

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



MEMOIRE

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

Lucie CORPEL

soutenu publiquement en juin 2024

Création d'une batterie d'évaluation de la cognition mathématique : épreuves de chaîne numérique verbale et de dénombrement

MEMOIRE dirigé par

Sophie FRAGON, Orthophoniste, Saily sur la Lys, et enseignante, Département d'orthophonie,
Université de Lille

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

Lille – 2024

Résumé :

L'analyse des compétences mathématiques est indispensable pour les orthophonistes chargés de diagnostiquer les troubles d'apprentissage en mathématiques. Pour cela, les orthophonistes doivent utiliser des tests normés et standardisés. Cependant, les outils d'évaluation disponibles actuellement présentent souvent des limites. Ce mémoire s'inscrit donc dans une démarche de création d'une nouvelle batterie d'évaluation de la cognition mathématique, reposant sur des modèles théoriques récents et étant la plus exhaustive possible concernant les épreuves proposées. Le domaine de la cognition mathématique étant large, il est essentiel de proposer aux orthophonistes des outils concis et précis du fait de leurs qualités psychométriques, répondant à leurs contraintes temporelles. Plusieurs épreuves ont auparavant été créées par des étudiantes au cours de leurs mémoires à la suite d'une analyse des tests existants. Ce mémoire a pour objectif de réaliser la phase de prétest des épreuves de chaîne numérique et de dénombrement auprès d'enfants du CP au CM2. Le but de ces passations sera ensuite de vérifier le bon fonctionnement des épreuves et leur juste niveau de difficulté. L'analyse des données obtenues permettra de proposer des modifications de ces épreuves avant qu'elles ne soient présentées à une plus large population au cours de l'étalonnage. Ces épreuves doivent permettre aux orthophonistes de repérer rapidement les difficultés des enfants concernant la chaîne numérique et le dénombrement afin de poser un diagnostic et de proposer une prise en soin la plus adaptée possible.

Mots-clés :

Cognition mathématique, bilan orthophonique, chaîne numérique, dénombrement.

Abstract :

Analysis of mathematical skills is essential for speech and language therapists in diagnosing learning difficulties in mathematics. To do this, speech and language therapists need to use standardized tests. However, the assessment tools currently available often have limitations. This dissertation is therefore part of an effort to create a new battery for assessing mathematical cognition, based on recent theoretical models and as exhaustive as possible in terms of the tests proposed. As the field of mathematical cognition is broad, it is essential to offer SLTs concise and precise tools with psychometric qualities that meet their time constraints. Several tests have already been created by students during their dissertation, following an analysis of existing tests. The aim of this dissertation is to carry out the pre-test phase of the numerical counting and enumeration tests with children from CP to CM2. The aim of these tests will then be to check that they work properly and are at the right level of difficulty. Analysis of the data obtained will make it possible to propose modifications to these tests before they are presented to a wider population during calibration. These tests should enable speech and language therapists to identify children's difficulties with numerical counting and enumeration at an early stage, in order to make a diagnosis and propose the most accurate treatment.

Keywords :

Mathematical cognition, speech therapy assessment, counting, enumeration.

Table des matières

Introduction	1
Contexte théorique, buts et hypothèses	2
.1. Le bilan de la cognition mathématique	2
.1.1. Les grandes étapes du bilan de cognition mathématique	2
.1.2. Diagnostic orthophonique : difficultés ou trouble	3
.1.3. Définition du TAM dans le DSM-5	3
.1.4. Associations et comorbidités	4
.1.5. Evaluation de la chaîne numérique verbale et du dénombrement dans les bilans de cognition mathématique	4
.2. Le dénombrement, développement typique	5
.2.1. Définition du dénombrement	5
.2.2. Acquisition du dénombrement	6
.2.2.1. Le développement de la chaîne numérique verbale	7
.2.2.2. Le développement du pointage	8
.2.2.3. L'acquisition de la cardinalité.....	8
.2.2.4. Les stratégies de dénombrement.....	9
.3. Difficultés rencontrées dans l'acquisition du dénombrement.....	10
.3.1. Trouble des apprentissages en mathématiques et dénombrement	10
.3.2. Trouble développemental du langage oral et dénombrement	10
.3.3. Dyspraxie visuo-spatiale, troubles visuo-spatiaux et dénombrement.....	11
.3.4. Trouble déficitaire de l'attention avec ou sans hyperactivité (TDA/H) et dénombrement 12	
.4. Buts et hypothèses.....	12
Méthode.....	13
.1. Matériel	13
.1.1. Présentation de l'épreuve de chaîne numérique verbale.....	13
.1.1.1. Présentation du principe général.....	13
.1.1.2. Présentation des items.....	13
.1.1.3. Présentation de la cotation	13
.1.2. Présentation de l'épreuve de dénombrement	14
.1.2.1. Présentation du principe général.....	14
.1.2.2. Présentation des items.....	14
.1.2.3. Présentation de la cotation	14
.2. Population	14
.2.1. Recrutement des participants	14
.2.2. Critères d'inclusion.....	15

.2.3.	Caractéristiques de la population	15
.3.	Déroulement et organisation des passations	16
.4.	Traitement des données.....	16
Résultats	16
.1.	Résultats qualitatifs	17
.1.1.	Epreuve de chaîne numérique	17
.1.1.1.	Compréhension de la consigne	17
.1.1.2.	Stratégies perçues	17
.1.1.3.	Cotation.....	17
.1.2.	Epreuve de dénombrement.....	17
.1.2.1.	Compréhension de la consigne	18
.1.2.2.	Clarté des items et de la présentation générale	18
.1.2.3.	Stratégies perçues	18
.2.	Résultats quantitatifs	18
.2.1.	Epreuve de chaîne numérique verbale	18
.2.1.1.	Comptage endroit.....	18
.2.1.2.	Comptage envers.....	19
.2.1.3.	Comptage par pas.....	19
.2.2.	Epreuve de dénombrement.....	20
.2.2.1.	Moyennes et écarts-types	20
.2.2.2.	Difficulté et discrimination des items	20
.2.2.3.	Utilisation du pointage.....	21
Discussion	22
.1.	Analyse des données quantitatives.....	22
.1.1.	Epreuve de chaîne numérique verbale	22
.1.2.	Epreuve de dénombrement.....	22
.2.	Atouts des épreuves du BCM.....	23
.2.1.	Chaîne numérique verbale	23
.2.2.	Dénombrement.....	23
.3.	Limites et améliorations possibles	24
.3.1.	Population	24
.3.2.	Epreuve de chaîne numérique	24
.3.2.1.	Items.....	24
.3.2.2.	Cotation.....	25
.3.3.	Dénombrement.....	26
.3.3.1.	Items.....	26

.3.3.2. Présentation de l'épreuve	26
.3.3.3. Cotation.....	27
Conclusion.....	27
Bibliographie :.....	29
Annexes.....	35

Introduction

À la suite de l'Avenant 16 à la convention nationale organisant les rapports entre les orthophonistes et l'assurance maladie (2017), la terminologie de certains actes orthophoniques a évolué dans le but de s'adapter aux données scientifiques récentes. Ainsi, le 1er avril 2018, le « bilan de la dyscalculie et des troubles du raisonnement logico-mathématique » devient le « bilan de la cognition mathématique (troubles du calcul, troubles du raisonnement logico-mathématique...) ». Dans le même temps, les critères définis dans le Statistical Manual of Mental Disorders (DSM-5) de l'Association américaine de psychiatrie permettent de diagnostiquer le trouble des apprentissages mathématiques (TAM), touchant environ 6% de la population (Morsanyi et al., 2018).

Afin d'apporter les meilleurs soins à ses patients, l'orthophoniste doit évaluer de façon exhaustive et précise les différents domaines compris dans le large champ de la cognition mathématique. De nombreux outils sont disponibles, mais sont parfois anciens, non exhaustifs ou ne permettent pas d'évaluer une large tranche d'âge (Lafay & Cattini, 2018).

L'objectif de la création de cette batterie d'évaluation de la cognition mathématique est donc de proposer aux orthophonistes un outil d'évaluation récent, permettant d'évaluer une large tranche d'âge en se basant sur les modèles théoriques actuels, reconnus par la communauté scientifique. Lors de précédents mémoires, différentes épreuves ont été conçues dans le cadre de la création de cette batterie d'évaluation, nommée Bilan de Cognition Mathématique (BCM).

Ce mémoire portera plus particulièrement sur les épreuves évaluant la chaîne numérique verbale et le dénombrement. Il s'inscrit dans la suite du mémoire de Abochaar (2021) et de L'Hours (2022). Suite à l'étude des tests existants, deux épreuves ont été proposées.

Le dénombrement consiste en la mise en place de procédures permettant de quantifier précisément un ensemble d'objets présents. Il nécessite l'association d'un pointage ainsi que de la récitation de la chaîne numérique verbale (Fayol, 2008). L'acquisition du dénombrement chez l'enfant est une étape importante de son développement. Il s'agit de la première stratégie de calcul et d'un prédicteur des capacités mathématiques futures (Chevillard et al., 2022; Desoete et Grégoire, 2006).

L'objectif de ce mémoire sera d'effectuer un prétest des épreuves de cette batterie BCM, dans l'optique d'une future normalisation. Le prétest est une étape importante de la création d'une épreuve car cela permet d'étudier la formulation des consignes, la pertinence des items ainsi que leur degré de complexité, avant une normalisation à plus grande échelle. Pour cela, l'épreuve sera proposée à des enfants d'écoles élémentaires du CP au CM2.

Au travers du contexte théorique de ce mémoire, nous détaillerons le bilan de la cognition mathématique et plus précisément la place de l'évaluation du dénombrement et de la chaîne numérique verbale. Nous nous intéresserons ensuite à leur acquisition. Enfin nous aborderons diverses problématiques rencontrées dans l'acquisition du dénombrement et leurs origines. Les objectifs et hypothèses de ce mémoire seront ensuite explicités avant de soumettre la méthodologie adoptée pour le prétest des épreuves de chaîne numérique verbale et de dénombrement.

Contexte théorique, buts et hypothèses

Nous détaillerons dans cette partie le bilan de la cognition mathématique, les éléments qui le structurent, ainsi que les épreuves existantes permettant d'évaluer le dénombrement et la chaîne numérique verbale. Nous aborderons ensuite le développement typique du dénombrement et de la chaîne numérique ainsi que les difficultés les plus fréquentes qu'il est possible de rencontrer lors de leurs acquisitions.

.1. Le bilan de la cognition mathématique

Les mathématiques sont omniprésentes dans la société contemporaine, elles sont utilisées au quotidien pour calculer le temps et les distances, gérer l'argent et analyser les données afin de prendre des décisions (Landerl & Kölle, 2009). Certaines personnes éprouvent des difficultés dans ce domaine, c'est pourquoi il convient d'évaluer leurs compétences afin de déterminer l'origine de leurs difficultés et de leur proposer une prise en soin si nécessaire.

Comme le précise la convention nationale des orthophonistes, le bilan doit comporter différentes parties : l'objet du bilan, une anamnèse, un bilan des compétences évaluées, un diagnostic orthophonique ainsi que le projet thérapeutique.

.1.1. Les grandes étapes du bilan de cognition mathématique

Le premier temps du bilan correspond à l'anamnèse. Pendant ce temps, il s'agit de construire, avec l'enfant et ses parents, le récit de son trouble, de ses difficultés sous forme de dialogue (Kremer et al., 2016).

Comme défini dans le guide de la Haute Autorité de Santé (HAS) « Comment améliorer le parcours de santé d'un enfant avec troubles spécifiques du langage et des apprentissages » (Haute Autorité de Santé, 2017), l'anamnèse doit reprendre plusieurs éléments : la réception de la plainte, les antécédents familiaux de troubles des apprentissages, les antécédents personnels de l'enfant, en particulier périnataux ainsi que son développement, le parcours scolaire, les suivis médicaux et paramédicaux déjà effectués et les conditions de vie de l'enfant.

De plus, il peut être intéressant de questionner les parents et l'enfant plus précisément sur les mathématiques afin de collecter des informations qualitatives sur les compétences et difficultés de l'enfant dans ce domaine. Ménissier (2022) propose, par exemple, d'aborder l'âge d'apparition de la comptine numérique verbale, le repérage dans le temps et dans l'espace.

Une fois l'anamnèse effectuée et la plainte cernée, des épreuves quantitatives doivent être proposées afin de déterminer les difficultés et les compétences de l'enfant (Fayol, 2022; Haute Autorité de Santé, 2017).

Les épreuves de bilan ont pour objectif de déterminer si l'élève maîtrise les compétences en mathématiques comparativement aux normes de contenu académique de l'État, attendues pour son âge (Soares et al., 2018).

Pour les enfants jusqu'en fin de maternelle voire jusqu'en CP, le bilan doit comporter principalement des épreuves évaluant les compétences mathématiques fondamentales pour les futures acquisitions. Cela inclut la possibilité de subitizer (l'accès à la représentation symbolique avec notamment la reconnaissance de petits nombres) (Soares et al., 2018), mais également la maîtrise de la chaîne numérique verbale et du dénombrement, la compréhension de la valeur cardinale des nombres, voire l'écriture des premiers chiffres (Noël, 2007, 2021). Ces premiers

concepts symboliques sont la base des futurs apprentissages. En effet, selon le modèle développemental de la numération de Von Aster et Shalev (2007), cela correspond aux trois premières étapes sur lesquelles reposent les apprentissages mathématiques suivants. Il est également important de rappeler qu'à cet âge, les acquisitions dépendent de la fréquence d'exposition aux mathématiques avant et pendant la scolarisation et peuvent expliquer des différences interindividuelles (Soares et al., 2018).

Au cours de leur développement, les enfants sont exposés à des concepts de plus en plus abstraits (Soares et al., 2018) nécessitant également d'être évalués. Pour les enfants du CP jusqu'au CM2, l'évaluation doit donc comprendre la maîtrise des systèmes symboliques ainsi que la base dix, toutes les opérations de calcul de l'addition à la division, la résolution de problèmes, mais également la compréhension des fractions et des nombres décimaux ainsi que la géométrie (Noël, 2021).

Les critères diagnostiques du DSM-5 (American Psychiatric Association, 2015) ciblant quatre composantes précises des mathématiques (le sens des nombres, la mémorisation de faits arithmétiques, le calcul exact ou fluide et le raisonnement mathématique), les bilans sont donc à adapter en fonction de la plainte du patient et des difficultés mises en avant (Fayol, 2022). Un diagnostic est ensuite posé.

.1.2. Diagnostic orthophonique : difficultés ou trouble

Une fois les déficits identifiés, il convient de différencier, grâce aux résultats du bilan et à son analyse quantitative et qualitative, les difficultés d'apprentissage en mathématiques du trouble d'apprentissage en mathématiques (TAM). Les difficultés renvoient à des obstacles transitoires, temporaires. Elles sont généralement appelées difficultés d'apprentissage mathématiques (Noël & Karagiannakis, 2020). A contrario, les troubles sont définis comme sévères, spécifiques et permanents (Ménissier, 2014). Les troubles ne peuvent pas être expliqués par une atteinte organique ou une déficience intellectuelle (Noël & Karagiannakis, 2020).

