psychology/Psychologie canadienne*, 56(1), 96-107.
- Lindsay, R. L., Tomazic, T., Levine, M. D., & Accardo, P. J. (1999). Impact of attentional dysfunction in dyscalculia. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 41(9), 639-642.
- Ministère de la santé, de la famille et des personnes handicapées. (2022, mai). *Arrêté du 25 juin 2002 modifiant la Nomenclature générale des actes professionnels des médecins, des chirurgiens-dentistes, des sages-femmes et des auxiliaires médicaux*. Consulté le 22 avril 2021 sur <https://solidarites-sante.gouv.fr/fichiers/bo/2002/02-26/a0262373.htm>
- Ministère de l'éducation nationale, de la jeunesse et des sports. (2015, novembre). *BO spécial du 26 novembre 2015 : programmes d'enseignement de l'école élémentaire et du collège*. Consulté le 21 avril 2022 sur <https://www.education.gouv.fr/au-bo-special-du-26-novembre-2015-programmes-d-enseignement-de-l-ecole-elementaire-et-du-college-3737>
- Ministère des solidarités et de la santé. (2017, octobre). *Avis relatif à l'avenant no 16 à la convention nationale organisant les rapports entre les orthophonistes et l'assurance maladie, signée le 31 octobre 1996*. Consulté le 02 avril 2021 sur https://www.ameli.fr/sites/default/files/Documents/348922/document/avenant_16_orthophonistes.pdf
- Noël, M.-P., & Rousselle, L. (2011). Developmental Changes in the Profiles of Dyscalculia : An Explanation Based on a Double Exact-and-Approximate Number Representation Model. *Frontiers in Human Neuroscience*, 5, 165.
- Nye, J., Fluck, M., & Buckley, S. (2001). Counting and cardinal understanding in children with Down syndrome and typically developing children. *Down Syndrome Research and Practice*, 7(2), 68-78.
- Plaza, M. (2016). Chapitre 7. Développement du langage oral. In *Troubles intellectuels et cognitifs de l'enfant et de l'adolescent* (p. 104-117). Lavoisier.
- Rubenstein, R. N., & Thompson, D. R. (2002). Understanding and Supporting Children's Mathematical Vocabulary Development. *Teaching Children Mathematics*, 9(2), 107-112.
- Rubinsten, O., & Henik, A. (2009). Developmental Dyscalculia : Heterogeneity might not mean different mechanisms. *Trends in Cognitive Sciences*, 13(2), 92-99.
- Soares, N., Evans, T., & Patel, D. R. (2018). Specific learning disability in mathematics : A comprehensive review. *Translational Pediatrics*, 7(1), 48-62.
- Van Nieuwenhoven, C., & Grégoire, J. (1999). *Le développement du comptage et son rôle dans les troubles numériques*.
- Van Vlierberghe, C. (2021). *Création d'une batterie d'évaluation de la cognition mathématique (BCM) : proposition d'une épreuve de résolution de problèmes arithmétiques verbaux*. [Mémoire de master, Université de Lille]. https://pepite-univ-lille.fr/RESTREINT/Mem_Ortho/2021/LILU_SMOR_2021_075.pdf

- von Aster, M. G., & Shalev, R. S. (2007). Number development and developmental dyscalculia. *Developmental Medicine and Child Neurology*, 49(11), 868-873.
- Willburger, E., Fussenegger, B., Moll, K., Wood, G., & Landerl, K. (2008). Naming speed in dyslexia and dyscalculia. *Learning and Individual Differences*, 18(2), 224-236.

Liste des annexes

Annexe n°1 : Tableau d'analyse des tests existants.

Annexe n° 2 : Epreuve de comptage BCM.

Annexe n°3 : Epreuve de résolution de problèmes BCM.