

MEMOIRE

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

Diana ABOCHAAR

soutenu publiquement en juin 2021

**Proposition d'évaluation du dénombrement dans
un projet de création de bilan orthophonique de la
cognition mathématique**

MEMOIRE dirigé par

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

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

Remerciements

Je tiens tout d'abord à adresser mes remerciements à mes directrices de mémoire, Mesdames Fragnon et Mejias, pour m'avoir encadrée tout au long de ce projet.

Je remercie plus particulièrement Madame Fragnon pour sa disponibilité et ses précieux conseils qui m'ont permis de réaliser au mieux ce travail.

Je remercie tout spécialement Pauline Lecat pour m'avoir soutenue tout au long de cette dernière année et pour avoir partagé généreusement son expérience professionnelle avec moi.

Je remercie ma famille qui a toujours su m'encourager et plus particulièrement Assya qui s'est toujours montrée disponible pour m'aider.

Je remercie Kacem pour son soutien continu durant mon cursus et pour sa participation dans la réalisation de ce mémoire.

Enfin, je remercie mes amies pour tous les moments de joie que nous avons partagés durant ces cinq années.

Résumé :

L'évaluation et la prise en charge des troubles de la cognition mathématique font partie du champ de compétences des orthophonistes. L'objectif de ce mémoire est d'élaborer une épreuve de dénombrement au sein d'une batterie évaluant la cognition mathématique, à destination des patients présentant des difficultés dans ce domaine. Ainsi, nous avons analysé les outils existants comportant une évaluation liée à l'activité de dénombrement pour comprendre les modalités d'évaluation de ce domaine et pour justifier de l'intérêt de créer une nouvelle épreuve. En nous appuyant sur les données théoriques actuelles, nous avons exclu les critères qui ne semblaient pas relever d'une évaluation du dénombrement et avons inclus ceux qui étaient spécifiques à ce domaine. De cette manière, nous avons pu établir qu'aucun outil ne prenait en compte l'entièreté de ces critères. Ainsi, après avoir réfléchi aux principes de création des tests, nous avons construit une épreuve composée de vingt items évaluant tous les domaines propres au dénombrement. Par ailleurs, l'intérêt est qu'elle s'appuie sur un modèle théorique qui met en lien les différents domaines de la cognition mathématique, permettant alors de comprendre le profil du patient évalué. Enfin, le système de notation établi permet de cibler spécifiquement les compétences atteintes et de repérer celles qui sont préservées. En effet, l'objectif ultérieur est de permettre une rééducation adaptée aux besoins du patient. Toutefois, afin d'envisager éventuellement une utilisation clinique de cette épreuve, il sera nécessaire de l'administrer à une population d'étalonnage pour recueillir des normes, puis d'en évaluer les propriétés psychométriques.

Mots-clés :

Évaluation, cognition mathématique, épreuve, dénombrement.

Abstract :

The evaluation and management of mathematical cognition disorders are part of the field of speech therapists. This thesis develops a counting test for a mathematical cognition assessment battery for patients with difficulties in this domain. Thus, we analyzed the existing tools including an evaluation related to enumeration activity to understand the assessment modalities in this domain and to justify the interest of creating a new test. Based on current theoretical data, we excluded criteria that did not fall within the scope of an enumeration assessment and included those specific to enumeration. In this way, we were able to establish that no tool addresses all the considered criteria. Thus, after analyzing the principles behind test creation, we constructed a test made of twenty items screening each specific domain of enumeration. Moreover, it is based on a theoretical model that links the different domains of mathematical cognition, thus allowing to understand the profile of the patient being evaluated. Finally, the established scoring system allowed to target specifically the achieved skills and to identify preserved one's. Indeed, the subsequent objective is to allow a rehabilitation adapted to the patient's needs. However, in order to consider a clinical use of this test, collecting norms and evaluating its psychometric properties on a standardized population is still necessary.

Keywords :

Assessment, mathematical cognition, test, enumeration.

Table des matières

Introduction.....	1
Contexte théorique, buts et hypothèses.....	2
1. Le traitement des quantités.....	2
1.1. L'estimation.....	2
1.2. Le subitizing.....	2
1.3. Le comptage.....	2
2. Le dénombrement.....	2
2.1. Définition.....	2
2.2. Contexte théorique.....	2
2.2.1. Modèle du triple code.....	3
2.2.2. Modèle développemental.....	4
2.3. Les compétences sous-jacentes au dénombrement.....	5
2.4. Les prémices du dénombrement.....	5
2.5. Les principes du dénombrement.....	6
2.6. Le développement des composantes du dénombrement chez l'enfant.....	6
2.6.1. Le développement des cinq principes du dénombrement.....	6
2.6.2. Le développement de l'utilisation fonctionnelle du comptage.....	8
2.6.3. Éléments de synthèse.....	8
3. L'évaluation des compétences de dénombrement.....	9
3.1. Outils d'évaluation existants contenant des épreuves de dénombrement.....	9
3.1.1. Outils issus du courant logico-mathématique.....	9
3.1.2. Outils issus du courant neuropsychologique.....	10
3.1.3. Outils dont le modèle théorique n'est pas mentionné.....	10
3.2. Description des épreuves de dénombrement.....	10
3.2.1. UDN-II (Meljac & Lemmel, 1999).....	10
3.2.2. B-LM Cycle 2 (Metral, 2008).....	11
3.2.3. ERLA (Legeay et al., 2009).....	11
3.2.4. Numerical (Gaillard, 2000).....	11
3.2.5. Tedi-Math (Van Nieuwenhoven et al., 2001).....	11
3.2.6. Zareki-R (Dellatolas & Von Aster, 2006).....	11
3.2.7. MathEval (Heremans, 2011).....	12
3.2.8. EXAMATH 8-15 (Helloin & Lafay, 2016).....	12
3.2.9. N-EEL (Chevrie-Muller & Plaza, 2001).....	12
3.2.10. Exalang 3-6 (Thibault & Helloin, 2006).....	12
3.2.11. ECPN (De Bardot et al., 1995).....	12
3.2.12. BATELEM-R (Savigny, 2001).....	12
3.2.13. NEMI-2 (Cognet, 2006).....	12
4. Buts et hypothèses.....	13
Méthode.....	13
1. Choix d'un modèle théorique de référence.....	13
2. Procédure de création de l'épreuve.....	13
2.1. Définition des objectifs de l'épreuve.....	14
2.1.1. Domaines évalués.....	14
2.1.2. Population cible.....	14
2.2. Mode d'administration.....	14
2.3. Format des items.....	15
2.3.1. Nombre d'items.....	15
2.3.2. Stimulus.....	15
2.3.3. Format de réponses.....	15
2.4. Procédure de cotation.....	15

Résultats.....	15
1. Proposition d'une épreuve de dénombrement.....	16
1.1. Consignes.....	16
1.2. Critères pris en compte dans l'évaluation.....	16
1.3. Mode de présentation et quantité d'éléments à dénombrer.....	16
1.4. Mesure du temps de réponse.....	16
2. Mode de cotation de l'épreuve.....	16
Discussion.....	17
1. Analyse des épreuves de dénombrement existantes.....	17
1.1. Modalité de passation.....	17
1.2. Modalités d'entrée et de sortie.....	18
1.3. Type d'éléments à dénombrer.....	18
1.4. Mode de présentation des éléments à dénombrer.....	18
1.5. Les cinq principes du dénombrement.....	18
1.6. Pointages.....	18
1.7. Stratégies de quantification.....	18
1.8. Utilisation fonctionnelle du comptage.....	19
1.9. Mesure du temps de réponse.....	19
2. Hypothèses de cette étude.....	20
2.1. Première hypothèse.....	20
2.2. Deuxième hypothèse.....	20
2.3. Troisième hypothèse.....	20
3. Présentation et analyse des items élaborés.....	21
3.1. Généralités sur les items.....	21
3.1.1. Ordre de passation des items.....	21
3.1.2. Composition des collections à dénombrer.....	21
3.1.3. Mesure du temps de réponse.....	21
3.2. Items un à cinq.....	22
3.3. Items six à dix.....	22
3.4. Items onze à quinze.....	23
3.5. Items seize à dix-huit.....	23
3.6. Items dix-neuf et vingt.....	23
4. Choix des modalités de cotation.....	24
4.1. Le principe d'ordre stable.....	24
4.2. Le principe de correspondance terme à terme.....	24
4.3. Le principe de cardinalité.....	24
4.4. Le principe de non pertinence de l'ordre.....	25
4.5. Le principe d'abstraction.....	25
5. Proposition de poursuite de l'étude.....	25
Conclusion.....	27
Bibliographie.....	28
Liste des annexes.....	30
Annexe n°1 : Tableau synthétisant les étapes de développement des compétences mathématiques issues d'études anglo-saxonnes.....	30
Annexe n°2 : Tableau synthétisant les outils existants comportant une épreuve d'évaluation du dénombrement.....	30
Annexe n°3 : Items 1 et 2 de notre proposition d'épreuve de dénombrement.....	30
Annexe n°4 : Items 3 et 4 de notre proposition d'épreuve de dénombrement.....	30
Annexe n°5 : Items 5 et 6 de notre proposition d'épreuve de dénombrement.....	30
Annexe n°6 : Items 7 et 8 de notre proposition d'épreuve de dénombrement.....	30
Annexe n°7 : Items 9 et 10 de notre proposition d'épreuve de dénombrement.....	30