Enfin, le diagnostic de TAM ne peut être posé que lorsque les difficultés persistent pendant au moins six mois malgré la mise en place d'une aide supplémentaire, dans le cadre scolaire ou non (American Psychiatric Association, 2015). Ménissier (2014) rappelle que des difficultés concernant la chaîne numérique, le dénombrement et le calcul élémentaire doivent alerter dès la maternelle (Ménissier, 2014).

.1.3. Définition du TAM dans le DSM-5

Parmi les troubles des apprentissages définis dans le DSM-5 (American Psychiatric Association, 2015), nous retrouvons le trouble des apprentissages en mathématiques (TAM). Afin de le diagnostiquer, au moins un des critères suivants doit être retrouvé :

- Difficultés à maîtriser le sens du nombre, les données chiffrées ou le calcul,
- Difficultés de raisonnement mathématique.

Dans le premier critère, nous pouvons retrouver par exemple des difficultés à comprendre la valeur que portent les nombres, l'utilisation des doigts dans la résolution d'opérations, peu d'utilisation des faits arithmétiques.

Concernant les difficultés de raisonnement, des difficultés à comprendre les concepts mathématiques peuvent être présentes ainsi que des difficultés à appliquer des méthodes permettant notamment la résolution de problèmes.

Par ailleurs, afin de poser le diagnostic de trouble des apprentissages en mathématiques, il est nécessaire de mettre en évidence que les compétences du sujet dans ce domaine sont nettement inférieures au niveau escompté par rapport à l'âge chronologique et que cela a des répercussions dans la vie quotidienne de la personne. Les difficultés doivent débiter au cours de la scolarité et ne peuvent pas être expliquées par un « handicap intellectuel, des troubles non corrigés de l'acuité visuelle, d'autres troubles neurologiques ou mentaux, une adversité psychosociale, un manque de maîtrise de la langue de l'enseignement » (American Psychiatric Association, 2015).

.1.4. Associations et comorbidités

Les troubles des apprentissages mathématiques apparaissent chez des enfants aux profils divers. En effet, les troubles peuvent être primaires avec une atteinte soit de la représentation analogique soit de l'accès à cette représentation analogique par les codes, selon le modèle du triple code de Dehaene (Dehaene, 1992). Ils peuvent également être secondaires à un déficit d'autres fonctions cognitives altérant les apprentissages en mathématiques ainsi que la représentation sémantique des quantités. Parmi les fonctions cognitives potentiellement touchées, nous pouvons retrouver le langage (oral et écrit), les habiletés visuo-spatiales, l'attention et la mémoire de travail (Fayol, 2022; Rubinsten & Henik, 2009).

.1.5. Evaluation de la chaîne numérique verbale et du dénombrement dans les bilans de cognition mathématique

Comme nous avons pu le voir précédemment, il est possible de recueillir des informations dès l'anamnèse, concernant les acquisitions mathématiques. Afin de poser un diagnostic de trouble ou de difficultés en mathématiques, une évaluation complète de la cognition mathématique doit être effectuée, y compris du dénombrement voire de la chaîne numérique verbale. La chaîne numérique étant une des composantes du dénombrement, son évaluation peut être nécessaire. Celle-ci peut être proposée en cas d'échec à l'épreuve de dénombrement comme dans le BLM (Metral, 2008), faire l'objet d'une épreuve à elle toute seule comme dans la Tedi-Math (Van Nieuwenhoven et al., 2001), ou bien simultanément à l'épreuve de dénombrement comme dans le Zareki-R (Dellatolas et Von Aster, 2006). L'Hours (2022) a effectué une revue de tous les outils existants permettant d'évaluer la chaîne numérique verbale. Parmi les neuf batteries étudiées évaluant spécifiquement le domaine mathématique, seulement six comportent une épreuve de chaîne numérique. Cette épreuve permet d'évaluer la maîtrise de la suite conventionnelle des mots-nombres (Mazeau & Pouhet, 2014).

Par ailleurs, l'évaluation du dénombrement est primordiale, car, de sa maîtrise, dépendent d'autres acquisitions comme le développement du concept de nombres et des compétences arithmétiques (Bazire et al., 2023). Dans une étude longitudinale, Nguyen et al. (2016) ont prouvé que les compétences en matière de subitizing conceptuel et de dénombrement sont les prédicteurs les plus forts, en maternelle, des résultats futurs en mathématiques en cinquième année, soit au CM2. Jordan et al. (2007) font le même constat concernant le dénombrement. Von Aster et Shalev (2007), dans leur modèle développemental de la cognition numérique, placent également le dénombrement comme une des bases des apprentissages mathématiques futurs. Selon ces auteurs, le dénombrement se situe au niveau du deuxième palier du développement mathématique, avec l'apprentissage des mots-nombres qui débute à l'école maternelle. Concernant le dénombrement, ce sont plus précisément des difficultés en termes de fluidité et de rapidité qui prédisent des difficultés plus générales en mathématiques par la suite (Carr & Alexeev, 2011). Il semble donc intéressant d'évaluer le dénombrement dès la grande section de maternelle, ainsi qu'au CP et en CE1 (Chevallard et al., 2022; Lecointre et al., 2005).

Une revue de tous les outils proposant une épreuve de dénombrement a été réalisée par Abochaar (2021). Cette revue a permis de comparer treize outils afin d'en extraire les focalisations. La plupart des épreuves ont pour objectif d'observer le niveau de maîtrise des cinq principes du dénombrement (Gelman et Gallistel, 1978), mais également le recours aux pointages (digital et visuel), les stratégies de quantification (par la reconnaissance immédiate de petites quantités, les configurations canoniques, le calcul), l'utilisation fonctionnelle du comptage, et la mesure du temps de réponse. Plusieurs limites ont été évoquées concernant ces épreuves : aucune ne comporte à la fois les cinq principes de Gelman et Gallistel (1978) et un temps de réponse. Les tâches comportent souvent trop peu d'items, ce qui affaiblit la validité statistique de l'épreuve. Enfin, la cotation est souvent globale, ce qui demande une analyse qualitative du clinicien pour relever le ou les principes de dénombrement chutés plutôt qu'un score quantitatif pour chaque principe.

Dans l'optique de la création d'une épreuve d'évaluation du dénombrement au sein du BCM, il est important d'évoquer le développement typique de ce dernier. Nous verrons enfin les problématiques possiblement rencontrées au cours de son acquisition par certains enfants ainsi que leurs causes.

.2. Le dénombrement, développement typique

Pour quantifier des éléments, trois processus peuvent être utilisés : le subitizing, l'estimation et le dénombrement (Ferrand et al., 2018).

Le subitizing se définit comme une estimation précise et rapide de petites quantités allant de un à trois, voire quatre. L'estimation, quant à elle, se définit comme un processus de quantification permettant d'appréhender rapidement, mais approximativement des grandes quantités (Fayol, 2018). Ces deux compétences sont déjà présentes chez les nourrissons (Ferrand et al., 2018) et ne nécessitent donc pas d'apprentissage particulier pour leur composante innée.

Cette partie s'intéressera plus particulièrement à la quantification passant par le dénombrement. Nous en donnerons d'abord une définition, puis nous verrons les différentes étapes nécessaires à l'acquisition du dénombrement.

.2.1. Définition du dénombrement

Selon Fayol (2008), le dénombrement consiste en l'acquisition de procédures permettant de quantifier précisément une quantité d'objets présents dans une collection, c'est-à-dire de définir le cardinal de la collection (Noël & Karagiannakis, 2020). Il est également expliqué comme une activité de représentation sémiotique (Ferrand et al., 2018). En effet, des signes conceptualisés par les mots-nombres sont utilisés pour définir de façon exacte les différents éléments d'un ensemble et donc la taille de ce dernier. Il s'agit donc d'un processus symbolique associant un mot à chaque élément d'une collection (Fayol, 2008).

Le dénombrement met en jeu la coordination de plusieurs compétences, comme la mise en correspondance de la récitation de la chaîne numérique verbale et du pointage des objets afin de parvenir à la cardinalisation d'un ensemble (Fayol, 2008; Noël & Karagiannakis, 2020).

Le dénombrement comporte donc une activité verbale et une activité motrice qui doivent être synchronisées afin d'établir une correspondance terme à terme (Fayol, 2008), c'est-à-dire que chaque élément ne doit être pointé qu'une seule fois et qu'il ne doit être associé qu'à un seul mot-nombre.

.2.2. Acquisition du dénombrement

Dénombrer des éléments exige donc deux compétences principales que nous détaillerons par la suite. Parallèlement, afin de parvenir à un dénombrement mature, cinq grands principes du dénombrement, définis par Gelman et Gallistel (1978), doivent être intégrés par les enfants :

- Le principe de correspondance terme à terme : chaque élément de la collection doit être associé à un seul mot-nombre.
- Le principe d'ordre stable : les noms des nombres doivent être produits dans l'ordre conventionnel de la chaîne numérique verbale.
- Le principe de cardinalité : le dernier mot-nombre produit correspond au cardinal de l'ensemble.
- Le principe d'abstraction : tous les éléments sont dénombrés, peu importe leur nature.
- Le principe de non-pertinence de l'ordre : l'ordre dans lequel les éléments sont dénombrés n'importe pas.

Selon Gelman et Gallistel (1978), ces principes sont innés, c'est-à-dire qu'ils sont présents dès la naissance et aident à l'acquisition du dénombrement. A contrario, d'autres auteurs affirment que les principes de dénombrement sont progressivement intégrés, suite à une pratique répétée des procédures de comptage, d'abord apprises par cœur, sur imitation (Dehaene, 1992). Grégoire et Van Nieuwenhoven (1995) ont par exemple démontré que ces principes ne sont ni maîtrisés ni coordonnés par certains enfants de cinq ans.

Le principe de correspondance terme à terme et le principe d'ordre stable sont les deux premiers acquis par l'enfant, vers deux ans et demi (Fayol, 2008; Gelman & Gallistel, 2009). Le principe de cardinalité est compris lorsque les principes de correspondance terme à terme et d'ordre stable sont acquis. Dans un premier temps, les enfants ne comprennent pas le principe de cardinalité qu'ils découvrent plus tard (Fayol, 2022). Enfin, les principes d'abstraction et de non-pertinence de l'ordre sont dépendants de l'entraînement des enfants à l'activité de dénombrement (Fayol, 2008). Trois de ces principes doivent obligatoirement être maîtrisés pour dénombrer : le principe d'ordre stable, de correspondance terme à terme et de cardinalité (Gelman & Gallistel, 1978).

Des stades d'acquisition du dénombrement chez les enfants ont été établis (Hinton et al., 2016; Van De Rijt & Van Luit, 1998): d'abord la comptine acoustique (connaissance des mots nombres), puis la comptine asynchrone (utilisation des mots nombres dans des activités de dénombrement avec le principe de correspondance terme à terme non acquis), la comptine synchrone (correspondance terme à terme maîtrisée, un mot-nombre par objet à dénombrer), le comptage résultat (le dernier mot-nombre énoncé est le cardinal de la collection), le comptage raccourci (utilisation combinée du subitizing et du dénombrement), le comptage fluide et flexible (acquisition des principes de non-pertinence de l'ordre et d'abstraction).

Les principales erreurs retrouvées lors de l'acquisition typique du dénombrement concernent majoritairement le fait de ne compter verbalement et de ne pointer qu'une seule fois chaque élément, la coordination du pointage et de la récitation de la chaîne numérique verbale. Les difficultés résident également dans la connaissance de la chaîne numérique, avec un apprentissage par cœur nécessaire. Enfin, le positionnement des éléments à dénombrer ainsi que leur hétérogénéité peuvent impacter le dénombrement jusque quatre ans (Gelman & Gallistel, 2009). Fuson (2012) évoque, quant à elle, des difficultés de mise en place de la correspondance spatio-temporelle, les objets étant représentés spatialement et les mots-nombres organisés temporellement.

.2.2.1. Le développement de la chaîne numérique verbale

L'acquisition des mots nombres et de leur énonciation dans un certain ordre est un prérequis au dénombrement ainsi qu'à d'autres compétences comme la mémorisation des faits arithmétiques ou la réalisation de calculs (Mazeau & Pouhet, 2014, p. 7).

La chaîne numérique verbale est composée de mots-nombres. Ces derniers répondent à des règles lexicales et syntaxiques. Le lexique se compose des unités de un à neuf, des dizaines de dix à quatre-vingt-dix, cent, mille, million, milliard et des particuliers de onze à seize. Au niveau de la syntaxe, deux règles coexistent, celle de la somme (dix-huit) et celle du produit (quatre-vingts) (Ferrand et al., 2018).

L'apprentissage de la chaîne numérique verbale se déroule en deux temps. L'apprentissage des premiers mots-nombres se déroule entre deux et six ans avec de grandes différences inter-individuelles (Mazeau & Pouhet, 2014). Le mot-nombre « deux » serait acquis aux alentours de deux ans en référence à des objets allant par paire. Le mot-nombre « trois » serait acquis vers trois ans. Par la suite, l'acquisition de cette chaîne numérique évolue par paliers, d'abord jusqu'à sept, puis dix. Ceci explique que l'enfant ne soit pas en capacité de généraliser ses apprentissages, car chaque nom de ce lexique de base doit être encodé et stocké en mémoire à long terme (Mazeau & Pouhet, 2014). Dans un second temps, une fois la chaîne numérique acquise jusqu'à seize, les enfants découvrent les règles syntaxiques qui leur permettent d'associer les formes lexicales entre elles pour exprimer de plus grandes quantités. (Ferrand et al., 2018). Les enfants sont sensibles, dès cinq ans, aux règles syntaxiques. En effet, à cet âge, les enfants ont plus de facilité à mémoriser un nombre à trois chiffres respectant les règles syntaxiques, qu'un nombre ne les respectant pas (Ferrand et al., 2018). Dans les pays européens, les règles régissant la structure des nombres à deux chiffres étant élaborées, l'acquisition de la suite numérique verbale est rendue plus complexe que pour les enfants d'Asie. En effet, dans les pays asiatiques, la syntaxe des nombres est plus transparente (Fayol, 2008). La chaîne numérique verbale française, quant à elle, présente quelques particularités. En effet, le mot « un » devant un nom peut soit désigner le singulier (un bonbon versus des bonbons) soit le nombre (un bonbon versus deux bonbons). Cette ambiguïté interfère sur les performances des enfants âgés de deux ans par rapport à des enfants anglophones du même âge pour qui cette distinction n'existe pas (Houdé & Tzourio-Mazoyer, 2003). Une autre particularité réside dans le fait qu'en France, une irrégularité verbale existe pour les dizaines, entre 60 et 70 et également entre 80 et 90. Des difficultés d'automatisation de la suite numérique dues à ces irrégularités peuvent être encore observées chez certains enfants jusqu'en CE1-CE2 (Seron & Fayol, 1994).