<u>Annexe n°8 : Items 11 et 12 de notre proposition d'épreuve de dénombrement.....</u>	<u>30</u>
<u>Annexe n°9 : Items 13 et 14 de notre proposition d'épreuve de dénombrement.....</u>	<u>30</u>
<u>Annexe n°10 : Items 15 et 16 de notre proposition d'épreuve de dénombrement.....</u>	<u>30</u>
<u>Annexe n°11 : Items 17 et 18 de notre proposition d'épreuve de dénombrement.....</u>	<u>30</u>
<u>Annexe n°12 : Items 19 et 20 de notre proposition d'épreuve de dénombrement.....</u>	<u>30</u>

Introduction

La connaissance de la chaîne numérique verbale permet à l'enfant d'accéder au comptage puis au dénombrement des quantités afin d'en déterminer la cardinalité. Pour ce faire, l'enfant utilise le pointage visuel ou digital qu'il fait correspondre à chacun des éléments d'une collection. Le dénombrement est donc une habileté de base que l'enfant doit acquérir afin de lui permettre d'appréhender ultérieurement les autres apprentissages mathématiques, mais aussi pour résoudre des problèmes mathématiques dans des situations de la vie quotidienne.

La rééducation des troubles de la cognition mathématique fait partie du champ de compétences de l'orthophoniste. Ainsi, afin d'évaluer le niveau en mathématiques d'un patient, plusieurs domaines sont à explorer. Pour cela, il semble intéressant de s'appuyer sur le modèle du triple code (Dehaene, 1992) qui cartographie les différents domaines de la cognition mathématique au travers de trois grandes composantes. Ce modèle permet aussi de mettre en lien les différentes habiletés mathématiques et de dresser un profil sur les compétences atteintes et préservées. Dans ce modèle, le dénombrement fait partie du code verbal qui permet la compréhension et la production verbales orales et écrites des nombres. En outre, cette compétence mathématique nécessite également de prendre en compte les cinq principes du dénombrement décrits par Gelman et Gallistel (1978).

Dans la pratique orthophonique, certains outils récents évaluant les compétences mathématiques citent le modèle du triple code (Dehaene, 1992) mais ne s'appuient pas spécifiquement dessus dans la création de leurs épreuves. C'est pourquoi il semblerait intéressant d'élaborer une nouvelle batterie de cognition mathématique construite sur ce modèle, qui répondrait aux données récentes de la recherche, et qui évaluerait de manière exhaustive une large tranche d'âges. L'intérêt serait alors de poser un diagnostic précis et de mettre en place un projet thérapeutique adapté aux difficultés rencontrées par le patient si un suivi s'avérait nécessaire. L'objectif de ce mémoire sera alors de participer à la création d'une batterie d'évaluation des compétences mathématiques en s'intéressant particulièrement au domaine du dénombrement. A cette fin, une analyse qualitative des outils d'évaluation existants comportant des tâches liées au dénombrement sera réalisée afin de réfléchir aux critères pertinents à prendre en compte dans l'élaboration d'une nouvelle épreuve de dénombrement.

Tout d'abord, il sera question d'exposer le contexte théorique lié au domaine du dénombrement puis d'aborder les principes d'évaluation de ce domaine. Les objectifs et hypothèses de ce mémoire seront ensuite explicités avant de soumettre la méthodologie adoptée pour la création d'une épreuve de dénombrement. Concernant les résultats, il sera question de présenter les différents items de l'épreuve créée. Enfin, une discussion sera proposée dans laquelle nous argumenterons les choix réalisés dans l'élaboration de l'épreuve.

Contexte théorique, buts et hypothèses

Dans cette partie, nous nous intéresserons d'abord au traitement des quantités puis plus particulièrement au dénombrement. Nous parlerons ensuite de l'évaluation des compétences de dénombrement. Enfin, nous énoncerons les buts et hypothèses de ce mémoire.

1. Le traitement des quantités

Le traitement des quantités peut se faire de différentes manières, décrites ci-dessous.

1.1. L'estimation

L'estimation renvoie à la quantification rapide mais approximative de grandes collections au-delà de quatre éléments. Au plus la quantité d'éléments à estimer est importante, au plus le risque d'erreur augmente (Fayol, 2018).

1.2. Le subitizing

Le subitizing correspond à la quantification précise et immédiate des collections de petite taille (allant de un à quatre éléments) sans que le temps de réponse ne varie significativement entre les différentes quantités (Fayol, 2018).

1.3. Le comptage

Le comptage, qui se définit par l'action de réciter la chaîne numérique verbale, permet le dénombrement des quantités. Le comptage est donc un outil du dénombrement. Globalement, les enfants apprennent à réciter les mots nombres dans un ordre relativement correct entre deux et trois ans (Landerl, 2019).

2. Le dénombrement

Après avoir proposé une définition du dénombrement, nous évoquerons le contexte théorique dans lequel cette compétence s'inscrit. Nous présenterons après les compétences sous-jacentes et les prémices du dénombrement pour ensuite s'intéresser aux principes du dénombrement (Gelman & Gallistel, 1978).

2.1. Définition

Le dénombrement est la capacité à déterminer la quantité exacte d'une collection, en utilisant le pointage visuel ou manuel des éléments en le faisant correspondre à la chaîne numérique verbale. Ainsi, l'enfant utilise le comptage pour dénombrer, ce qui nécessite la connaissance des mots-nombres constituant la chaîne numérique (Lecointre et al., 2005).

2.2. Contexte théorique

Les modèles théoriques suivants présentent les différentes compétences liées à la cognition mathématique, dont le dénombrement.

2.2.1. Modèle du triple code

Un des courants actuels est celui de la neuropsychologie qui se fonde sur les travaux en neuro-imagerie et sur les études réalisées sur des patients cérébrolésés, mettant en évidence des doubles dissociations cérébrales des compétences numériques, supposant alors un fonctionnement indépendant des structures neuro-anatomiques selon les domaines cognitifs. Cette approche est donc à l'origine d'un fonctionnement modulaire du nombre, schématisé par Dehaene (1992) sous le modèle du triple code qui est découpé en trois composantes :

- le code des quantités renvoie en partie au système numérique approximatif et correspond à la sémantique des nombres. Il serait inné et partagé par un grand nombre d'espèces. Il est sous-tendu par deux compétences à savoir l'estimation et la comparaison de quantités.
- le code verbal permet la production et la compréhension verbale orale et écrite des nombres. Il comprend également les capacités de comptage et de dénombrement, ainsi que la mémorisation des faits arithmétiques.
- le code arabe permet notamment le traitement du code symbolique visuel.

Ces trois modules illustrés en Figure 1, communiquent entre eux et permettent donc toutes les transpositions possibles. Ainsi, ce modèle rend compte du fonctionnement normal et du fonctionnement pathologique du traitement numérique.