D'après Fuson (1982) cité par Noël et Karagiannakis (2020), la suite verbale des mots-nombres se construit donc progressivement, en passant par cinq stades principaux. Dans un premier temps, l'enfant apprend cette suite comme une comptine. Les mots-nombres sont récités sans distinction, en un seul bloc (Fayol, 2008). Fuson (1982) l'appelle le niveau « chapelet ». Ensuite, les items peuvent être individualisés mais la chaîne doit toujours être récitée en commençant par un, elle se nomme chaîne « insécable ». Les premiers dénombrements peuvent alors être effectués et l'enfant est capable de compter jusqu'à une borne supérieure (Noël & Karagiannakis, 2020). Plus tard, la suite permet le comptage à partir d'une borne inférieure, appelée chaîne « sécable » (Fayol, 2008). L'étape suivante correspond à la chaîne « dénombrable ». Celle-ci permet de dénombrer des entités et d'indiquer le nombre de pas de comptage qu'il y a entre deux nombres (Noël & Karagiannakis, 2020). Afin de mémoriser les bornes à respecter ou le nombre de pas nécessaires pour arriver au nombre suivant, des méthodes d'aide au maintien des informations en mémoire doivent être apprises à l'école. La dernière étape de cet apprentissage correspond à la « chaîne

bidirectionnelle ». Elle est alors automatisée dans les deux sens, permettant un comptage vers l'avant et également à rebours, ainsi qu'un changement de sens de comptage de manière rapide et flexible. Par ailleurs, nous savons que pour dénombrer, la connaissance de la chaîne numérique non sécable est suffisante dans un premier temps (Van Nieuwenhoven, 1996).

L'organisation progressive de la chaîne numérique verbale permet donc la réalisation des activités de dénombrement, mais également de calcul notamment des additions et soustractions (Fayol, 2008).

.2.2.2. Le développement du pointage

Le geste de pointage a deux rôles principaux (Lecointre et al., 2005) :

- Séparer les « à compter » des « déjà comptés », ce qui permet d'alléger la charge cognitive en mémoire de travail et de faciliter d'autres traitements comme la récitation de la chaîne numérique (Guedin et al., 2018; Lecointre et al., 2005).
- Faciliter l'apprentissage du dénombrement, plus particulièrement l'acquisition du principe de correspondance terme à terme (Alibali & DiRusso, 1999), notamment vers l'âge de quatre ans (Lecointre et al., 2005).

Le mode de pointage, digital ou visuel, évolue avec l'âge. Chez l'enfant, le pointage digital apparaît à environ deux ans. Autour de trois ans, les gestes sont encore peu produits ou ne sont simplement pas coordonnés à la suite numérique verbale. Cette étape de synchronisation de la suite numérique et du pointage apparaît plus régulièrement vers quatre ans. Contrairement à l'adulte, chez qui la coordination de l'énonciation et du pointage est automatisée, elle représente un véritable coût cognitif chez l'enfant. Elle serait même la composante la plus coûteuse du dénombrement et serait donc à l'origine de nombreuses erreurs (Lecointre et al., 2005). Les enfants d'âge préscolaire utilisent donc majoritairement le pointage digital pour diminuer le coût cognitif et ainsi le nombre d'erreurs lors du dénombrement (Gelman & Gallistel, 1978). L'utilisation du pointage digital diminue avec l'expérience au profit du pointage visuel, cependant les enfants d'âge scolaire ainsi que les adultes y recourent dans les situations les plus complexes, c'est-à-dire lorsque les collections à dénombrer sont importantes ou présentent une disposition aléatoire des cibles (Graham, 1999; Lecointre et al., 2005).

.2.2.3. L'acquisition de la cardinalité

L'acquisition du dénombrement et du principe de cardinalité dépend du développement du langage, et plus globalement de la compréhension symbolique (Fayol, 2018). En effet, comprendre la cardinalité signifie comprendre que le langage code la quantité et donc savoir associer aux mots-nombres la bonne représentation numérique (Noël & Karagiannakis, 2020).

Aux prémices de l'apprentissage du principe de cardinalité, lorsqu'il s'agit de définir cette cardinalité, les enfants ne sont pas seulement sensibles à la numérosité, mais également à la surface occupée par les éléments à dénombrer, leur densité et leur volume. Toute modification de l'une de ces variables impliquerait une diminution ou une augmentation de la cardinalité. Afin de parvenir au bon résultat, ils doivent donc réussir à isoler la cardinalité de la collection, indépendamment des caractéristiques des éléments qui la composent (Fayol, 2018).

Lorsqu'il est demandé « combien ? » à un enfant de deux ans, deux possibilités de réponse : soit il comprend cette question comme une invitation au comptage qu'il peut recommencer sans fin, soit il répète le dernier mot énoncé lors de son dénombrement (Noël & Karagiannakis, 2020). Selon Fuson et collaborateurs (1985), cette seconde réponse ne prouve pas que l'enfant a acquis le principe de cardinalité, mais qu'il s'agirait en réalité de la règle apprise pour répondre à la question

« combien ? ». Cela serait seulement une procédure apprise par imitation sans en comprendre le sens (Noël & Karagiannakis, 2020; Van Nieuwenhoven, 1996).

L'acquisition de la cardinalité semble se développer progressivement à partir de deux ans et demi et prend plusieurs années (Le Corre & Carey, 2007). A trois ans, les enfants savent associer le mot-nombre « un » à la quantité qu'il représente. Les enfants ayant cette compétence sont alors appelés les *one-knowers*. Quelques mois plus tard, ils acquièrent la valeur du mot-nombre « deux », ils sont alors appelés *two-knowers* (Sarnecka & Carey, 2008). Cependant, il faut attendre l'âge de trois ans et demi pour qu'ils acquièrent la cardinalité des mots-nombres « trois » et « quatre ». Au-delà de quatre, les enfants comprennent le principe de la fonction de successeur (Gimbert & Mazens, 2021), c'est-à-dire que le passage au mot-nombre suivant dans la chaîne numérique verbale, correspond à la quantité précédente à laquelle un est ajouté. Ce stade s'appelle « counting-principle knower » (Sarnecka & Carey, 2008).

Une fois ce stade acquis, l'enfant peut alors associer les représentations précises des nombres créées avec les représentations de son système numérique approximatif. Cela lui permet d'avoir une représentation précise de plus grandes numérosités que celles permises par le subitizing (Le Corre & Carey, 2007). On considère alors le principe de cardinalité acquis, généralement autour de cinq ans (Bazire et al., 2023).

.2.2.4. Les stratégies de dénombrement

Les activités de dénombrement continuent à évoluer au-delà de la période préscolaire. Des stratégies plus complexes se mettent en place, par exemple avec le regroupement des objets par deux ou trois, ou encore avec le recours à des calculs (Fayol, 2018).

Une fois les principes de dénombrement acquis, l'enfant va mettre en place des stratégies de plus en plus complexes (Fayol, 2018) pour gagner en rapidité, lui permettant également de gagner en précision et en facilité d'utilisation (Camos, 2003). L'enfant va donc développer quatre principales stratégies jusqu'à l'âge adulte (Camos, 2003) :

- De un en un : cette stratégie est la première à être utilisée par les enfants, de cinq ans à l'âge adulte.
- De n en n (de deux en deux, trois en trois) : Cette stratégie est utilisée de onze ans à l'âge adulte.
- En additionnant : l'enfant regroupe les éléments en petits ensembles qu'il additionne.
- En multipliant : quand les éléments sont placés de façon à pouvoir former des sous-groupes, il est possible de les multiplier entre eux. Cette stratégie est utilisée à partir de quinze ans jusqu'à l'âge adulte.
- Par le surcomptage : l'enfant « compte à partir du dernier mot-nombre désignant le cardinal de la première collection dont il a reconnu la représentation ». Cette stratégie est utilisée à partir de six ans (Bazire et al., 2023).

La procédure de dénombrement, initialement coûteuse et donnant lieu à de fréquentes erreurs, est progressivement maîtrisée, au point que la plupart des enfants de cinq ans sont en mesure de la mobiliser et de la mettre en œuvre sans se tromper, même lorsque la situation est complexe (Fayol, 2014).

Cependant, des difficultés lors de l'acquisition du dénombrement apparaissent parfois. Leurs causes peuvent être diverses comme nous allons le voir.

.3. Difficultés rencontrées dans l'acquisition du dénombrement

Comme nous l'avons vu précédemment, l'acquisition du dénombrement dépend de nombreux facteurs. Des difficultés dans plusieurs domaines peuvent avoir des conséquences sur son apprentissage. Nous détaillerons les principales causes de difficultés répertoriées dans la littérature ainsi que leurs répercussions.

.3.1. Trouble des apprentissages en mathématiques et dénombrement

Des difficultés particulières sont retrouvées lors de l'acquisition du dénombrement chez les enfants avec un trouble spécifique des apprentissages en mathématiques.

En effet, les enfants avec TAM présentent notamment des difficultés à acquérir les principes sous-jacents au dénombrement (Gelman & Gallistel, 1978; Van Nieuwenhoven et al., 2019) ce qui en retarde l'acquisition (Geary et al., 1992). Des erreurs concernant le principe de cardinalité sont par exemple relevées avec notamment des difficultés pour détecter les erreurs lors des doubles comptages au début de la série (Geary et al., 1992). D'autres erreurs concernant la compréhension du principe de non-pertinence de l'ordre sont relevées (Geary et al., 2000). De nombreuses expositions à des situations de dénombrement sont nécessaires aux enfants afin d'assurer leur compréhension (Fayol, 2018).

Soares (2018) évoque plus globalement, chez les tout-petits, des difficultés de représentation symbolique, notamment pour apprendre à compter et une prise de conscience de la magnitude complexe, marquée par des difficultés à associer des nombres à des objets. Cela rend le comptage en maternelle laborieux.

Ces difficultés de compréhension des principes inhérents au dénombrement, c'est-à-dire les cinq principes de Gelman et Gallistel (1978), mais également l'accès à la symbolisation impactent fortement la vitesse de réalisation du dénombrement. Les auteurs relèvent des temps de traitement lors des tâches de dénombrement particulièrement plus longs pour les enfants avec TAM (Andersson & Östergren, 2012; Landerl & Kölle, 2009).

Les enfants compensent donc leurs difficultés en utilisant plus longtemps des stratégies immatures de comptage comme compter les éléments un par un, compter sur les doigts. Des omissions, des répétitions sont observées au cours de leur dénombrement à un âge où elles ne devraient plus l'être (Van Nieuwenhoven et al., 2019).

Les enfants avec TAM n'accédant pas au même niveau de traitement automatique des nombres que les enfants neurotypiques, ces difficultés perdurent (Landerl & Kölle, 2009; Soares et al., 2018).

Cependant, d'autres types d'erreurs peuvent être relevés au cours d'une activité de dénombrement. En effet, le dénombrement comprenant une activité verbale et une activité motrice, celles-ci peuvent également être source d'erreurs. Il est aussi important de noter l'importance des fonctions exécutives dans cette tâche comme l'attention (Ménissier, 2014), mais également le rôle primordial de la mémoire de travail (Rubinsten & Henik, 2009; Van Nieuwenhoven et al., 2019).

.3.2. Trouble développemental du langage oral et dénombrement

Chez les enfants avec un trouble spécifique du langage (SLI), il existe une dissociation dans la maîtrise des codes oral et arabe comparativement aux enfants tout-venant. En effet, il est fréquent d'observer une bonne maîtrise du code arabe par rapport au code oral qui est plus complexe à acquérir pour eux (Donlan & Gourlay, 1999). Les difficultés majoritairement retrouvées concernent

la maîtrise du lexique numérique avec une chaîne numérique verbale réduite (Cowan, 2008; Koponen et al., 2006) qui se développe lentement et la maîtrise du comptage retardée (Fazio, 1994).

Malgré une compréhension conceptuelle du nombre correcte, les enfants SLI présentent des difficultés à rétablir la dimension séquentielle de la comptine (Cowan, 2008; Koponen et al., 2006). Cela est rendu visible par des erreurs de séquence dans l'énonciation de la chaîne numérique (Fayol, 2022). Les enfants SLI présentent également des difficultés quant à l'ordinalité (Cowan, 2008).

Chez les enfants SLI, de trois à cinq ans, une séquence de comptage réduite est observée (Arvedson 2002 cité par Koponen et al., 2006). Entre quatre et cinq ans, ils présentent des difficultés à réciter la séquence numérique verbale ordonnée (Fazio, 1994). A six ans, les difficultés portent majoritairement sur la récupération des mots-nombres supérieurs à vingt (Fazio, 1996). Entre sept et neuf ans, les performances des enfants SLI sont alors semblables, voire supérieures aux performances d'enfants de même niveau langagier, soit environ deux ans plus jeunes, bien en dessous des enfants du même âge (Cowan, 2008; Fayol, 2022). La comptine numérique reste réduite jusqu'à environ neuf ans (Cowan, 2008) pour enfin se préciser à l'âge de onze ans malgré la persistance d'une vitesse de récupération lente (Koponen et al., 2006).

Par ailleurs, le fait d'associer l'énonciation de cette chaîne numérique au pointage n'est pas facilitateur pour ces enfants avec un trouble développemental du langage (Lecointre et al., 2005).

Cependant, les résultats aux épreuves évaluant la procédure de dénombrement en elle-même sont équivalents pour les enfants avec un trouble développemental du langage et ceux qui n'en présentent pas. Cela démontre que les difficultés ne résident pas dans la compréhension des principes de dénombrement mais dans la construction de la chaîne numérique verbale (Lecointre et al., 2005). En effet, à cinq ans, les enfants avec un trouble développemental du langage ont acquis les principes du dénombrement, y compris le principe de cardinalité (Fayol, 2022).

Globalement, les enfants avec SLI présentent une chaîne numérique verbale réduite, avec une énonciation lente, et une précision en dénombrement qui est par conséquent inférieure à celle d'enfants du même âge.

.3.3. Dyspraxie visuo-spatiale, troubles visuo-spatiaux et dénombrement

Chez les enfants avec des difficultés praxiques, dyspraxiques, des résultats aux épreuves de dénombrement inférieurs aux résultats obtenus par des enfants appariés en âge sont relevés. Ils sont plus lents que le groupe contrôle et commettent plus d'erreurs (Lecointre et al., 2005), de type omission ou double voire triple pointage d'un même élément (Camos et al., 1998; Glasel & Mazeau, 2017).

En revanche, leur compréhension des principes de dénombrement ne semble pas affectée (Guedin et al., 2018). En effet, les tâches de jugement de dénombrement sont dans la norme comparativement à des enfants du même âge (Lecointre et al., 2005).

De surcroît, un retard au niveau des stratégies de dénombrement peut être noté. En effet, les enfants avec des difficultés praxiques utilisent plus longtemps des stratégies simples comme celle qui consiste à dénombrer de un en un. Cela pourrait s'expliquer par le fait que pour développer des stratégies plus élaborées, les stratégies plus simples doivent être bien maîtrisées. Cette maîtrise reste laborieuse du fait de difficultés lors de l'exécution du geste de pointage (Lecointre et al., 2005).

Par ailleurs, il est important de noter que l'énonciation simultanée au pointage des éléments à dénombrer semble être facilitatrice pour les enfants dyspraxiques (Camos et al., 1998).

Enfin, des difficultés au niveau du repérage des éléments sont probables. Il est possible qu'elles soient causées par un trouble d'exploration spatiale ou oculomoteur (Camos et al., 1998). Une évaluation semble donc nécessaire afin de déterminer l'origine des difficultés.

.3.4. Trouble déficitaire de l'attention avec ou sans hyperactivité (TDA/H) et dénombrement

L'association de la dyscalculie et du TDA/H est fréquente en pratique clinique. Il existe deux principales raisons à cette forte association. Premièrement, un enfant peut présenter un déficit au niveau du sillon intra-pariétal, ce qui entraîne un déficit du traitement numérique ainsi que des difficultés d'attention. Deuxièmement, un déficit au niveau frontal peut entraîner un déficit des fonctions exécutives, et donc impacter les apprentissages mathématiques (Henik et al., 2011). Il est donc important de différencier les erreurs secondaires au TAM associées à des difficultés d'attention, des erreurs relevant d'un déficit des fonctions exécutives (Ménissier, 2014).

Une évaluation attentionnelle est donc primordiale afin de repérer les erreurs causées suite à des moments d'inattention. En effet, les erreurs ne sont pas les mêmes. Nous avons déjà développé dans une partie précédente les erreurs typiques dans des tâches de dénombrement des enfants avec un TAM. Concernant les erreurs des enfants TDA/H, il est possible d'observer des difficultés concernant la gestion des éléments déjà comptés et des éléments restant à compter. De plus, les enfants avec un TDA/H sont sensibles à plusieurs facteurs distrayeurs comme la taille de la collection, les couleurs, les dispositions spatiales ainsi que la forme (Ménissier, 2014).

Les enfants avec des troubles du langage oral, des troubles moteurs, de la mémoire, des fonctions exécutives peuvent donc présenter des difficultés dans l'acquisition du dénombrement. Cependant, ces difficultés sont liées à des déficits généraux et non spécifiques aux mathématiques (Noël & Karagiannakis, 2020) et n'ont donc pas les mêmes répercussions sur les apprentissages. Toutefois, le risque à long terme, pour ces enfants, est de développer un retard d'apprentissage dans les domaines numérique et arithmétique (Lecointre et al., 2005). Il semble donc important d'évaluer la nature des difficultés dans les domaines atteints (Rubinsten & Henik, 2009; Van Nieuwenhoven et al., 2019).

.4. Buts et hypothèses

Ce mémoire s'inscrit dans la continuité du projet de création d'une batterie d'évaluation diagnostique de la cognition mathématique chez les enfants d'âge scolaire. Il concerne plus particulièrement les épreuves de chaîne numérique et de dénombrement et aura pour but la réalisation de leur prétest. Cette étape est primordiale pour la création d'une épreuve et nous permettra d'effectuer une première analyse quantitative et qualitative. Nous avons participé avec Jenna Delmas, étudiantes en deuxième année de Master d'orthophonie, à cette première phase de prétest et sommes intervenues dans des écoles élémentaires afin d'effectuer des passations de sept épreuves, préalablement créées.

Le but de ce mémoire est donc de s'assurer de la bonne construction des épreuves de chaîne numérique et de dénombrement, d'identifier les réponses dominantes et non dominantes, les items les plus discriminants, mais également de se positionner sur les consignes, les méthodes de cotation et de faire des propositions d'améliorations le cas échéant. L'objectif de ces passations est d'obtenir des scores homogènes en regard des items, en fonction des classes de scolarisation avec un pourcentage de réussite moyen permettant de discriminer les enfants au développement normal des enfants en difficulté.

Méthode

Dans cette partie, nous présenterons les épreuves de chaîne numérique et de dénombrement. Dans un second temps, nous définirons la population recrutée pour effectuer les passations : critères d'inclusion et d'exclusion, nombre de sujets et modalités de recrutement, autorisations nécessaires. L'organisation et le déroulement des passations seront également précisés. Enfin, une analyse des résultats obtenus sera effectuée.

.1. Matériel

Nous nous sommes rendues, dans le cadre de notre mémoire, lors de notre deuxième année de Master d'orthophonie à Lille, dans des écoles afin d'effectuer des passations de sept épreuves (chaîne numérique, dénombrement, comparaison de nombres arabes, gnosies auditivo-verbales de nombres, faits arithmétiques, problèmes verbaux et analogiques) auprès d'enfants du CP au CM2. Concernant l'ordre d'administration des épreuves, elles ont été proposées dans un ordre aléatoire. Certains enfants se sont vu administrer moins d'épreuves du fait de contraintes temporelles. Les épreuves les plus courtes leur ont alors été proposées.

Dans le cadre de ce mémoire, nous étudierons plus particulièrement les épreuves de chaîne numérique et de dénombrement.

.1.1. Présentation de l'épreuve de chaîne numérique verbale

Nous détaillerons d'abord la présentation générale de l'épreuve, puis la présentation des items et de la cotation.

.1.1.1. Présentation du principe général

L'épreuve de chaîne numérique a pour but d'évaluer la connaissance de la chaîne numérique verbale, ainsi que son automatiser. Les consignes sont proposées à l'oral et la modalité de réponse de l'enfant est également orale. Une amorce est proposée à la fin de chaque consigne, par exemple « 1, 2... » pour la CNV endroit, « 50, 49... » pour la CNV envers.

.1.1.2. Présentation des items

Cinq principaux items sont proposés aux enfants. Le premier a pour objectif de tester la chaîne numérique verbale de un jusqu'à cent. Cela pour vérifier que les enchaînements les plus complexes de la chaîne numérique sont acquis, notamment de onze à seize et de soixante-dix à quatre-vingt-dix-neuf. Le second item consiste à réciter la chaîne numérique à rebours à partir de cinquante. Les trois derniers items consistent à compter respectivement de deux en deux, de cinq en cinq et de dix en dix. Cette épreuve permet donc de tester le niveau d'automatisation et de flexibilité de ces suites numériques, nécessaires par la suite pour le calcul (Menissier, 2003; Siegler, 1987).

.1.1.3. Présentation de la cotation

Un protocole papier était à la disposition des administrateurs pour relever si besoin les erreurs produites par les enfants. Les nombres devant être récités par l'enfant sont inscrits dans des tableaux sur le protocole avec un espacement suffisant entre chaque ligne pour noter les erreurs produites. Un temps de cotation supplémentaire est nécessaire pour qualifier les erreurs, afin de comprendre les difficultés spécifiques de l'enfant ainsi que de faire des liens avec les compétences sous-jacentes touchées. Plus précisément, la cotation consistait à définir la chaîne numérique

connue sans erreur, et la chaîne numérique maximale (avec erreurs possibles) ainsi que la possibilité de compter à rebours, par pas de deux, cinq et dix avec des scores en 0 ou 1.

.1.2. Présentation de l'épreuve de dénombrement

Nous verrons dans un premier temps le fonctionnement général de l'épreuve puis nous détaillerons les items ainsi que la cotation.

.1.2.1. Présentation du principe général

La seconde épreuve à laquelle nous nous intéressons plus particulièrement est le dénombrement. Elle a également été proposée aux enfants, du CP au CM2. La passation de l'épreuve se déroule sur ordinateur.

.1.2.2. Présentation des items

Un diaporama est proposé à l'enfant, sur lequel dix-neuf items se succèdent, sans limite de temps. Chacune des dix-neuf diapositives se compose d'un ensemble d'éléments à dénombrer avec des quantités comprises entre deux et quatorze.

L'épreuve a été créée selon plusieurs critères sélectionnés afin de permettre l'identification de la ou les composantes du dénombrement qui posent des difficultés au patient, que ce soit l'activité de pointage, la récitation de la chaîne numérique ou encore les principes du dénombrement (Fayol, 2018; Gelman & Gallistel, 1978). Les paramètres retenus sont la disposition des éléments sur l'écran, l'homogénéité de leur couleur, de leur forme et de leur taille. Dix items ont une organisation non linéaire, quatre ont une disposition linéaire et cinq reprennent les configurations canoniques d'un dé. Parmi les dix-neuf items, sept sont hétérogènes par leur couleur, deux sont hétérogènes par leur forme, six sont hétérogènes par leur taille. Ces informations ont été synthétisées dans un tableau (Annexe 1).

.1.2.3. Présentation de la cotation

Nous disposons d'un protocole papier pour cette épreuve également. Un point est attribué à l'enfant pour chaque bonne réponse. Lorsque celle-ci n'est pas correcte, nous la notons. Nous renseignons également pour chaque item le type de pointage utilisé (visuel ou digital). Les différents items étant construits avec des spécificités différentes (présentation linéaire ou aléatoire, une homogénéité ou une hétérogénéité de la forme, de la couleur et de la taille des éléments à dénombrer), en fonction des erreurs produites, nous pouvons déceler ce qui pose problème à l'enfant dans l'optique d'une future prise en soins. Il est alors possible d'ajuster les propositions de rééducation en fonction du niveau de compétences de chaque enfant et des stades d'acquisition, mais également en fonction de ses contraintes empêchant l'acquisition du dénombrement (Fayol, 2018).

.2. Population

.2.1. Recrutement des participants

Cette nouvelle batterie d'évaluation de la cognition mathématique étant à destination d'enfants du primaire, nous avons décidé de recruter des enfants du CP au CM2. Après l'obtention des accords des Inspecteurs de l'Education nationale des différentes circonscriptions, nous avons contacté plusieurs écoles dans les départements du Pas-de-Calais et de la Haute-Garonne. Deux écoles du Pas-de-Calais et deux écoles de Haute-Garonne, en milieu rural, se sont portées volontaires pour participer à ce projet. Les directeurs et professeurs de ces écoles ont été rencontrés

afin de leur expliquer plus précisément l'objectif de ces passations et répondre à leurs questions. Les formulaires d'information et de consentement à destination des parents leur ont été transmis (cf. Annexe n°2). Une déclaration auprès du délégué à la protection des données (DPO) a par ailleurs été effectuée (numéro 2024-024).

.2.2. Critères d'inclusion

Afin de participer à ces passations, les enfants devaient être scolarisés en CP, CE1, CE2, CM1 ou CM2.

Nous pouvons noter que, parmi notre échantillon constitué de 8 enfants, 2 enfants avaient un suivi orthophonique en cours pour trouble spécifique du langage écrit et 5 enfants ont eu un suivi en orthophonie par le passé (pour trouble d'articulation, retard de langage et pour trouble alimentaire pédiatrique). Nous n'avons pas jugé pertinent de retirer les participants ayant un suivi, en cours ou passé, étant donné que cet échantillon de la population générale a pour objectif d'en représenter l'hétérogénéité (Laveault & Grégoire, 2023).

.2.3. Caractéristiques de la population

Les enfants ayant participé à cette phase de prétest étaient âgés de six à dix ans et étaient scolarisés en école élémentaire, du cours préparatoire au cours moyen deuxième année (CP au CM2). Au total, 80 enfants ont pu participer à cette pré-validation.

L'épreuve de chaîne numérique n'ayant pas pu être administrée, par manque de temps, à l'entièreté de notre échantillon, voici les tableaux présentant les 73 élèves qui ont participé au prétest de cette tâche.

Tableau 1.1 : Données sur la population : niveaux scolaires, établissements scolaires, effectifs pour l'épreuve de chaîne numérique.

	Ecole A	Ecole B	Ecole C	Ecole D	Effectif total par classe
CP	6	3	4	0	13
CE1	0	2	3	4	9
CE2	14	0	2	4	20
CM1	6	3	4	3	16
CM2	4	3	4	4	15
Effectif total par école	30	11	17	15	73

Tableau 1.2 : Répartition de l'échantillon en fonction du genre et de l'âge pour l'épreuve de chaîne numérique.

	N (g/f)	Moyenne	ET	Min	Max
CP	13 (5/8)	6;6	3,07	6;1	6;9
CE1	9 (6/3)	7;5	3,24	7;0	7;8
CE2	20 (10/10)	8;3	4,90	7;10	8;10
CM1	16 (9/7)	9;5	5,59	8;4	10;4
CM2	15 (6/9)	10;4	4,09	9;7	10;10

Note. ET : écart-type

Les tableaux 2.1 et 2.2 présentent la population des 79 enfants recrutés pour l'épreuve de dénombrement. Un élève ne s'est pas vu proposer la passation de cette épreuve faute de temps.

Tableau 2.1 : Données sur la population : niveaux scolaires, établissements scolaires, effectifs pour l'épreuve de dénombrement.

	Ecole A	Ecole B	Ecole C	Ecole D	Effectif total par classe
CP	7	3	4	0	14
CE1	0	2	4	4	10
CE2	14	0	3	6	23
CM1	6	3	4	4	17
CM2	4	3	4	4	15
Effectif total par école	32	11	19	18	79

Tableau 2.2 : Répartition de la population pour l'épreuve de dénombrement en fonction du genre et de l'âge.

	N (g/f)	Moyenne	ET	Min	Max
CP	13 (4/9)	6;6	2,95	6;1	6;9
CE1	11 (7/4)	7;4	3,44	7;0	7;8
CE2	23 (12/11)	8;4	3,61	7;10	8;10
CM1	17 (9/8)	9;5	5,41	8;4	10;4
CM2	15 (9/6)	10;4	4,09	9;7	10;10

Note. ET : écart-type

3. Déroulement et organisation des passations

Les élèves ont été informés par leurs professeurs quelques jours avant le début des passations, de notre venue et des objectifs de ces passations. Avant chaque session de passations, nous avons vérifié que les documents administratifs étaient en ordre (accords parentaux). De plus, nous nous sommes également assurées auprès de chaque enfant de leur consentement. Nous avons également rappelé l'objectif de l'étude, l'anonymat du test et le déroulement de la passation. Ce temps d'échange a permis de rassurer les enfants et de leur laisser l'opportunité de poser leurs questions.

Chaque passation s'est déroulée au cours d'une séance unique, en situation duelle, dans une salle au calme, mise à disposition par les directeurs d'écoles. Trente minutes, en moyenne, étaient nécessaires. Au total, nous avons réalisé quatre sessions de huit heures chacune.