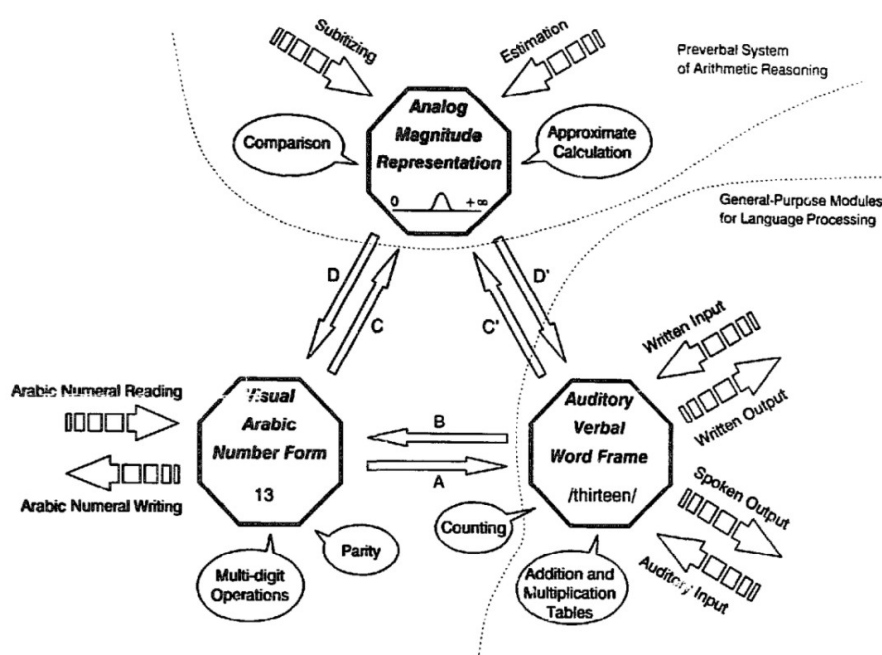


Figure 1. Schématisation du modèle du triple code (issue de Dehaene, 1992).

Concernant la place du dénombrement dans ce schéma, c'est une activité qui débute par une entrée visuelle à savoir une représentation analogique (pattern de points par exemple), et qui se situe donc au niveau du code analogique. Lors de l'énonciation de la chaîne numérique verbale pour le comptage, une connexion s'établit entre le code analogique et le code verbal (flèche D') puisque cela implique la connaissance des mots nombres stockés en mémoire à long terme. En outre, afin d'accéder au sens de chaque mot nombre énoncé et au sens du dernier mot nombre représentant la quantité, cela implique une nouvelle connexion entre le code verbal et le code des quantités (flèche

C'). Il existe donc une bidirectionnalité entre ces deux codes concernant le dénombrement. Enfin, la sortie est orale puisqu'il s'agit d'énoncer les mots nombres.

2.2.2. Modèle développemental

Un autre modèle, illustré en Figure 2, a été proposé par Von Aster & Shalev, (2007) qui intègrent les trois modules du triple code (Dehaene, 1992), mais dans une dynamique développementale. En effet, ces auteurs considèrent le développement de la cognition mathématique comme un mécanisme précoce et long, qui débute avant l'entrée à l'école et qui continue de mûrir tout au long de la scolarité de l'enfant. Ainsi, ce dernier passe par différentes étapes dans son apprentissage :

- l'étape 1 : dès la naissance, l'enfant présente des compétences liées au code analogique qui lui permettent d'appréhender les quantités par le subitizing, la comparaison et l'estimation ;
- l'étape 2 : le code verbal se met en place progressivement dès l'âge pré-scolaire avec l'apprentissage de la comptine numérique permettant donc le comptage et le dénombrement de collections ;
- l'étape 3 : le code arabe s'acquiert ensuite avec l'entrée dans les apprentissages formels. L'enfant commence donc à produire et à lire les nombres arabes notamment, et à réaliser des petits calculs ;
- l'étape 4 : l'enfant commence enfin à construire une représentation mentale des nombres, ce que l'on nomme la ligne numérique mentale. Celle-ci permet à l'enfant de comprendre la notion d'ordinalité.

Ce modèle reflète donc un processus d'apprentissage par palier à mettre en lien avec la maturation neurologique chez l'enfant. De ce fait, chaque compétence mathématique permet le développement des compétences suivantes mais les trois codes décrits sont en co-construction permanente tout au long des apprentissages. Ce modèle permet donc de rendre compte de l'effet délétère sur les apprentissages ultérieurs si une étape ne s'avérait pas suffisamment construite. Une fragilité sur les compétences liées au code verbal conduirait alors à des difficultés plus ou moins importantes, avec un effet en cascade sur les apprentissages liés au code arabe puis sur la représentation mentale du nombre.

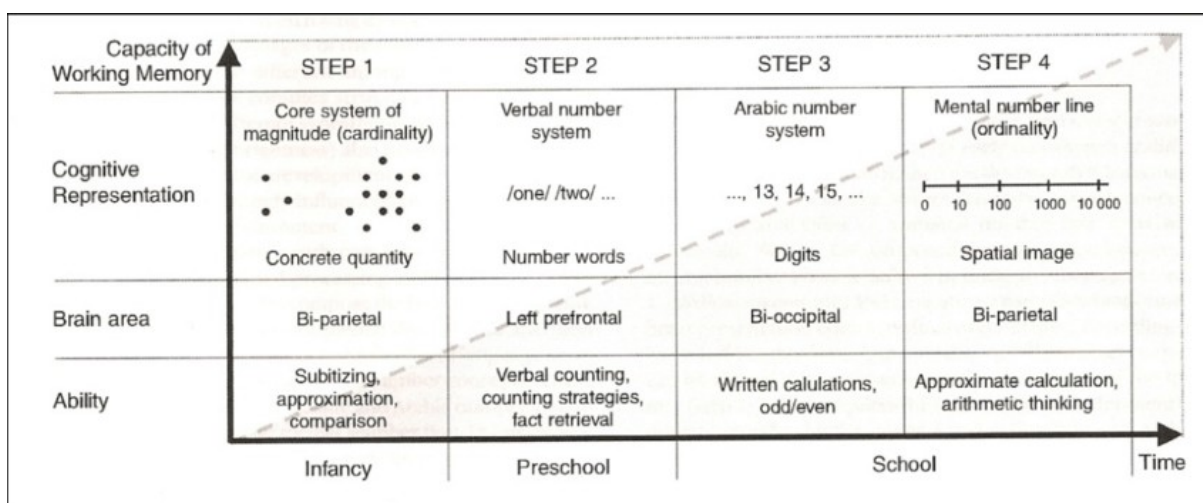


Figure 2 : Modèle développemental de la cognition numérique (issu de Von Aster & Shalev, 2007).

Ainsi, certains outils orthophoniques issus du courant de la cognition mathématique, citent ces modèles (Dehaene, 1992; Von Aster & Shalev, 2007) dans les manuels présentant les différentes épreuves d'évaluation des compétences mathématiques.

2.3. Les compétences sous-jacentes au dénombrement

Les capacités de dénombrement sont largement influencées par des compétences plus larges qui ne sont pas illustrées dans les modèles théoriques présentés ci-dessus. C'est notamment le cas des compétences langagières, attentionnelles, mnésiques et exécutives, ainsi que des compétences visuo-spatiales et praxiques, comme le suggèrent les études suivantes.

Tout d'abord, les compétences langagières nécessitent d'être optimales afin de permettre à l'enfant le développement de la chaîne numérique verbale. En effet, notre système numérique verbal est un système symbolique régi par l'apprentissage d'un lexique (les particuliers allant de un à seize, le nom des dizaines, des centaines, des milliers, etc), ainsi que d'une syntaxe qui permet de combiner les mots nombres à l'infini. Cet apprentissage peut néanmoins poser problème aux enfants porteurs d'un trouble du langage oral : la chaîne numérique verbale est plus courte chez ces enfants que chez les enfants sans difficulté langagière (Bertrand & Camos, 2011). Cela s'explique en partie par la complexité de certains mots nombres du français (notamment les particuliers de onze à seize et les dizaines complexes), ainsi que par des difficultés de mémoire de travail souvent associées aux troubles langagiers.

Les compétences cognitives, telles que les capacités attentionnelles, mnésiques et exécutives ont également une influence sur la réussite de l'activité de dénombrement (Lépine et al., 2003). En effet, cette dernière implique de récupérer en mémoire les mots nombres à réciter et d'inhiber les éléments déjà comptés afin d'éviter les doubles comptages. De plus, les auteurs ont également montré que les enfants ayant des capacités attentionnelles limitées étaient moins rapides pour quantifier des collections.

L'activité de dénombrement implique également la coordination entre le comptage et le pointage visuel ou digital de l'objet compté. Or, les enfants porteurs d'un trouble praxique ou d'un trouble du traitement visuel, peuvent présenter respectivement des difficultés gestuelles et des difficultés d'ordre visuo-spatial (Camos et al., 1998). Par conséquent, ces enfants peuvent avoir des difficultés dans le dénombrement de collections qui se caractérisent par des omissions ou des répétitions.

2.4. Les prémices du dénombrement

En plus des compétences sous-jacentes, il existe également des compétences davantage liées aux compétences mathématiques qui représentent les prémices du dénombrement, à savoir le développement de la chaîne numérique verbale.

Ainsi, la chaîne numérique verbale se développe selon cinq niveaux décrits par Fuson et ses collaborateurs (1982). Il y a d'abord le « chapelet » qui correspond à un tout indifférencié récité comme une comptine par l'enfant, et ce jusqu'à quatre ans environ. Vient ensuite la chaîne non sécable qui correspond à la récitation de la chaîne à partir de « un » uniquement. C'est autour de six ans que l'enfant peut compter à partir d'un nombre donné, ce que l'on nomme la chaîne sécable. Vers sept ans apparaît la chaîne dénombrable c'est-à-dire que l'enfant comprend que chaque mot

nombre est une entité numérique. Enfin, l'enfant acquiert la capacité à compter à rebours, ce qui correspond à la chaîne bidirectionnelle.

2.5. Les principes du dénombrement

Par ailleurs, afin de maîtriser le dénombrement, l'enfant doit pouvoir accéder aux cinq principes de Gelman et Gallistel (1978) qui sont les suivants.

- Le principe d'ordre stable : l'ordre dans lequel les nombres sont énoncés ne changera jamais.
- Le principe d'abstraction : les éléments d'une même collection peuvent être comptés ensemble même s'ils sont de natures différentes.
- Le principe de correspondance terme à terme : le pointage d'un seul élément s'opère à chaque fois que le nombre est énoncé.
- Le principe de non pertinence de l'ordre : le résultat d'une collection sera toujours identique quel que soit l'élément par lequel le comptage a débuté.
- Le principe de cardinalité : le dernier mot nombre énoncé est le total de la collection.

2.6. Le développement des composantes du dénombrement chez l'enfant

Bien que des études aient tenté de le faire (cf. Annexe A1), il est difficile de connaître les âges exacts d'acquisition de ces cinq principes, étant donné les variations interindividuelles des enfants. En effet, les études pour la plupart anglo-saxonnes, se focalisent sur une certaine population d'enfants, mais celle-ci ne peut être réellement représentative de tous les enfants. Il serait donc préférable de s'attacher aux étapes d'acquisition plutôt qu'aux âges d'acquisition des compétences numériques (Butterworth, 2005). Ainsi, il est certain que le comptage se développe très tôt, avant l'entrée à l'école maternelle, d'abord avec la comptine numérique, et que ces compétences préscolaires sont prédictives de la réussite des activités arithmétiques en cours préparatoire (CP ; Levine et al., 2010).

2.6.1. Le développement des cinq principes du dénombrement

Le développement des cinq principes du dénombrement (Gelman & Gallistel, 1978) chez l'enfant a été étudié dans une étude longitudinale menée sur deux ans (Van Nieuwenhoven, 1996). Des épreuves ont été administrées à 94 écoliers belges francophones de troisième maternelle (l'équivalent de la grande section de maternelle en France), puis de première année de primaire (l'équivalent du CP en France). Le tableau suivant présente les résultats de l'étude.

Tableau 1 : Pourcentage de réussite des enfants aux épreuves de dénombrement (d'après Van Nieuwenhoven, 1996).

Principes de dénombrement	Type d'épreuve	Début de GSM N = 94	Fin de CP N = 81
Principe d'ordre stable	Compter jusqu'à 9	79	97
	Compter à partir de 3	30	71
	Compter de 5 à 9	28	87
	Compter à rebours	13	83
	Compter le plus loin possible	95	100
Principe de correspondance terme à terme	Jetons alignés	73	92
	Jetons non alignés	59	95
Principe cardinal	Jetons alignés	73	92
	Jetons non alignés	67	98

Principes de dénombrement	Type d'épreuve	Début de GSM N = 94	Fin de CP N = 81
Principe d'abstraction	Objets variant en forme, taille et couleur	52	79
Principe de non pertinence de l'ordre	Jetons alignés	43	92
	Jetons non alignés	57	92

Afin d'évaluer le principe d'ordre stable, les auteurs ont proposé des tâches de comptage, permettant aussi d'établir le niveau de construction de la chaîne numérique selon Fuson et ses collaborateurs (1982). Concernant l'épreuve pour laquelle il leur est demandé de compter le plus loin possible, la tâche est considérée comme réussie s'ils comptent jusqu'à cinq. Cela semble peu au vu des compétences observées à cet âge, mais l'auteur ne justifie pas son choix. Concernant la longueur de la chaîne numérique verbale, les données montrent toutefois les résultats suivants : en début de grande section de maternelle (GSM), les enfants récitent jusqu'à 20 en moyenne, en fin de GSM et en début de CP, ils récitent en moyenne jusqu'à 42, ce chiffre passant à 57 en fin de CP. Cependant, l'auteur ne précise pas non plus les critères d'arrêt de la tâche : nous ne savons pas si la récitation de la chaîne a été stoppée, ou si le choix d'arrêt revenait aux enfants. Ainsi, ces résultats pourraient varier selon les conditions et les critères d'évaluation et de passation de la tâche.

Le principe de correspondance terme à terme a été évalué en proposant aux enfants des tâches de dénombrement de jetons alignés et de jetons éparpillés, révélant alors un contraste des performances selon l'âge mais aussi selon la modalité de présentation, comme indiqué dans le tableau 1. A noter que l'auteur de cette étude ne précise pas son choix de proposer des jetons alignés et non alignés. Nous pouvons émettre l'hypothèse qu'il s'agit d'observer s'il existe des variations dans les réponses données selon la disposition des éléments. En effet, l'enfant est supposé comprendre le caractère invariant du nombre quelle que soit la disposition des éléments à dénombrer. Toutefois, comme évoqué précédemment, d'autres compétences, telles que les habiletés visuo-motrices, attentionnelles et exécutives notamment, peuvent influencer la réussite à ce type de tâches.

Concernant le principe cardinal, il est également évalué dans des tâches de dénombrement de jetons. Afin d'établir la compréhension de ce principe, la question suivante est posée aux participants : « combien de X y a-t-il en tout ? ». Les auteurs mettent ainsi en évidence les enfants donnant la réponse immédiatement, et ceux ayant besoin de compter de nouveau la collection de jetons.

Concernant le principe d'abstraction, il est évalué en proposant aux enfants de dénombrer des objets de formes, de couleurs et de tailles différentes. Le principe de non pertinence de l'ordre est évalué en proposant des collections de jetons alignés et de jetons non alignés. Comme nous pouvons l'observer dans le tableau 1, les résultats indiquent qu'il s'agit des deux principes acquis le plus tardivement par les enfants.

Ces résultats synthétisés dans le tableau 1 révèlent une nette progression de la compréhension de ces différents principes. Cela s'explique d'une part par des expositions répétées au quotidien de situations impliquant ces compétences, d'autre part par l'entrée dans les apprentissages formels. En effet, le développement de ces compétences, déjà entamé au premier cycle, est largement consolidé dans le programme scolaire de CP. En effet, la maîtrise du

dénombrement, entre autres compétences, fait partie des attendus de fin de cycle 2. De plus, cette habileté de base est exploitée dans le cadre d'exercices liés aux calculs ou à la réalisation de problèmes qui sont une des cibles des apprentissages au CP (Le bulletin officiel de l'Éducation Nationale, 2018, p. 24). Ainsi, les enfants apprennent à mettre en place des stratégies de dénombrement : le pointage digital ou le regroupement avec le calcul d'opérations simples notamment. De plus, ils intègrent progressivement que la tâche de dénombrement a un sens, c'est-à-dire qu'elle est rattachée à des situations concrètes de résolution de problèmes (Grégoire & Van Nieuwenhoven, 1998).

Dans une étude plus récente (Stock et al., 2009), 423 enfants ont été testés en GSM. Les auteurs se sont intéressés particulièrement aux principes d'ordre stable, de correspondance terme à terme et de cardinalité. Les résultats montrent que 62,4 % des enfants de GSM maîtriseraient le principe d'ordre stable, 95,3 % maîtriseraient le principe de correspondance terme à terme et 65,7 % maîtriseraient le principe de cardinalité. Cependant, plus de la moitié de ces enfants ne maîtriseraient pas ces trois principes réunis.