4. Traitement des données

Les données que nous avons collectées ont été inscrites dans des tableaux Excel afin d'en faciliter le traitement. Afin d'assurer l'anonymat des participants, chaque enfant s'est vu attribuer un numéro de protocole figurant sur les tableaux Excel. Tous les documents, papiers et informatisés, ont été anonymisés, ne permettant pas l'identification des participants.

Nous avons effectué deux types d'analyses des épreuves de chaîne numérique et de dénombrement : une analyse qualitative (commentaires des répondants, temps de passation, de cotation), ainsi qu'une analyse quantitative (indice de difficulté, indice de discrimination) (Laveault & Grégoire, 2023).

Résultats

Dans cette partie, il s'agira de présenter les résultats quantitatifs et qualitatifs obtenus lors des passations, pour nos deux épreuves, celle de chaîne numérique verbale et celle de dénombrement.

.1. Résultats qualitatifs

.1.1. Epreuve de chaîne numérique

Tous les enfants ont accepté de réaliser cette épreuve. Environ cinq minutes étaient nécessaires pour la passation. Afin d'améliorer le déroulé des passations, nous avons recueilli les commentaires des répondants ainsi que les nôtres.

.1.1.1. Compréhension de la consigne

Concernant la consigne, « tu vas compter à voix haute le plus loin que tu peux », plusieurs enfants ont demandé un nombre précis jusqu'auquel compter. Il leur a alors été répondu de compter jusque cent. Certains enfants se sont arrêtés au cours de la récitation de la chaîne numérique. En leur demandant de compter jusqu'à un certain nombre, ils ont su continuer. Plusieurs enfants ont montré des signes de lassitude, avant de commencer la CNV et pendant, surtout les enfants les plus âgés en CM1 et CM2.

La consigne suivante pour la CNV à rebours n'a pas fait apparaître de questions et a été comprise du plus grand nombre. Plusieurs enfants de CP n'ont pas su répondre à cet item malgré la répétition de l'amorce. Pour certains élèves de CP, leur chaîne numérique connue était inférieure à la borne de départ du comptage à rebours.

Les dernières consignes étaient « tu vas maintenant compter à voix haute de deux en deux » avec une amorce. La même consigne a été proposée pour la CNV de cinq en cinq et de dix en dix. Ces consignes n'ont pas soulevé de questions. Une seconde amorce a parfois été nécessaire pour la CNV de dix en dix chez les plus jeunes (CP).

.1.1.2. Stratégies perçues

Concernant la CNV à l'endroit, la vitesse de récitation de la chaîne numérique augmentait avec l'avancée dans la scolarité. Cette accélération a également été visible pour la CNV à rebours à partir de dix (dix, neuf, huit...). Le temps n'ayant pas été mesuré à l'aide d'un chronomètre, ces données sont subjectives.

Pour la CNV de deux en deux, il a parfois été très lent pour plusieurs enfants. Certains ont récité la chaîne numérique en donnant à voix haute les nombres attendus et à voix basse le nombre non attendu. Des autocorrections ont été proposées par plusieurs enfants. La CNV par pas de cinq et par pas de dix étaient généralement rapide.

.1.1.3. Cotation

Le protocole proposé permet de noter facilement les propositions des enfants en cas d'erreurs, voire de saut de dizaine pour la CNV à l'endroit, à rebours et par pas. Une case est manquante dans la partie concernant la CNV de cinq en cinq, la case 75. Enfin, la catégorisation des erreurs demande un temps de réflexion supplémentaire.

.1.2. Epreuve de dénombrement

Les participants ont tous accepté de passer cette épreuve. Le format informatique était attrayant pour eux. Environ deux minutes étaient nécessaires pour la passation de cette épreuve. Afin d'améliorer celle-ci, nous avons recueilli les commentaires des répondants et les nôtres.

.1.2.1. Compréhension de la consigne

Concernant la consigne, « tu vas maintenant compter du mieux que tu peux les points que tu vois à l'écran », elle a parfois fait émerger des questions chez certains enfants lorsque les éléments à dénombrer étaient des points et des carrés. Durant la première journée de passations, les cinq premiers enfants ont demandé s'ils devaient également compter les carrés. La consigne a alors été adaptée pour les suivants : « tu vas maintenant compter du mieux que tu peux les objets que tu vois à l'écran ». La question sur le dénombrement des points et des carrés n'est alors plus apparue.

.1.2.2. Clarté des items et de la présentation générale

La présentation des items comme proposée dans le diaporama n'a pas déclenché de questions pour la majorité des enfants. Cependant, pour l'item 4, le premier avec des éléments hétérogènes au niveau de la couleur, c'est-à-dire avec des éléments bleus et des éléments orange, a questionné plusieurs enfants. Deux enfants ont demandé s'ils devaient compter à la fois les éléments bleus et les éléments orange, trois ont proposé comme réponse « trois orange et trois bleus ». L'item 12, avec des ronds et des carrés, a aussi provoqué ce type de réponse pour un participant. Après ces propositions de réponse, nous avons proposé aux enfants une deuxième possibilité de réponse en leur demandant combien il y avait d'éléments en tout.

Un participant a inclus dans les éléments à dénombrer le rectangle délimitant l'espace de présentation des items. Cela a été relevé lors du pointage de cet élément lors du dénombrement.

.1.2.3. Stratégies perçues

Les stratégies de dénombrement des enfants ne sont pas toujours perceptibles cependant certains oralisent ou effectuent des mouvements pendant la réalisation de la tâche.

Pour les items présentés de façon canonique comme sur un dé, le temps de réponse a été plus court pour la majorité des enfants avec une reconnaissance, du fait de leur disposition et de la quantité à dénombrer. Cependant, certains ont eu besoin de dénombrer chaque élément de ces ensembles.

Au niveau moteur, plusieurs enfants ont effectué un mouvement de la tête de gauche à droite lors des dénombrements en ligne ou non linéaires. Un enfant a fermé un œil pour la réalisation de toute l'épreuve. Plusieurs enfants ont compté sur leurs doigts les éléments à dénombrer.

Des autocorrections ont été régulièrement proposées. Certains participants recomptaient tous les éléments de l'ensemble, les autres donnaient une deuxième réponse à la suite de la première.

Concernant les stratégies de dénombrement, la majorité des enfants comptaient les éléments un à un, certains de deux en deux, voire de trois en trois pour un enfant. Lors des présentations canoniques, plusieurs participants ont proposé « six plus six » ou « quatre plus quatre ».

.2. Résultats quantitatifs

.2.1. Epreuve de chaîne numérique verbale

.2.1.1. Chaîne numérique verbale (CNV) endroit

Le tableau 3 présente les moyennes et écarts-types des résultats obtenus au premier item de l'épreuve de la CNV, en fonction de la classe.

Tableau 3: Moyennes, écarts-types et notes minimales et maximales, par classe pour la chaîne numérique connue et maximale.

	CP (n= 13)	CE1 (n= 11)	CE2 (n= 20)	CM1 (n= 16)	CM2 (n= 15)
Chaîne numérique connue Moyenne ; ET (Min-Max)	54,23 ; 26,52 (17-100)	80,89 ; 27,38 (27-100)	86,30 ; 20,06 (43-100)	96,88 ; 8,54 (75-100)	96,47 ; 13,68 (47-100)
Chaîne numérique maximale Moyenne ; ET (Min-Max)	65,46 ; 27,66 (29-100)	100,00 ; 0,00 (100-100)	96,40 ; 9,63 (69-100)	100,00 ; 0,00 (100-100)	100,00 ; 0,00 (100-100)
Nombre d'erreurs Moyenne	3,85	1,00	1,75	0,25	0,07

Pour cet item, les moyennes augmentent et les écarts-types diminuent avec l'avancée dans le cursus scolaire.

.2.1.2. CNV à rebours

Un pourcentage de réussite par classe a été calculé pour la CNV envers. Les résultats apparaissent dans la Figure 1.

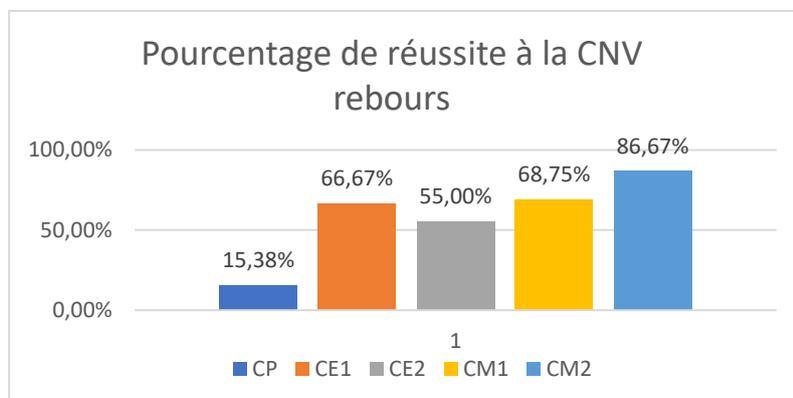


Figure 1: Pourcentage de réussite à l'épreuve de CNV à rebours.

Les pourcentages de réussite augmentent avec les années, passant de 15,38% de réussite pour les CP à 86,67% pour les CM2. Les CE1 ont un pourcentage de réussite plus élevé qu'attendu compte tenu de leur niveau scolaire.

.2.1.3. CNV par pas

Un pourcentage de réussite par sous-item a été calculé.

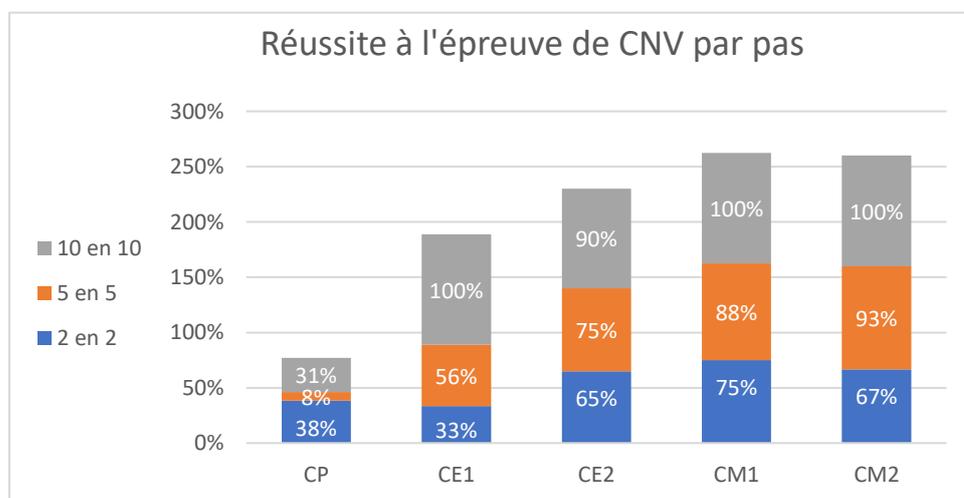


Figure 2: Pourcentage de réussite à la CNV de deux en deux, cinq en cinq et dix en dix.

A cette épreuve, tout comme aux précédentes, les pourcentages de réussite augmentent avec l'avancée dans la scolarité.

.2.2. Epreuve de dénombrement

.2.2.1. Moyennes et écarts-types

Le tableau 4 présente les moyennes et écarts-types obtenus à l'épreuve de dénombrement, en fonction de la classe.

Tableau 4 : Moyennes et écarts-types des résultats obtenus sur dix-neuf par classe de niveau.

	CP (n= 13)	CE1 (n= 11)	CE2 (n= 23)	CM1 (n= 17)	CM2 (n= 15)
Moyennes	15,71	16,80	18,26	17,82	17,53
Ecart-types	3,29	2,10	0,86	1,51	1,60
Min-Max	8-19	12-19	19-19	13-19	14-19

Nous pouvons observer que la moyenne augmente en fonction des classes jusqu'au CE2. En effet, après le CE2, la moyenne des CM1 et CM2 diminue, et passe de 18,26 à 17,53. Concernant les écarts-types, une diminution est observée jusqu'en CE2, c'est-à-dire que le groupe devient plus homogène. Enfin, entre le CE2 et le CM2, l'écart-type augmente en passant de 0,86 à 1,60.

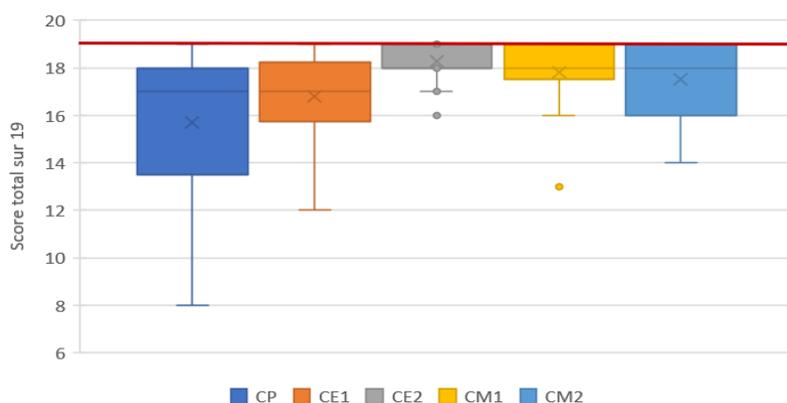


Figure 3 : Boîtes à moustache des scores sur dix-neuf obtenus par les participants par classe.

La figure 3 met en évidence la répartition des scores obtenus en fonction des classes. Nous notons par exemple que 75% des CE2 ont une note supérieure ou égale à 18, contre seulement 50% des CM2.

.2.2.2. Difficulté et discrimination des items

Afin de nous assurer de la juste difficulté de chaque item, nous avons calculé l'indice de difficulté par classe pour chacun. Cela correspond à la proportion de répondants ayant réussi l'item (cf. Annexe n°3). Nous avons également calculé un indice de discrimination qui correspond à la différence entre l'indice de difficulté d'un item pour le groupe dit « fort » par rapport au groupe dit « faible ». Au sein de l'échantillon, 27% des enfants avec les scores les plus élevés ont été sélectionnés ainsi que 27% avec les scores les plus faibles (Laveault & Grégoire, 2023).

Concernant l'indice de difficulté, cinq items sont réussis par 100% des élèves, du CP au CM2. Ces items sont les 1, 2, 3, 17 et 18. Huit items ont un indice de difficulté entre 90 et 99, ce qui signifie qu'ils ont été réussis par plus de 90% des participants (items 4, 6, 8, 9, 11, 14, 16, 19). Trois items ont été réussis par plus de 80% des participants (les items 5, 10, 13). Deux items ont été

réussis par plus de 70% des enfants (items 7 et 15). Enfin, un seul item a été réussi par 67% de l'échantillon (item 12).

Le tableau ci-dessous présente les items classés par ordre de difficulté pour toutes les classes, du plus simple au plus complexe :

Tableau 5: Classement des items en fonction de leur indice de difficulté par classe.