2.6.2. Le développement de l'utilisation fonctionnelle du comptage

Grégoire et Van Nieuwenhoven (1998) ont également abordé le développement de l'utilisation fonctionnelle du comptage. En effet, une fois que le comptage est acquis par l'enfant, son utilisation spontanée n'est pas évidente car il ne prend pas aussitôt conscience de son utilité dans la résolution de problèmes mathématiques impliquant le dénombrement. Ainsi, les auteurs proposent à des enfants de dire s'il y a le même nombre de bouchons sur deux cartons présentant respectivement onze bouchons alignés et onze bouchons dispersés. Les résultats montrent que seulement 42 % des enfants de GSM utilisent le comptage pour comparer le résultat de deux collections alors que 75 % d'entre eux réussissent l'activité de dénombrement seule. En revanche, cette prise de conscience semble présente chez près de 99 % des enfants en fin de CP. Cette étude suggère alors qu'il existe un délai entre la maîtrise du comptage et son utilisation à des fins de dénombrement.

2.6.3. Éléments de synthèse

Les résultats de ces différentes études (Stock et al., 2009 ; Van Nieuwenhoven, 1996) sont hétérogènes, ce qui confirme bien la difficulté à estimer les âges d'acquisition des compétences de dénombrement. Cela pourrait s'expliquer par la variabilité des modalités de passation des tâches selon les études, et notamment en ce qui concerne la taille des échantillons, les critères de présentation et d'évaluation, mais aussi la formulation des questions. En revanche, tous les auteurs s'accordent sur la précocité du développement de ces compétences arithmétiques de base, celles-ci étant présentes avant le début des apprentissages formels, c'est-à-dire avant l'entrée en primaire. Toutefois, ces études mettent en évidence que ces compétences s'affinent au cours de la scolarité de l'enfant.

Pour conclure, l'apprentissage de la chaîne numérique débute vers deux ans et est un prérequis aux compétences suivantes. Les cinq principes du dénombrement (Gelman & Gallistel, 1978) se développent progressivement, d'abord avant l'entrée à l'école primaire, puis se perfectionnent avec des apprentissages ciblés mettant en œuvre des activités de dénombrement. Ces différentes compétences s'acquièrent donc précocement mais selon un processus long, jusqu'à ce que l'enfant comprenne l'intérêt d'utiliser le dénombrement dans ses activités quotidiennes. Ainsi, comme le précise Von Aster et Shalev (2007), cette compétence de base est également nécessaire à

la compréhension du concept de nombre et au développement harmonieux des apprentissages mathématiques ultérieurs.

3. L'évaluation des compétences de dénombrement

L'évaluation et la rééducation des troubles de la cognition mathématique font partie du champ de compétences des orthophonistes. Dans le bilan orthophonique de la cognition mathématique, l'évaluation du dénombrement est incontournable. En effet, il s'agit d'une habileté de base qui se développe avant l'entrée à l'école et qui influence largement l'acquisition des autres domaines mathématiques tels que le calcul, la compréhension du système numérique, la résolution de problèmes, ou encore la représentation mentale du nombre (Von Aster & Shaley, 2007). C'est pourquoi le dénombrement est a priori systématiquement évalué, quel que soit l'âge du patient présentant une plainte liée aux mathématiques. En effet, si le bilan mettait en évidence un échec dans le domaine du calcul par exemple, cela pourrait être lié aux habiletés de dénombrement si celles-ci s'avéraient également échouées. Bien sûr, c'est en mettant en lien les résultats obtenus aux différents domaines mathématiques, qu'une analyse du profil du patient pourra être réalisée afin de concourir à une hypothèse diagnostique.

A noter néanmoins que les pratiques professionnelles s'appuient sur des modèles théoriques différents à savoir la pensée logico-mathématique et la pensée neuropsychologique. Dans cette partie, nous allons donc présenter les outils contenant une évaluation du dénombrement selon leur courant théorique, l'objectif étant de justifier de l'intérêt et de la pertinence de s'inscrire selon un modèle théorique particulier dans l'élaboration d'une nouvelle épreuve d'évaluation du dénombrement.

3.1. Outils d'évaluation existants contenant des épreuves de dénombrement

A propos de la pratique orthophonique, le changement terminologique dans la nomenclature générale des actes professionnels (NGAP), témoigne d'un glissement progressif vers le courant de la cognition mathématique. Ainsi, concernant le bilan orthophonique, l'avenant 16 à la convention nationale des orthophonistes signé le 18 juillet 2017, remplace l'appellation « bilan de la dyscalculie et des troubles du raisonnement logico-mathématique » par « bilan de la cognition mathématique (troubles du calcul, troubles du raisonnement logico-mathématique...) ». De ce fait, les outils évaluant les habiletés mathématiques sont assez hétérogènes compte-tenu des différentes approches théoriques existantes. Nous allons donc présenter tous les outils comportant des épreuves de dénombrement selon les différentes théories afin d'observer s'il existe des différences notables dans la manière d'évaluer cette compétence.

3.1.1. Outils issus du courant logico-mathématique

Différents outils s'appuient sur le courant de la logico-mathématique qui prône l'idée selon laquelle les compétences mathématiques, dont la compréhension du sens du nombre, sont régies par des compétences logiques (la conservation, la classification, la catégorisation et la sériation) sans lesquelles les acquisitions mathématiques ne pourraient se faire.

Des outils issus de ce courant proposent des épreuves liées à l'activité de dénombrement : l'Utilisation Du Nombre (UDN-II ;Meljac & Lemmel, 1999), la mallette Bilan-Logico-Mathématique Cycle 2 (B-LM Cycle 2 ;Metral, 2008) et la mallette Exploration du Raisonnement et du Langage Associé (ERLA ;Legeay et al., 2009).

3.1.2. Outils issus du courant neuropsychologique

Parmi les outils d'évaluation du courant de la cognition mathématique qui sont aussi utilisés en orthophonie, il existe le test cognitif pour l'apprentissage du nombre et du calcul (Numerical ; Gaillard, 2000), le Test diagnostique des compétences de bases en Mathématiques (Tedi-Math ; Van Nieuwenhoven et al., 2001), la batterie d'évaluation du traitement des nombres et du calcul chez l'enfant (Zareki-R ; Dellatolas & Von Aster, 2006), le MathEval (dépistage de la dyscalculie ; Heremans, 2011) et la batterie informatisée d'Examen des habiletés Mathématiques (EXAMATH 8-15 ; Helloin & Lafay, 2016).

Quelques items permettant d'observer les habiletés numériques de base sont proposés dans les batteries dédiées à l'évaluation du langage oral, comme dans les Nouvelles Épreuves pour l'Examen du Langage (N-EEL ; Chevrie-Muller & Plaza, 2001) et dans la batterie d'Examen des fonctions langagières chez l'enfant de trois à six ans (Exalang 3-6 ; Thibault & Helloin, 2006), dans lesquelles il est demandé à l'enfant d'identifier la quantité de collections.

3.1.3. Outils dont le modèle théorique n'est pas mentionné

Des outils pédagogiques pour lesquels les courants théoriques ne sont pas mentionnés, contiennent également des épreuves de dénombrement, tels que les Épreuves Conceptuelles de résolution des Problèmes Numériques (ECPN ; De Bardot et al., 1995) et la Batterie d'Épreuves pour l'École Élémentaire (BATELEM-R ; Savigny, 2001).

Enfin, la Nouvelle Échelle Métrique de l'Intelligence-2 (NEMI-2 ; Cognet, 2006) qui est une échelle d'intelligence, comporte également un subtest examinant cette capacité.

3.2. Description des épreuves de dénombrement

Après une revue des outils contenant des épreuves d'évaluation du dénombrement, différents domaines en ressortent. Globalement, nous pouvons d'abord remarquer que les auteurs se focalisent essentiellement sur les cinq principes du dénombrement (Gelman & Gallistel, 1978). D'autres éléments sont présents selon les outils : l'observation des pointages digital et visuel, les stratégies de quantification (grâce au calcul et à la reconnaissance immédiate des quantités), l'utilisation fonctionnelle du comptage à des fins de dénombrement, et la mesure du temps de réponse. C'est pourquoi ces éléments précités ont été recensés dans un tableau (cf. Annexe A2) afin d'établir une comparaison de ces différents outils. Dans cette partie, une description des épreuves sera alors réalisée. Cela permettra ultérieurement de les analyser afin de déterminer la pertinence ou non de ces critères dans l'élaboration d'une nouvelle épreuve de dénombrement.