	Item 1	Item 2	Item 3	Item 17	Item 18	Item 19	Item 8
Moyenne indice p	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	0,98
	Item 14	Item 11	Item 4	Item 6	Item 9	Item 16	Item 5
Moyenne indice p	0,97	0,94	0,92	0,92	0,91	0,89	0,87
	Item 10	Item 13	Item 7	Item 15	Item 12		
Moyenne indice p	0,86	0,84	0,76	0,74	0,64		

L'indice de discrimination nous permet de comparer le groupe le plus « fort » par rapport au groupe le plus « faible ». Plus l'indice est élevé, plus l'item est discriminant. Ebel (cité par Lavault, 2023), propose des valeurs repères pour interpréter les coefficients de discrimination :

- 0,40 et plus : item qui discrimine très bien,
- 0,30 à 0,39 : item qui discrimine bien,
- 0,20 à 0,29 : item qui discrimine peu,
- 0,10 à 0,19 : item limite, à améliorer,
- Moins de 0,10 : item sans utilité réelle pour l'examen.

Le tableau 6 s'appuie sur cette classification pour classer les items du plus discriminant au moins discriminant.

Tableau 6 : Répartition des items en fonction des tranches de l'indice de discrimination pour chaque classe.

Indice de discrimination	0,40 et plus	0,30 à 0,39	0,20 à 0,29	0,10 à 0,19	Moins de 0,10
Items	15, 7, 12	16, 13, 10	9, 4, 5, 6, 11	14	8, 19, 1, 2, 3, 17, 18

Parmi les dix-neuf items, nous avons donc des items très discriminants, mais également des items très peu discriminants. Les cinq items pour lesquels l'indice de difficulté était le plus faible donc les plus complexes (7, 15, 12) semblent également être les items les plus discriminants. A l'inverse, les items considérés comme les plus simples avec les indices de difficulté les plus élevés (1, 2, 3, 17, 18, 19, 8, 14) semblent être les moins discriminants.

Les indices de difficulté et de discrimination pour chaque item ont également été calculés pour l'échantillon global (annexe n°4). Les indices calculés pour l'échantillon global sont proches de ceux trouvés pour les échantillons par classe.

.2.2.3. Utilisation du pointage

L'annexe n°5 présente les données relatives à l'utilisation du pointage dans l'épreuve de dénombrement. Nous notons que 86% des enfants ont utilisé uniquement le pointage visuel, 9% le pointage visuel et digital et 5% d'entre eux n'ont utilisé que le pointage digital.

De plus, l'utilisation du pointage digital varie en fonction des classes. Les enfants jusqu'au CE2 utilisent plus le pointage digital ou digital et visuel que les enfants de CM1 et CM2. Les

enfants de CE2 sont également ceux qui ont eu le plus recours au pointage digital ou digital et visuel.

Enfin, le recours au pointage semble différer en fonction de la difficulté des items. Nous avons comparé un item considéré comme simple pour l'ensemble de l'échantillon d'après l'indice de difficulté (item 1), avec un item considéré comme moyen (item 15), ainsi qu'un item considéré comme complexe d'après ce même indice (item 12). Le pourcentage d'utilisation du pointage digital est plus élevé (11,39%) pour l'item le plus complexe comme le montre la figure 4.3 en annexe n°5. Le pourcentage d'utilisation du pointage digital ne varie pas pour les items de faible et de moyenne difficulté (7,59%).

Discussion

L'objectif de ce mémoire était d'effectuer un prétest des épreuves de chaîne numérique verbale et de dénombrement auprès d'enfants scolarisés du CP au CM2. Le but de ce prétest est d'avoir un premier retour auprès d'enfants sur le fonctionnement de ces épreuves en conditions réelles de passation, ainsi que de vérifier leur niveau de difficulté. Nous étudierons d'abord les résultats obtenus lors de notre analyse quantitative. Puis, nous évoquerons les avantages de ces nouvelles épreuves par rapport aux tests existants. Une fois les limites de ces épreuves présentées, nous verrons quelles modifications apporter afin d'optimiser la passation et la cotation.

.1. Analyse des données quantitatives

.1.1. Epreuve de chaîne numérique verbale

Les résultats obtenus par les participants aux trois tâches concernant la CNV montrent une amélioration des performances avec l'avancée dans la scolarité, ce qui est attendu.

Pour la chaîne numérique à l'endroit, elle se précise dès le CE1 pour arriver à une moyenne autour de 97% pour les CM1 et CM2. En même temps que les moyennes augmentent, les écarts-types diminuent, ce qui signifie que les résultats obtenus par les participants sont de plus en plus homogènes.

Concernant l'épreuve de CNV à rebours et l'épreuve de CNV par pas, les pourcentages de réussite augmentent de façon homogène d'année en année. Cela est également attendu avec l'avancée dans les apprentissages.

Les résultats obtenus par les participants aux trois tâches concernant la CNV montrent donc une amélioration des performances avec l'avancée dans la scolarité.

.1.2. Epreuve de dénombrement

Pour cette épreuve, nous notons une augmentation des moyennes et une diminution des écarts-types avec l'avancée dans la scolarité. Nous pouvons relever que dès le CP certains élèves parviennent au score maximal de dix-neuf. Il pourrait donc être intéressant de proposer cette épreuve à des classes inférieures, notamment à des élèves de grande section de maternelle. Nous relevons également que les élèves de CE2 ont un score supérieur aux élèves des classes de CM1 et de CM2. Ces scores élevés pourraient s'expliquer par le fait que les CE2 ont eu le plus recours au pointage digital et donc à un dénombrement précis. Par ailleurs, nous notons qu'entre le CP et le CM2 l'utilisation du pointage a diminué, comme attendu dans la littérature (Lecointre et al., 2005).

.2. Atouts des épreuves du BCM

Dans cette partie, nous allons comparer les épreuves proposées à d'autres épreuves de dénombrement de batteries diagnostiques d'évaluation de la cognition mathématique, également du courant neuropsychologique.

.2.1. Chaîne numérique verbale

L'épreuve de chaîne numérique comme proposée dans le Bilan de Cognition Mathématique (BCM) permet une évaluation exhaustive de tous les particuliers jusque cent, comme dans l'Examath 5-8 (Lafay & Helloin, 2021). L'avantage de la présentation de l'épreuve du BCM est la feuille de recueil des réponses permettant de noter facilement les mots-nombres oubliés, substitués ou encore déformés. Analyser les types d'erreurs produits permet d'orienter la recherche de comorbidités et ainsi d'accompagner la future prise en soin, le cas échéant, grâce à la connaissance des contraintes du patient.

Comme l'Examath 5-8, le Numerical (Gaillard, 2000) et le Tedi-math (Van Nieuwenhoven et al., 2001), l'épreuve du BCM propose des tâches de CNV endroit, envers et par pas. Ce n'est pas le cas de l'Examath 8-15 (Lafay & Helloin, 2016).

L'évaluation proposée dans le BCM comporte moins d'items que celle de l'Examath 5-8. Le vocabulaire utilisé dans les consignes de l'épreuve du BCM est simple, et nous permet de nous assurer que nous évaluons bien la chaîne numérique sans obstacle de compréhension de la consigne. Cela permet également de proposer la même épreuve à des enfants d'une large tranche d'âge.

Nous savons que pour être en mesure de dénombrer l'enfant doit maîtriser le deuxième stade d'acquisition de la chaîne numérique verbale selon Fuson et al. (1982), c'est-à-dire la chaîne numérique non sécable. La CNV à l'endroit permet de vérifier cette acquisition. Les tâches suivantes permettent de vérifier l'automatisation des séquences, ainsi que la flexibilité de la chaîne numérique. L'épreuve de CNV à rebours permet de tester l'acquisition du dernier stade d'apprentissage de la chaîne numérique verbale, aussi appelée chaîne « bidirectionnelle ».

Les réponses données par les participants demandant peu d'interprétation de la part des examinateurs, nous pouvons espérer une bonne fidélité interjuge.

.2.2. Dénombrement

L'épreuve de dénombrement nécessite un temps de passation relativement court. Le format informatique est attrayant pour les enfants. De plus, le nombre d'items proposé est proche de ce qui est attendu pour assurer de bonnes qualités psychométriques. En effet, dix-neuf items sont proposés quand vingt sont recommandés (Beech et al., 1994), contrairement au Numerical qui ne possède que six items par exemple ou encore au Tedi-math qui ne propose que cinq actions de dénombrement.

L'évaluation comme proposée dans le BCM permet de tester assurément quatre des cinq principes du dénombrement : non-pertinence de l'ordre, abstraction, terme à terme, ordre stable.

Le vocabulaire employé au cours de cette épreuve est simple et la consigne ne change pas au cours de l'épreuve contrairement à ce qui est proposé dans l'épreuve de dénombrement de la batterie Examath 5-8. Le dénombrement tel que testé dans l'épreuve proposée est proche de ce qu'un enfant peut retrouver en classe. Nous notons également que la tâche proposée est assez pure concernant les compétences cognitives impliquées. En effet, les éléments à dénombrer sont sobres, ne bougent pas et ne disparaissent pas de l'écran comparativement à ce qui est proposé dans l'épreuve d'Examath 5-8. Cela permet notamment de diminuer la charge attentionnelle, et de

soulager la mémoire de travail. Cette épreuve a pour objectif d'évaluer uniquement le dénombrement et ses principes inhérents. Ce n'est pas le cas de l'épreuve de dénombrement de la batterie Examath 8-15 (Lafay & Helloin, 2016) qui nécessite également l'utilisation des compétences de calcul.

De nouveau, nous pouvons supposer que la fidélité interjuge de cette épreuve sera bonne du fait des réponses binaires apportées par les participants, « vrai » ou « faux ».

.3. Limites et améliorations possibles

Dans cette partie, nous allons présenter les limites et améliorations que nous pouvons proposer afin d'améliorer les épreuves ainsi que leurs passations.

.3.1. Population

La première limite de ces prétests concerne le recrutement de notre population. En effet, comme nous l'ont rapporté plusieurs professeurs, les parents ayant donné leur consentement pour les passations sont les parents d'enfants qui sont plutôt à l'aise en mathématiques. Les données recueillies peuvent donc présenter un biais au niveau de la sélection des participants.

Par ailleurs, des enfants avec des troubles associés ont été inclus dans ce prétest. Leurs résultats sont néanmoins dans la moyenne des enfants de leurs âges. Cependant, la mesure du temps de réponse pour les deux épreuves pourrait apporter des informations supplémentaires sur le temps de traitement nécessaire. En effet, si le traitement est plus coûteux pour eux et donc moins automatisé, nous pourrions voir un temps de réponse plus important malgré une bonne précision de réponse, comme cela a été mis en évidence par Andersson et Ostergren (2012) ainsi que Landerl et Kölle (2009).

.3.2. Epreuve de chaîne numérique

.3.2.1. Items

Une des principales limites de la tâche de CNV endroit telle que proposée est le temps de passation important. Il l'est d'autant plus chez les enfants plus jeunes pour qui la récitation de la chaîne numérique verbale n'est pas encore totalement automatisée (Seron & Fayol, 1994) et prend donc plus de temps. L'origine des erreurs peut donc venir de la maîtrise de la chaîne numérique, mais également des capacités attentionnelles de l'enfant. En effet, la récitation de cette chaîne numérique de un à cent demande d'importantes ressources attentionnelles chez les plus jeunes.

Cette épreuve a pu sembler longue également chez des enfants plus âgés qui maîtrisent leur chaîne numérique verbale et pour qui compter de un à cent a semblé lassant. Pour aucune des classes, la moyenne de la chaîne numérique connue n'atteint cent. Il paraît alors important de questionner l'origine des erreurs commises. Certains enfants récitaient leur chaîne numérique avec beaucoup de détachement, de façon automatique et oubliaient parfois un ou plusieurs mots-nombres. Cette lassitude pourrait s'expliquer par la consigne qui indiquait de compter le plus loin qu'ils pouvaient. En effet, dès la classe de CE1 les enfants sont supposés savoir compter jusque 1000 et 10 000 pour les CE2 (*Repères annuels de progression et attendus de fin d'année du CP à la 3e*, s. d.). La perspective de devoir compter jusque-là peut les avoir découragés. Par ailleurs, plusieurs enfants à la fin de la lecture de la consigne ont demandé à avoir une borne d'arrêt. La limite de cent leur a alors été proposée. Une modification de la consigne pourrait alors être intéressante pour les enfants à partir du CE1: « tu vas compter à voix haute jusque cent, vas-y, c'est à toi ». Une autre possibilité serait de donner comme consigne à l'enfant de compter le plus loin

qu'il peut et que nous l'arrêtons, comme cela est fait dans les épreuves de leximétrie de la batterie Evaleo 6-15. Une autre solution envisageable serait de séquencer l'épreuve en deux parties. Une première partie concernerait la CNV de un à trente et une seconde la CNV de 65 à 90. Cette façon de proposer l'épreuve permettrait également d'avoir plus d'informations sur le niveau de la chaîne numérique selon la classification de Fuson (1982). En effet, avec cette façon de présenter l'épreuve nous proposons une borne inférieure à partir de laquelle compter ce qui correspond au stade de la chaîne numérique sécable. En cas d'échec lorsqu'il est demandé à l'enfant de compter à partir d'une borne inférieure, un comptage à partir de un jusqu'au plus grand nombre que l'enfant connaitrait serait envisageable. S'il y parvient, cela indiquerait qu'il est au stade de la chaîne numérique non sécable. Cette façon de présenter l'épreuve permettrait toujours d'évaluer la maîtrise des « particuliers » de onze à seize et de soixante-dix à quatre-vingt-dix, pour lesquels des difficultés peuvent être notées jusqu'au CE2 (Seron & Fayol, 1994).

Il pourrait également être intéressant de proposer une analyse du temps pour cette épreuve afin de voir le niveau d'automatisation de la séquence. Une présentation informatique pour la cotation comme pour l'épreuve de leximétrie de la batterie Evaleo 6-15 (Maeder et al., 2018) pourrait être pertinente. Cela permettrait de voir le temps nécessaire pour la récitation des différentes parties de la chaîne numérique de un à cent. Avec le même principe que pour l'épreuve de leximétrie, un clic droit sur le nombre permettrait de renseigner le mot-nombre auquel l'enfant est arrivé en quinze secondes par exemple, un clic gauche sur le nombre renseignerait sur une erreur de dénomination et un clic droit dans la case à côté du nombre sur un oubli.

Concernant l'épreuve de CNV à rebours, seuls les enfants ayant atteint le stade de la chaîne numérique sécable selon Fuson (1982) sont en capacité d'y parvenir. L'autre condition est que la chaîne numérique soit maîtrisée jusque cinquante, car il est demandé à l'enfant de compter à rebours à partir de cinquante. Or, plusieurs enfants de CP n'ont pas su lors de la tâche de CNV à l'endroit compter jusque-là. La CNV à rebours à partir de cinquante n'a donc pas été possible, ce qui explique le faible taux de réussite de 15,38% pour les CP. L'adaptation de cette tâche pour cette classe serait donc intéressante. Nous savons que les attendus en fin de grande section de maternelle pour l'Education nationale sont de savoir compter jusqu'à trente (*J'enseigne au cycle 1*, s. d.). Un comptage à rebours à partir de cette borne serait donc plus adapté lorsque l'évaluation orthophonique a lieu lors du premier semestre de CP.