3.2.1. UDN-II (Meljac & Lemmel, 1999)

Au sein de la première épreuve « Collections incomplètes », il est proposé à l'enfant de compter le nombre d'objets de deux rangées mises en correspondance après que l'évaluateur a retiré trois puis quatre de ces objets sur l'une des rangées. La deuxième épreuve nommée « Épreuve E », uniquement adressée aux enfants à partir de six ans, consiste pour l'évalué à constituer une même collection de neuf jetons. Pour ces deux épreuves, l'enfant doit se justifier. Ainsi, seul le principe de cardinalité est observé. Le pointage digital et le comptage à voix haute ne sont pas explicitement demandés dans la consigne.

3.2.2. B-LM Cycle 2 (Metral, 2008)

L'épreuve de dénombrement consiste à déterminer le résultat de collections de points dessinés sur des planches. Le principe cardinal est donc évalué. Le comptage à voix haute et le pointage digital ne sont pas demandés. Une épreuve nommée « utilisation du nombre » est également proposée, permettant d'évaluer l'utilisation fonctionnelle du comptage à des fins de dénombrement. Cette épreuve n'est toutefois pas incluse dans celle de dénombrement. Elle consiste à sélectionner le bon nombre de parapluies, de chapeaux et de gants pour chaque garçon disposé linéairement, et suffisamment éloigné des objets afin de forcer l'enfant à dénombrer et non pas à procéder par comparaison comme pour une épreuve de conservation des quantités.

3.2.3. ERLA (Legeay et al., 2009)

Les deux épreuves « Collections mobiles » et « Collections fixes » consistent au dénombrement de collections de cubes et d'images, disposés aléatoirement ou de manière ordonnée, de plus ou moins grande taille. Les principes de cardinalité et d'abstraction sont donc évalués. Le principe de non pertinence de l'ordre est également évalué puisque l'enfant doit donner le cardinal en commençant à compter de l'autre côté de la collection. Le pointage digital n'est pas demandé, ni le comptage à voix haute.

3.2.4. Numerical (Gaillard, 2000)

Concernant l'épreuve nommée « Dénombrement », l'enfant doit énoncer le nombre de points de six collections (dont deux représentant les faces d'un dé, trois positionnées aléatoirement et une positionnée en ligne). Pour les trois dernières collections, il est explicitement demandé à l'enfant de compter à voix haute en utilisant le pointage digital. Ainsi, les principes d'ordre stable, de correspondance terme à terme et de cardinalité sont évalués. Concernant les constellations de dés, la quantification se fait par reconnaissance immédiate d'une représentation canonique.

3.2.5. Tedi-Math (Van Nieuwenhoven et al., 2001)

A l'épreuve « Dénombrement de patterns linéaires », l'enfant doit compter le nombre d'animaux et en donner le résultat. Il doit ensuite donner la cardinalité en commençant à compter par un autre animal sur cette même collection, ce qui permet d'évaluer le principe de non pertinence de l'ordre. La même épreuve est proposée avec des images placées aléatoirement (« Dénombrement de patterns aléatoires »). Le principe d'abstraction est ensuite testé à l'épreuve « Abstraction de la qualité des objets comptés ». Enfin, le principe de cardinalité est testé dans « Épreuves de cardinalité » où l'enfant doit construire deux collections numériquement équivalentes. Concernant le pointage digital, celui-ci n'est pas explicitement demandé, à l'instar du comptage à voix haute. L'utilisation fonctionnelle du dénombrement est testée : l'enfant doit donner le nombre de chapeaux contenus dans la main de l'examineur, appartenant à des bonshommes de neige positionnés sur la table d'évaluation.

3.2.6. Zareki-R (Dellatolas & Von Aster, 2006)

L'épreuve nommée « Dénombrement de points » consiste pour l'évalué à compter et donner le nombre de points dans un premier temps, puis à compter à voix haute en pointant avec le doigt dans un second temps. Les principes d'ordre stable, de correspondance terme à terme et de cardinalité sont donc évalués. Le temps de réponse est également mesuré. Quelques items sont constitués de points représentant les faces d'un dé.

3.2.7. MathEval (Heremans, 2011)

Au sein de l'épreuve « Dénombrement de points », les principes d'ordre stable, de correspondance terme à terme, de cardinalité et de non pertinence de l'ordre sont testés en demandant à l'enfant d'énoncer le cardinal d'une collection puis de dire si le résultat sera le même en commençant le dénombrement par un autre point. Le comptage à voix haute est demandé, mais pas le pointage digital.

3.2.8. EXAMATH 8-15 (Helloin & Lafay, 2016)

L'épreuve « Dénombrement et calcul » est composée de deux sous-épreuves à savoir « Identification d'une collection » et « Production d'une collection ». Dans la première, l'enfant doit donner le résultat de chaque carte représentant des constellations de dés. Dans la deuxième, il doit constituer une collection de points en prenant le moins de cartes possible (celles-ci représentant toujours les faces d'un dé). Cette épreuve évalue le dénombrement via la reconnaissance d'une représentation canonique et le calcul, l'intérêt étant d'observer si le patient utilise des stratégies de regroupement. Parmi les principes de dénombrement, seul le principe cardinal est testé dans cet outil. Le pointage digital n'est pas demandé. Le temps de réponse pour chaque item est mesuré.

3.2.9. N-EEL (Chevrie-Muller & Plaza, 2001)

L'épreuve « Topologie et arithmétique : les canards et les chats » implique l'activité de dénombrement puisqu'il s'agit de déterminer le nombre d'animaux. Le principe cardinal est donc observable, ainsi que le principe d'abstraction à la question « combien d'animaux en tout ? ».

3.2.10. Exalang 3-6 (Thibault & Helloin, 2006)

A l'épreuve « Quantificateurs et nombre : langage mathématique » certaines questions sont posées à l'enfant pour lesquelles il s'agit de donner le nombre d'éléments d'une collection, ce qui évalue le principe cardinal. Cependant, à l'instar de la N-EEL (Chevrie-Muller & Plaza, 2001), cet outil n'a pas pour but d'évaluer les compétences mathématiques mais plutôt le langage oral. L'objectif est effectivement l'évaluation du lexique mathématique, à savoir la connaissance des mots nombres.

3.2.11. ECPN (De Bardot et al., 1995)

Une épreuve propose à l'enfant de décrire une situation dans laquelle il a devant lui trois animaux avec des jetons pour chacun d'eux. Cette épreuve n'évalue pas spécifiquement le dénombrement mais permet d'observer son utilisation fonctionnelle.

3.2.12. BATELEM-R (Savigny, 2001)

Une épreuve propose le dénombrement de collections de moins de dix éléments permettant d'observer le principe cardinal. Le comptage à voix haute et le pointage digital ne sont pas exigés.

3.2.13. NEMI-2 (Cognet, 2006)

L'épreuve « Comptage de cubes » consiste à identifier le nombre de cubes sur huit images, agencés et dessinés en perspective. Cela permet d'observer le principe de cardinalité. Le pointage digital et le comptage à voix haute ne sont pas demandés.

4. Buts et hypothèses

L'objectif de ce mémoire est de proposer une épreuve de dénombrement au sein d'une nouvelle batterie d'évaluation des compétences mathématiques. En effet, les hypothèses suivantes nous amènent à supposer de l'intérêt d'une nouvelle épreuve de dénombrement :

- Les outils actuels manquent d'exhaustivité concernant l'évaluation des différentes composantes du dénombrement.
- Les épreuves de dénombrement existantes contiennent peu d'items, ce qui pose problème dans la validité statistique.
- La cotation des épreuves de dénombrement est globale, ce qui ne permet pas de cibler spécifiquement les sous-domaines du dénombrement atteints.

Ainsi, afin de mettre en avant les compétences préservées ou altérées, il semble nécessaire d'établir précisément une cartographie au sein d'un modèle, de tous les domaines impliqués dans le dénombrement. Pour ce faire, nous allons nous appuyer sur le modèle du triple code (Dehaene, 1992). En effet, celui-ci permet de situer les compétences mathématiques, dont celles liées au dénombrement, au sein des différents codes et d'établir les connexions entre ces codes.

Méthode

Dans cette partie, nous allons présenter le modèle théorique sur lequel nous avons construit notre épreuve de dénombrement. Nous évoquerons ensuite la procédure de création de l'épreuve que nous avons suivie.