Pour la tâche de CNV par pas, plusieurs enfants se sont arrêtés au cours de leur comptage. Il a fallu leur dire de continuer à compter. Pour éviter cela, il serait intéressant de proposer une borne d'arrêt pour les trois tâches de CNV par pas. Pour la CNV de deux en deux, une borne d'arrêt à trente pourrait être pertinente pour toutes les classes, y compris les CP au premier trimestre. Cela permettrait de s'assurer de la compréhension du principe des pas de deux. Pour la CNV de cinq en cinq et de dix en dix, la borne d'arrêt de cent semble intéressante pour toutes les classes sauf pour les CP premier trimestre pour lesquels un arrêt à 30 serait plus pertinent, car correspondant aux attendus scolaires. La consigne serait alors « tu vas maintenant compter à voix haute de deux en deux jusqu'à trente », « tu vas maintenant compter de cinq en cinq jusqu'à cent » et « tu vas maintenant compter de dix en dix jusqu'à cent ».

.3.2.2. Cotation

Concernant l'épreuve de CNV à l'endroit, il est intéressant de prendre en compte la chaîne numérique connue sans erreur, mais également la chaîne numérique maximale. En effet, comme nous l'avons vu précédemment, des erreurs dues à un manque d'attention peuvent être commises. Il pourrait alors être intéressant de prendre en compte la borne de la chaîne numérique maximale avec

erreurs ainsi que le nombre d'erreurs commises. Des seuils pourraient permettre de définir ce qui est dans la norme et ce qui est déficitaire.

Par ailleurs, l'apprentissage de la chaîne numérique entre zéro et cent évoluant beaucoup entre les classes de grande section, CP, CE1 il serait intéressant de proposer deux étalonnages différents, en début et en fin d'année par exemple, afin d'être au plus proche des compétences attendues de l'enfant.

Concernant la cotation des comptages par pas, au niveau formel, il manque la case pour inscrire le nombre 75 dans la partie comptage par pas de 5. Une question a été soulevée par les examinatrices lors de la cotation du comptage par pas de deux. Trois enfants parmi l'échantillon ont compté à voix haute le nombre attendu et à voix basse le nombre non attendu. Cela révèle une non-automatisation du comptage par pas de deux. Il sera important de définir pour l'étalonnage de cette épreuve auprès d'un plus grand échantillon si cela est accepté ou non. Pour notre prétest, nous avons accepté cette réponse.

.3.3. Dénombrement

.3.3.1. Items

Une des limites de la tâche de dénombrement a été la formulation de la consigne. En effet, il est demandé aux enfants de compter les points alors que pour deux items des points et des carrés sont mélangés. Dès les premières passations, les enfants ont questionné les examinateurs sur cet élément. La consigne a alors été modifiée : « tu vas maintenant compter du mieux que tu peux les objets que tu vois à l'écran » pour tous les participants suivants.

Concernant le choix des items, il faut noter que des items avec des ensembles inférieurs ou égaux à trois ne permettent pas vraiment d'évaluer le dénombrement. En effet, pour la majorité des enfants la quantité sera reconnue en subitizing et non en dénombrant.

Le choix des items présenté devrait également reposer sur leur niveau de difficulté et leur puissance de discrimination. Un item considéré comme « bon », doit avoir un indice de discrimination élevé et un indice de difficulté moyen (Laveault & Grégoire, 2023). Le tableau en annexe 3 présente ces deux indices. Nous relevons que les items les plus complexes sont également les plus discriminants. Cela est valable pour le calcul des deux indices par classe et pour l'échantillon global pour lesquels nous obtenons des résultats très proches. Afin de raccourcir au maximum le temps nécessaire à la passation, la présentation des items pourrait s'appuyer sur celle du test EVIP (Échelle de Vocabulaire en Images Peabody) créée par Dunn et ses collaborateurs (1993) pour lequel les items les plus complexes par rapport à l'âge sont présentés en premier. Le tableau en annexe n°6 présente les items du plus complexe au plus simple et du plus discriminant au moins discriminant pour toutes les classes. Cet ordre pourra être retenu pour le choix de l'ordre de présentation des items par la suite. Si l'item le plus complexe est réussi, nous pouvons considérer que les items inférieurs le seront également. En cas d'échec, l'examineur propose l'item inférieur. De nouveau, si l'enfant échoue, l'item encore inférieur lui est proposé et ainsi de suite jusqu'à obtenir un item réussi.

.3.3.2. Présentation de l'épreuve

Le choix du support de présentation informatique a été questionné. En effet, il est pertinent de s'intéresser à l'effet d'une présentation informatique par rapport à une présentation papier sur le choix du type de pointage. Le support informatisé, même si proposant une situation moins

écologique, a finalement été maintenu, car cela n'a pas empêché certains enfants d'utiliser le pointage digital. De plus, il simplifie la passation pour l'examineur.

Le cadre autour des ensembles à dénombrer ayant posé problème à un participant qui l'a compté parmi les « objets » à dénombrer, il pourrait être supprimé.

Plusieurs enfants, lors des présentations d'ensembles de deux couleurs différentes ou de deux formes différentes ont répondu en séparant les deux sous-ensembles. Une amorce pourrait leur être proposée comme : « en tout, il y a... ». Cependant, ce genre de réponse questionne aussi sur le niveau d'acquisition du principe d'abstraction chez ces enfants.

Enfin, la consigne proposée ne permet pas de s'assurer que le principe de cardinalité est acquis. En effet, nous avons vu précédemment que le résultat du dénombrement pouvait être donné par certains enfants sans pour autant qu'ils aient compris que le dernier mot-nombre énoncé correspond à la cardinalité de l'ensemble d'éléments. Il pourrait alors être intéressant, pour vérifier la compréhension de ce principe, de demander « combien d'objets ? » à l'enfant à la fin de son dénombrement. Si l'enfant doit de nouveau procéder à l'action de dénombrement, le principe n'est pas acquis.

.3.3.3. Cotation

Il serait intéressant de pouvoir calculer différents sous-scores en fonction de la ou des composantes du dénombrement atteintes. Cela permettrait également d'avoir des informations très concrètes sur les besoins pour la future prise en soin. Ces éléments sont en défaveur d'un arrêt automatique de la passation après plusieurs échecs. En effet, si les items sont présentés par ordre de difficulté, l'examineur ne pourra pas toujours savoir si les items les plus simples sont tout de même réussis et aura donc moins d'informations sur le niveau réel de compétence de l'enfant.

Concernant la présentation de la feuille de cotation, il serait intéressant d'avoir une case à cocher lorsque l'enfant utilise un pointage digital, le pointage visuel étant beaucoup plus fréquent.

Une prise en compte du nombre d'autocorrections dans la cotation permettrait d'avoir une indication sur une possible faiblesse des fonctions exécutives et notamment de l'attention et de l'inhibition.

Enfin, il sera intéressant d'ajouter un système de mesure du temps de réponse. Il serait par exemple pertinent de s'intéresser aux temps de réponse pour les items avec une présentation canonique. En effet, ces items devraient être reconnus et donc ne nécessiter qu'un très court temps de réponse.

Conclusion

Ce mémoire s'inscrit dans un projet de création d'une nouvelle batterie d'évaluation de la cognition mathématique à destination des orthophonistes. Ce nouveau matériel d'évaluation s'appuie sur des modèles théoriques cognitivistes et des données récentes issues de la recherche. L'objectif de ce mémoire était d'effectuer le prétest des épreuves de chaîne numérique verbale et de dénombrement auprès d'enfants scolarisés en école élémentaire. Le but du prétest est de vérifier le bon fonctionnement des épreuves ainsi que leur juste niveau de difficulté.

Pour cela, nous avons organisé des passations dans deux écoles du Pas-de-Calais et deux écoles de Haute-Garonne. Au total, quatre-vingts enfants se sont vu administrer les passations. Les résultats obtenus à ces épreuves ont été collectés sur des protocoles papier puis ont été analysés à l'aide du logiciel Excel.

Les résultats quantitatifs obtenus par les enfants à ces deux tâches sont conformes à ce qui était attendu. En effet, nous avons observé une amélioration des scores des participants avec l'avancée dans la scolarité pour les deux épreuves.

Les passations de ces épreuves ont permis également de relever des intérêts spécifiques de ces épreuves par rapport à d'autres épreuves de batteries d'évaluation de la cognition mathématique existantes mais également des limites.

Concernant l'épreuve de chaîne numérique, la tâche telle que proposée permet d'évaluer tous les particuliers jusque cent, possède un lexique simple et permet de tester jusqu'au dernier niveau d'apprentissage de la chaîne numérique verbale d'après Fuson (1982). Cependant, les passations ont mis en évidence un temps de passation parfois important pour les CP et une lassitude chez certains enfants de classes plus avancées questionnant sur la fiabilité des résultats obtenus.

L'épreuve de dénombrement, quant à elle, est rapide à administrer, possède dix-neuf items, ce qui est intéressant au niveau psychométrique et permet de tester plusieurs principes du dénombrement. Certaines modifications ont cependant été proposées afin d'améliorer les passations. Un changement de consigne serait pertinent concernant la forme des objets à dénombrer, mais il serait également intéressant de s'assurer de la compréhension du principe de cardinalité. Une modification de l'ordre de présentation des items a également été proposée. En effet, les items les plus complexes pourraient être proposés en premier afin d'arrêter l'épreuve plus rapidement en cas de réussite.

Ces passations ont donc permis de mettre en avant certains éléments à modifier avant une future normalisation à plus grande échelle qui permettra de définir des âges de référence précis pour l'épreuve de chaîne numérique verbale et de dénombrement ainsi que des scores seuils pathologiques. Ces prochaines étapes pourront être l'objet de futurs mémoires.

Bibliographie :

- Abochaar, D. (2021). *Proposition d'évaluation du dénombrement dans un projet de création de bilan orthophonique de la cognition mathématique*. Université de Lille.
- Alibali, M. W., & DiRusso, A. A. (1999). The function of gesture in learning to count : More than keeping track. *Cognitive Development*, 14(1), 37-56. [https://doi.org/10.1016/S0885-2014\(99\)80017-3](https://doi.org/10.1016/S0885-2014(99)80017-3)
- American Psychiatric Association. (2015). *DSM-5-TR : Manuel diagnostique et statistique des troubles mentaux: Vol. 5e éd.* (Elsevier Masson).
- Andersson, U., & Östergren, R. (2012). Number magnitude processing and basic cognitive functions in children with mathematical learning disabilities. *Learning and Individual Differences*, 22(6), 701-714. <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2012.05.004>
- Arvedson, P. J. (2002). Young Children With Specific Language Impairment and Their Numerical Cognition. *Journal of Speech, Language & Hearing Research*, 45(5), 970. [https://doi.org/10.1044/1092-4388\(2002/079\)](https://doi.org/10.1044/1092-4388(2002/079))
- Bazire, M., Helloin, M.-C., & Lafay, A. (2023). Intervention explicite et graduée ciblant le subitizing conceptuel, le dénombrement et le surcomptage au moyen du logiciel SUBÉCAL chez des enfants présentant des difficultés en mathématiques. *Glossa*, 40-59.
- Beech, J. R., Harding, L., Rolland, J. P., & Mogenet, J. L. (1994). *Tests, mode d'emploi : Guide de psychométrie* (ECPA, les Ed. du Centre de psychologie appliquée).
- Camos, V. (2003). Counting strategies from 5 years to adulthood : Adaptation to structural features. *European Journal of Psychology of Education*, 18(3), 251-265.
- Camos, V., Fayol, Lacert, P., Bardi, A., & Laquière, C. (1998). Le dénombrement chez des enfants dysphasiques et des enfants dyspraxiques. *ANAE—Approche Neuropsychologique des Apprentissages de l'Enfant*, 48, 86-92.
- Carr, M., & Alexeev, N. (2011). Fluency, accuracy, and gender predict developmental trajectories of arithmetic strategies. *Journal of Educational Psychology*, 103(3), 617-631. <https://doi.org/10.1037/a0023864>
- Chevillard, Q., Helloin, M.-C., & Lafay, A. (2022). *Validation d'épreuves de dénombrement et de calcul contenues dans la batterie de tests Examath 5-8*. 134, 57-77.
- Cowan, R. (2008). Why children differ in their mathematical attainment at primary school? *Anales de Psicologia*, 24.
- Dehaene, S. (1992). Varieties of numerical abilities. *Cognition*, 44(1), 1-42. [https://doi.org/10.1016/0010-0277\(92\)90049-N](https://doi.org/10.1016/0010-0277(92)90049-N)

- Dellatolas, G., & Von Aster, M. (2006). *Zareki-R : batterie pour l'évaluation du traitement des nombres et du calcul chez l'enfant* (Paris : ECPA).
- Desoete, A., & Grégoire, J. (2006). Numerical competence in young children and in children with mathematics learning disabilities. *Learning and Individual Differences*, 16(4), 351-367. <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2006.12.006>
- Donlan, C., & Gourlay, S. (1999). The importance of non-verbal skills in the acquisition of place-value knowledge: Evidence from normally-developing and language-impaired children. *British Journal of Developmental Psychology*, 17(1), 1-19. <https://doi.org/10.1348/026151099165113>
- Dunn, L. M., & Thériault-Whalen, C. M. (1993). *Échelle de vocabulaire en images Peabody : EVIP*. PSYCAN.
- Fayol, M. (2008). L'acquisition de l'arithmétique élémentaire. *médecine/sciences*, 24(1), Article 1. <https://doi.org/10.1051/medsci/200824187>
- Fayol, M. (2014). 10 L'apprentissage. La langue écrite et l'arithmétique. In *Traité des sciences et des pratiques de l'éducation* (p. 109-120). Dunod. <https://doi.org/10.3917/dunod.beill.2014.01.0109>
- Fayol, M. (2018). *L'acquisition du nombre: Vol. 3e éd.* Presses Universitaires de France.
- Fayol, M. (2022). *L'acquisition du nombre: Vol. 4e éd.* Presses Universitaires de France.
- Fazio, B. B. (1994). The Counting Abilities of Children With Specific Language Impairment. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 37(2), 358-368. <https://doi.org/10.1044/jshr.3702.358>
- Fazio, B. B. (1996). Mathematical Abilities of Children With Specific Language Impairment. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 39(4), 839-849. <https://doi.org/10.1044/jshr.3904.839>
- Ferrand, L., Lété, B., & Thevenot, C. (2018). *Psychologie cognitive des apprentissages scolaires : Apprendre à lire, écrire, compter*. Dunod. <https://univ-scholarvox-com.ressources-electroniques.univ-lille.fr/book/88920763>
- Fuson, K. C. (2012). *Children's Counting and Concepts of Number*. Springer Science & Business Media.
- Fuson, K. C., Pergament, G. G., Lyons, B. G., & Hall, J. W. (1985). Children's Conformity to the Cardinality Rule as a Function of Set Size and Counting Accuracy. *Child Development*, 56(6), 1429. <https://doi.org/10.2307/1130462>
- Fuson, K. C., Richards, J., & Briars D. J. (1982). The acquisition and elaboration of the number word sequence. In *Children's logical and mathematical cognition : Progress in cognitive development research* (C. J. Brainerd, p. 33-92). Springer-Verlag.