1. Choix d'un modèle théorique de référence

Concernant le modèle de référence choisi, proposer une nouvelle épreuve de dénombrement établie sur le modèle du triple code de Dehaene (1992) semblait intéressante même si les approches théoriques n'influencent pas significativement la façon d'évaluer le dénombrement.

En effet, ce modèle est composé de trois modules distincts qui fonctionnent en interconnexion, ce qui nous a permis d'établir les différentes connexions entre les codes concernant l'activité de dénombrement. Dans notre proposition d'épreuve, nous avons pu mettre en évidence les mécanismes impliqués dans le dénombrement à partir de ce modèle.

Nous avons également choisi ce modèle pour permettre aux futurs évaluateurs de mettre en lien le dénombrement avec les autres domaines de la cognition mathématique (exemples : la comparaison analogique, le calcul, le transcodage, etc), eux-mêmes situés au sein du modèle.

Enfin, s'appuyer sur le modèle du triple code nous a permis de réfléchir à une cotation des résultats par module et par compétence pour permettre un diagnostic précis, et par conséquent une rééducation ciblée sur la base d'un projet thérapeutique adapté pour le patient.

2. Procédure de création de l'épreuve

Nous allons présenter les différentes étapes qui nous ont amenée à créer une épreuve de dénombrement.

2.1. Définition des objectifs de l'épreuve

Avant de décider de l'intérêt de créer une épreuve d'évaluation du dénombrement, nous avons réalisé un tableau quantitatif sous *LibreOffice Calc* dans lequel nous avons recensé l'ensemble des outils existants comprenant une évaluation du dénombrement (cf. Annexe A2). Ainsi, nous avons présenté les outils selon leur courant théorique et avons relevé tous les critères pris en compte dans l'évaluation de cette compétence. Les critères sont les suivants : la modalité de passation, la présence de normes chiffrées, les modalités d'entrée et de sortie, le type d'éléments à dénombrer, leur mode de présentation, l'évaluation des cinq principes du dénombrement (Gelman & Gallistel, 1978), les pointages visuel et digital, les stratégies de quantification et la mesure du temps de réponse. Pour chacun de ces critères, nous avons indiqué leur présence ou non au sein des différents outils. Après une analyse de ces épreuves, nous avons retenu certains domaines que nous avons considérés comme pertinents dans l'évaluation de cette habileté de base.

Cette analyse a donc permis de dégager des moyennes afin de connaître le pourcentage d'apparition de tous les critères au sein des outils mêmes, mais aussi parmi les outils. Par exemple, nous pouvons dire que 83 % des domaines pertinents à l'évaluation du dénombrement sont présents au sein de la Tedi-Math (Van Nieuwenhoven et al., 2001) et 17 % des outils évaluent le principe d'abstraction. Dans ce tableau, nous avons également inséré notre proposition d'épreuve afin d'en faire une comparaison avec les outils existants.

2.1.1. Domaines évalués

Nous souhaitons que l'épreuve proposée évalue les différents domaines de l'activité de dénombrement. Ainsi, tous les principes de Gelman et Gallistel (1978) et la vitesse de dénombrement ont été retenus dans l'évaluation. Pour ce faire, une attention particulière a été portée sur la formulation des consignes, afin de s'assurer que les domaines que l'on souhaitait évaluer le soient effectivement.

2.1.2. Population cible

Cette épreuve de dénombrement a pour objectif de participer au diagnostic des troubles des apprentissages liés à la cognition mathématique. Ainsi, toute personne évoquant des difficultés en mathématiques peut bénéficier d'une évaluation complète des différents domaines de la cognition mathématique, dont le dénombrement. De ce fait, quel que soit l'âge du patient, il semble important de dresser un profil complet concernant ses compétences mathématiques afin de préciser le diagnostic. C'est pourquoi notre épreuve peut être proposée aussi bien chez l'enfant que chez l'adulte, le but étant de savoir si les principes du dénombrement sont compris, mais aussi d'observer si les stratégies utilisées sont pertinentes et efficaces pour le niveau attendu.

2.2. Mode d'administration

Notre proposition d'épreuve de dénombrement serait intégrée au sein d'une nouvelle batterie d'évaluation des différents domaines de la cognition mathématique. Le souhait serait de réaliser des épreuves informatisées mais concernant l'épreuve de dénombrement, les items seraient proposés sous format papier avec une mesure du temps de réponse informatisée. A noter que pour des raisons matérielles, nous n'avons envisagé qu'une ébauche d'épreuve qui a été réalisée sous forme de diaporama avec le logiciel *Powerpoint*.

2.3. Format des items

Nous présenterons le nombre d'items que nous avons construits, le type de stimulus constituant notre épreuve, ainsi que le format de réponses attendu.

2.3.1. Nombre d'items

Notre épreuve est composée de vingt items, testant les différents domaines que nous avons considérés comme nécessaires à l'évaluation des capacités de dénombrement. Le nombre d'items choisi se justifie par l'importance de couvrir l'ensemble des domaines à évaluer dans le dénombrement afin de respecter la validité interne. Chaque item de notre épreuve correspond alors à des composantes d'évaluation du dénombrement bien précises. Le but est aussi de respecter la fidélité interjuge de l'épreuve, c'est-à-dire la qualité d'un test à donner des résultats stables indépendamment des modalités d'administration. Ainsi, un minimum de vingt items est attendu pour que cette qualité psychométrique soit respectée (Beech & Harding, 1994).

2.3.2. Stimulus

L'évaluation du dénombrement est faite à partir d'une modalité analogique c'est-à-dire que l'input est visuel et représente différentes constellations fixes d'éléments à dénombrer. Selon les objectifs d'évaluation, la disposition et la nature des éléments sont variables. Ces derniers sont des points ou des formes, et la couleur est parfois différente. Par ailleurs, les éléments composant les différentes collections sont alignés ou éparpillés de façon aléatoire en vue d'évaluer la compréhension des principes du dénombrement.

2.3.3. Format de réponses

Pour chacun des items qui composent notre épreuve, la réponse attendue (l'output) est verbale orale. Il n'existe pas de limite de temps de réponse : le patient répond donc à son rythme. Cependant, nous avons souhaité une mesure du temps de réponse afin d'évaluer la vitesse de dénombrement des collections présentées au patient. Nous souhaitons que cette mesure se fasse automatiquement en millisecondes afin qu'elle soit la plus précise possible. Cependant, les contraintes matérielles ne nous ont pas permis de créer un chronométrage informatisé.

2.4. Procédure de cotation

Dans le cadre de la création de cette nouvelle épreuve de dénombrement, nous avons précisé les principes de cotation de sorte à ce que le patient obtienne un score indépendant pour chaque compétence visée. Ainsi, nous avons veillé à ce que l'évaluation ne soit pas uniquement globale. Il ne s'agit donc pas seulement de savoir si le patient donne le bon ou le mauvais résultat pour chaque numérosité, mais de connaître la raison pour laquelle le patient donne éventuellement une réponse erronée. Ainsi, pour chaque domaine du dénombrement, un certain nombre de points est attribué.

Résultats

Dans cette partie, il s'agira de présenter notre proposition d'épreuve d'évaluation du dénombrement et le principe de cotation choisi.

1. Proposition d'une épreuve de dénombrement

L'épreuve de dénombrement proposée est composée de vingt items (cf. Annexes A3, A4, A5, A6, A7, A8, A9, A10, A11, A12). Nous présenterons les consignes, les critères évalués, le mode de présentation et le nombre d'éléments à dénombrer de notre épreuve. Nous évoquerons également la mesure du temps de réponse.

1.1. Consignes

Voici quelques exemples de consignes proposées dans notre évaluation :

- « Tu vas voir des points. Est-ce que tu peux les compter à voix haute et dire combien il y en a ? » L'examineur observe le type de pointage utilisé.
- Une fois que l'enfant a terminé de compter, et s'il ne donne pas son résultat, c'est-à-dire s'il ne dit pas « il y en a X » ou « (il y a) X points » ou « X », l'examineur pose la question suivante : « Et donc il y en a combien ? »
- L'examineur montre un point à partir duquel l'enfant n'a pas commencé à compter et demande : « Et combien y a-t-il de points en comptant depuis ce point ? »

1.2. Critères pris en compte dans l'évaluation

Les principes du dénombrement de Gelman et Gallistel (1978) ainsi que la mesure du temps de réponse sont pris en compte dans l'épreuve. Aussi, il est indiqué pour chaque item quels principes sont spécifiquement évalués.