- Gaillard, F. (2000). *Numerical : Test neurocognitif pour l'apprentissage du nombre et du calcul*. Actualités Psychologiques.
- Geary, D. C., Bow-Thomas, C. C., & Yao, Y. (1992). Counting knowledge and skill in cognitive addition: A comparison of normal and mathematically disabled children. *Journal of Experimental Child Psychology*, 54(3), 372-391. [https://doi.org/10.1016/0022-0965\(92\)90026-3](https://doi.org/10.1016/0022-0965(92)90026-3)
- Geary, D. C., Hamson, C. O., & Hoard, M. K. (2000). Numerical and Arithmetical Cognition: A Longitudinal Study of Process and Concept Deficits in Children with Learning Disability. *Journal of Experimental Child Psychology*, 77(3), 236-263. <https://doi.org/10.1006/jecp.2000.2561>
- Gelman, R., & Gallistel, C. R. (1978). *The child's understanding of number*. Harvard university press.
- Gelman, R., & Gallistel, C. R. (2009). *The Child's Understanding of Number*. Harvard University Press.
- Gimbert, F., & Mazens, K. (2021). Quelles relations entre le laboratoire et la salle de classe ? L'exemple de l'apprentissage du nombre chez les jeunes enfants. *Raisons éducatives*, 25(1), 195-214. <https://doi.org/10.3917/raised.025.0195>
- Glasel, H., & Mazeau, M. (2017). Chapitre 4—Diagnostic des troubles praxiques. In H. Glasel & M. Mazeau (Éds.), *Conduite du bilan neuropsychologique chez l'enfant (Troisième Édition)* (p. 131-175). Elsevier Masson. <https://doi.org/10.1016/B978-2-294-73170-9.00004-8>
- Graham, T. A. (1999). The Role of Gesture in Children's Learning to Count. *Journal of Experimental Child Psychology*, 74(4), 333-355. <https://doi.org/10.1006/jecp.1999.2520>
- Grégoire, J., & van Nieuwenhoven, C. (1995). Counting at Nursery School and at Primary School: Toward an Instrument for Diagnostic Assessment. *European Journal of Psychology of Education*, 10(1), 61-75.
- Guedin, N., Thevenot, C., & Fayol, M. (2018). Des doigts et des nombres. *Psychologie Française*, 63(4), 379-399. <https://doi.org/10.1016/j.psfr.2017.07.001>
- Henik, A., Rubinsten, O., & Ashkenazi, S. (2011). The “Where” and “What” in Developmental Dyscalculia. *The Clinical Neuropsychologist*, 25(6), 989-1008. <https://doi.org/10.1080/13854046.2011.599820>
- Hinton, V. M., Flores, M. M., Schweck, K., & Burton, M. E. (2016). The Effects of a Supplemental Explicit Counting Intervention for Preschool Children: Preventing School Failure. *Preventing School Failure*, 60(3), 183-193. <https://doi.org/10.1080/1045988X.2015.1065400>
- Houdé, O., & Tzourio-Mazoyer, N. (2003). Neural foundations of logical and mathematical cognition. *Nature Reviews Neuroscience*, 4(6), Article 6. <https://doi.org/10.1038/nrn1117>

- Jordan, N. C., Kaplan, D., Locuniak, M. N., & Ramineni, C. (2007). Predicting First-Grade Math Achievement from Developmental Number Sense Trajectories. *Learning Disabilities Research & Practice, 22*(1), 36-46. <https://doi.org/10.1111/j.1540-5826.2007.00229.x>
- Koponen, T., Mononen, R., Räsänen P., & Ahonen, T. (2006). Basic Numeracy in Children With Specific Language Impairment : Heterogeneity and Connections to Language. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research, 49*(1), 58-73. [https://doi.org/10.1044/1092-4388\(2006/005\)](https://doi.org/10.1044/1092-4388(2006/005))
- Kremer, J.-M., Maeder, C., & Lederlé, E. (2016). *Guide de l'orthophoniste: Vol. Volume 6 : Le métier de l'orthophoniste : de la formation à la vie professionnelle*. Lavoisier.
- 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., & Helloin, M.-C. (2016). *Examath 8-15 : Batterie informatisée d'examen des habiletés mathématiques*. HappyNeuron.
- Lafay, A., & Helloin, M.-C. (2021). *Examath 5-8 : Batterie informatisée d'examen des habiletés mathématiques chez les enfants de 5 à 8 ans*. Happyneuron.
- Landerl, K., & Kölle, C. (2009). Typical and atypical development of basic numerical skills in elementary school. *Journal of Experimental Child Psychology, 103*(4), 546-565. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2008.12.006>
- Laveault, D., & Grégoire, J. (2023). *Introduction aux théories des tests en psychologie et en sciences de l'éducation* (Deboeck Supérieur). Deboeck Supérieur.
- Le Corre, M., & Carey, S. (2007). One, two, three, four, nothing more : An investigation of the conceptual sources of the verbal counting principles. *Cognition, 105*(2), 395-438. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2006.10.005>
- Lecointre, A., Lépine, R., & Camos, V. (2005). Développement et troubles des processus de quantification. In *La Dyscalculie Trouble du Développement Numérique de L' enfant* (p. 41-75).
- L'Hours, L. (2022). *La place du lexique mathématique au sein du Bilan de Cognition mathématique BCM*. Université de Lille.
- Maeder, C., Roustit, J., Launey, L., & Touzin, M. (2018). *EVALEO 6-15*. Isbergues : Ortho Editions.
- Mazeau, M., & Pouhet, A. (2014). Chapitre 7 - Le nombre : Aspects normaux et troubles développementaux. In M. Mazeau & A. Pouhet (Éds.), *Neuropsychologie et troubles des apprentissages (Deuxième Édition)* (p. 347-394). Elsevier Masson. <https://doi.org/10.1016/B978-2-294-73407-6.00007-0>

- Menissier, A. (2003). Les variations stratégiques chez l'enfant dans le calcul d'additions et de soustractions élémentaires. *Glossa*, 20-33.
- Ménissier, A. (2014). 18. Dyscalculie. In *TDA/H - Trouble Déficit de l'Attention/Hyperactivité* (p. 141-146). Dunod. <https://doi.org/10.3917/dunod.bange.2014.01.0141>
- Ménissier, A. (2022). *Dyscalculie : Comprendre et intervenir sur les difficultés en résolution des problèmes* (Elsevier Masson). Elsevier.
- Metral, E. (2008). *Malette B-LM Cycle 2 : Bilan Logico-mathématique Cycle 2* (Chavanod : Orthopratic).
- Morsanyi, K., van Bers, B. M. C. W., McCormack, T., & McGourty, J. (2018). The prevalence of specific learning disorder in mathematics and comorbidity with other developmental disorders in primary school-age children. *British Journal of Psychology*, 109(4), 917-940. <https://doi.org/10.1111/bjop.12322>
- Nguyen, T., Watts, T. W., Duncan, G. J., Clements, D. H., Sarama, J. S., Wolfe, C., & Spitler, M. E. (2016). Which preschool mathematics competencies are most predictive of fifth grade achievement? *Early Childhood Research Quarterly*, 36, 550-560. <https://doi.org/10.1016/j.ecresq.2016.02.003>
- Noël, M.-P. (2007). Chapitre 9 : L'évaluation des compétences numériques de l'enfant. In *Bilan neuropsychologique de l'enfant* (p. 211-235). Mardaga.
- Noël, M.-P. (2021). *Bilan neuropsychologique de l'enfant : Guide pratique pour le clinicien* (Mardaga).
- Noël, M.-P., & Karagiannakis, G. (2020). *Dyscalculie et difficultés d'apprentissage en mathématiques : Guide pratique de prise en charge* (1-1). De Boeck supérieur.
- Rubinsten, O., & Henik, A. (2009). Developmental Dyscalculia : Heterogeneity might not mean different mechanisms. *Trends in Cognitive Sciences*, 13(2), 92-99. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2008.11.002>
- Sarnecka, B. W., & Carey, S. (2008). How counting represents number : What children must learn and when they learn it. *Cognition*, 108(3), 662-674. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2008.05.007>
- Seron, X., & Fayol, M. (1994). Number transcoding in children : A functional analysis. *British Journal of Developmental Psychology*, 12(3), 281-300. <https://doi.org/10.1111/j.2044-835X.1994.tb00635.x>
- Siegler, R. S. (1987). The perils of averaging data over strategies : An example from children's addition. *Journal of Experimental Psychology: General*, 116(3), 250-264. <https://doi.org/10.1037/0096-3445.116.3.250>

- Soares, N., Evans, T., & Patel, D. R. (2018). Specific learning disability in mathematics : A comprehensive review. *Translational Pediatrics*, 7(1), 48-62. <https://doi.org/10.21037/tp.2017.08.03>
- Van De Rijt, B. A. M., & Van Luit, J. E. H. (1998). Effectiveness of the Additional Early Mathematics program for teaching children early mathematics. *Instructional Science*, 26(5), 337-358.
- Van Nieuwenhoven, C. (1996). Le comptage et la cardinalité, deux apprentissages de longue haleine qui évoluent en interaction. *Revue des sciences de l'éducation*, 22(2), 295-320. <https://doi.org/10.7202/031882ar>
- Van Nieuwenhoven, C., De Vriendt, S., & Hanin, V. (2019). Chapitre 2. Poser un diagnostic. In *L'enfant en difficulté d'apprentissage en mathématiques: Vol. 2e éd.* (p. 29-50). De Boeck Supérieur.
- Van Nieuwenhoven, C., Grégoire, J., & Noël, M.-P. (2001). *Tedi-Math : Test diagnostique des compétences de base en mathématiques* (Paris : ECPA).
- Von Aster, M., & Shalev, R. S. (2007). Number development and developmental dyscalculia. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 49(11), 868-873. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8749.2007.00868.x>

Sites Web utilisés:

- Haute Autorité de Santé. (2017). *Comment améliorer le parcours de santé d'un enfant avec troubles spécifiques du langage et des apprentissages ?*. Consulté 1 avril 2024, à l'adresse https://www.has-sante.fr/upload/docs/application/pdf/2018-01/guide_tsla_vf.pdf
- J'enseigne au cycle 1*. (s. d.). éducol | Ministère de l'Education Nationale et de la Jeunesse | Direction générale de l'enseignement scolaire. Consulté 1 avril 2024, à l'adresse <https://eduscol.education.fr/83/j-enseigne-au-cycle-1>
- Repères annuels de progression et attendus de fin d'année du CP à la 3e*. (s. d.). éducol | Ministère de l'Education Nationale et de la Jeunesse | Direction générale de l'enseignement scolaire. Consulté 1 avril 2024, à l'adresse <https://eduscol.education.fr/137/reperes-annuels-de-progression-et-attendus-de-fin-d-annee-du-cp-la-3e>

Annexes

Sommaire :

Annexe n°1 : tableau des caractéristiques des items de l'épreuve de dénombrement.

Annexe n°2 : lettre d'information aux parents

Annexe n°3 : indices de difficulté et de discrimination par classe

Annexe n°4 : indices de difficulté et de discrimination par item pour l'échantillon global

Annexe n°5 : résultats quantitatifs concernant le pointage

Annexe n°6 : classement des indices de difficulté et de discrimination

Création d'une batterie d'évaluation de la cognition mathématique : épreuves de chaîne numérique verbale et de dénombrement

Discipline : Orthophonie

Lucie Corpel

Résumé :

L'analyse des compétences mathématiques est indispensable pour les orthophonistes chargés de diagnostiquer les troubles d'apprentissage en mathématiques. Pour cela, les orthophonistes doivent utiliser des tests normés et standardisés. Cependant, les outils d'évaluation disponibles actuellement présentent souvent des limites. Ce mémoire s'inscrit donc dans une démarche de création d'une nouvelle batterie d'évaluation de la cognition mathématique, reposant sur des modèles théoriques récents et étant la plus exhaustive possible concernant les épreuves proposées. Le domaine de la cognition mathématique étant large, il est essentiel de proposer aux orthophonistes des outils concis et précis du fait de leurs qualités psychométriques, répondant à leurs contraintes temporelles. Plusieurs épreuves ont auparavant été créées par des étudiantes au cours de leurs mémoires à la suite d'une analyse des tests existants. Ce mémoire a pour objectif de réaliser la phase de prétest des épreuves de chaîne numérique et de dénombrement auprès d'enfants du CP au CM2. Le but de ces passations sera ensuite de vérifier le bon fonctionnement des épreuves et leur juste niveau de difficulté. L'analyse des données obtenues permettra de proposer des modifications de ces épreuves avant qu'elles ne soient présentées à une plus large population au cours de l'étalonnage. Ces épreuves doivent permettre aux orthophonistes de repérer rapidement les difficultés des enfants concernant la chaîne numérique et le dénombrement afin de poser un diagnostic et de proposer une prise en soin la plus adaptée possible.

Mots-clés :

Cognition mathématique, bilan orthophonique, chaîne numérique, dénombrement.

Abstract :

Analysis of mathematical skills is essential for speech and language therapists in diagnosing learning difficulties in mathematics. To do this, speech and language therapists need to use standardized tests. However, the assessment tools currently available often have limitations. This dissertation is therefore part of an effort to create a new battery for assessing mathematical cognition, based on recent theoretical models and as exhaustive as possible in terms of the tests proposed. As the field of mathematical cognition is broad, it is essential to offer SLTs concise and precise tools with psychometric qualities that meet their time constraints. Several tests have already been created by students during their dissertation, following an analysis of existing tests. The aim of this dissertation is to carry out the pre-test phase of the numerical counting and enumeration tests with children from CP to CM2. The aim of these tests will then be to check that they work properly and are at the right level of difficulty. Analysis of the data obtained will make it possible to propose modifications to these tests before they are presented to a wider population during calibration. These tests should enable speech and language therapists to identify children's difficulties with numerical counting and enumeration at an early stage, in order to make a diagnosis and propose the most accurate treatment.

Keywords :

Mathematical cognition, speech therapy assessment, counting, enumeration.

Mémoire encadré par Sophie FRAGON et Sandrine Mejias.

Université de Lille