1.3. Mode de présentation et quantité d'éléments à dénombrer

En fonction des principes du dénombrement évalués par item, la nature et la disposition des éléments à dénombrer diffèrent. Globalement, les patterns sont composés de points bleus. Lorsque le principe d'abstraction est évalué, les collections sont constituées de points bleus et orange ou de formes différentes de même couleur (des lunes et des étoiles). Par ailleurs, les éléments à dénombrer sont soit alignés, soit éparpillés aléatoirement. Enfin, le nombre d'éléments par item varie entre deux et huit.

1.4. Mesure du temps de réponse

Dans le cadre d'un outil informatisé, nous souhaitons que le temps de réponse de l'enfant évalué soit calculé en millisecondes automatiquement pour chaque item. Ainsi, une fois la consigne donnée par l'évaluateur, nous imaginions que le chronomètre s'enclenche une fois que les éléments à dénombrer apparaissent devant l'enfant.

2. Mode de cotation de l'épreuve

Le mode de cotation choisi consiste à attribuer un point pour chaque principe du dénombrement. Un total des points peut alors être réalisé selon ces principes comme indiqué dans le tableau 2. A noter également qu'un point est attribué à chaque item lorsque le résultat donné par le patient est conforme à la numérosité attendue. Ainsi le score attribué à « résultat correct » se distingue bien du score attribué au principe de cardinalité, ce qui sera expliqué ultérieurement.

Tableau 2 : Maximum de points attribuables items confondus.

Critères évalués	Total des points attribuables items confondus
Ordre stable	1 point
Correspondance terme à terme	20 points
Cardinalité	20 points
Non pertinence de l'ordre	7 points
Abstraction	8 points
Résultat correct	20 points

Discussion

L'objectif de ce mémoire est de proposer une épreuve d'évaluation du dénombrement au sein d'une nouvelle batterie de cognition mathématique. En effet, évaluer les compétences de dénombrement semble nécessaire afin de s'assurer que le patient ait acquis cette habileté de base, indispensable aux futurs apprentissages mathématiques. Afin de proposer une épreuve innovante, répondant aux manques des outils déjà existants et fondée sur le courant théorique actuel, nous avons suggéré une épreuve composée de vingt items. Dans cette partie, nous argumenterons donc sur le choix des différents critères pris en compte dans l'élaboration de cette nouvelle épreuve d'évaluation du dénombrement, en nous appuyant d'abord sur l'analyse des épreuves existantes. Nous décrirons ensuite plus spécifiquement les items composant notre épreuve. Enfin, nous suggérerons de possibles projets de recherche suite à ce mémoire.

1. Analyse des épreuves de dénombrement existantes

D'après le tableau synthétisant les différentes tâches de dénombrement (cf. Annexe A2), l'évaluation de cette compétence est en fait effectuée de façon globalement similaire au sein des outils existants puisqu'il s'agit d'une habileté de base qui ne dépend pas particulièrement des différentes approches théoriques. En effet, les épreuves contiennent généralement des patterns de points/d'objets/d'images à dénombrer à partir desquels l'examineur observe les différentes stratégies utilisées par le patient et évalue les différents domaines du dénombrement indiqués dans les manuels. Il est donc plutôt intéressant de se focaliser sur l'analyse au sein des épreuves mêmes de dénombrement afin d'en dégager les principes d'évaluation et de justifier nos choix dans la création de notre épreuve. Voici donc une analyse des critères relevés dans le tableau en annexe A2.

1.1. Modalité de passation

Les outils présentés dans le tableau (cf. Annexe A2) proposent des épreuves de dénombrement en modalité informatisée ou imprimée (format papier). La modalité informatisée permet une mesure du temps de réponse automatisée (pas systématiquement présente au sein des outils concernés), mais la présentation des constellations d'éléments à dénombrer sur un écran n'est pas très fonctionnelle. En effet, l'utilisation du comptage à des fins de dénombrement dans la vie quotidienne ne se fait généralement pas sur écran mais plutôt dans un espace réel.

Ainsi, afin de proposer une épreuve fonctionnelle, qui soit au plus proche de ce que peut faire un patient au quotidien, il semblait pertinent de proposer une épreuve sous format imprimé, et dont une mesure du temps de réponse se ferait automatiquement sur l'ordinateur.

1.2. Modalités d'entrée et de sortie

L'évaluation du dénombrement se fait sur présentation d'une collection d'éléments, soit en modalité analogique, ce qui est la seule façon d'évaluer cette compétence. Concernant la modalité de sortie, c'est-à-dire la formulation de la réponse, 100 % des outils choisissent la modalité verbale orale. Seul le Zareki (Dellatolas & Von Aster, 2006) exige pour certains items un passage par le code symbolique arabe, c'est-à-dire d'écrire le résultat en nombre arabe. Cela peut être intéressant pour les enfants présentant des difficultés en langage oral (exemple : un enfant peut confondre les mots nombres 14 et 40 à l'oral, mais pas à l'écrit en code arabe). Toutefois, cela impliquerait que tous les enfants évalués connaissent l'écriture des nombres arabes, ce qui n'est pas nécessairement le cas. Ainsi, la modalité orale semble tout de même la plus adaptée dans l'évaluation du dénombrement puisque cette activité se situe majoritairement dans le code verbal oral.

1.3. Type d'éléments à dénombrer

Concernant le type d'éléments à dénombrer, la plupart des outils proposent des patterns de points (soit 33% des outils) ou d'images fixes (soit 39% des outils). D'autres outils proposent des éléments manipulables, ce qui peut être un atout pour les enfants présentant par exemple des difficultés des fonctions exécutives ou de balayage visuel. En effet, ce mode de présentation donne la possibilité de mettre de côté les éléments déjà comptés afin de ne pas risquer les doubles comptages.

1.4. Mode de présentation des éléments à dénombrer

Les épreuves de dénombrement proposent des collections d'éléments disposés de façon ordonnée et/ou aléatoire. Il semble en effet intéressant de comparer les résultats entre ces deux modalités, la première étant plus aisée que la deuxième, et ainsi déterminer le niveau de l'enfant.

1.5. Les cinq principes du dénombrement

Globalement, les cinq principes du dénombrement (Gelman & Gallistel, 1978) sont plus ou moins évalués selon les outils. Toutefois, aucun n'évalue l'entièreté de ceux-ci alors qu'il s'agit de compétences inhérentes à l'activité de dénombrement. Il semble donc nécessaire de s'assurer qu'ils soient tous pris en compte au sein d'une épreuve qui évalue spécifiquement le dénombrement.

1.6. Pointages

Les pointages visuel et digital ne sont pas toujours pris en compte dans les épreuves de dénombrement. Il serait pourtant intéressant de noter la stratégie utilisée par l'enfant afin de connaître son niveau par rapport aux enfants de son âge concernant l'utilisation des stratégies liées au pointage.

1.7. Stratégies de quantification

Certains outils tels que l'EXAMATH 8-15 (Helloin & Lafay, 2016), Numerical (Gaillard, 2000) et Zareki (Dellatolas & Von Aster, 2006 ; soit 17 % au total), évaluent le dénombrement en proposant des patterns de points inférieurs à quatre. Chez les plus grands, ce type d'items pourraient davantage impliquer une quantification immédiate plutôt que par un comptage un à un, ce qui est attendu à partir d'un certain âge. Cependant, il est important de bien identifier ces deux processus dans l'évaluation. En effet, l'objectif de notre proposition d'épreuve est de juger précisément de la compréhension des principes du dénombrement (Gelman & Gallistel, 1978). C'est pourquoi les

items comportant des patterns d'éléments inférieurs et égaux à quatre, ne seront proposés que lorsque l'enfant échoue sur les numérosités plus grandes.

Ces mêmes outils, ainsi que la B-LM Cycle 2 (Metral, 2008), proposent le dénombrement de collections représentant les faces d'un dé. Toutefois, avec l'expérience, l'enfant quantifie des constellations de dés de manière immédiate, ce qui ne relève pas du dénombrement. Ainsi, nous éviterons de proposer ce type de tâches dans le cadre de notre épreuve.

Enfin dans l'EXAMATH 8-15 (Helloin & Lafay, 2016), les auteurs s'attachent également à observer les stratégies de quantification par le calcul plutôt que par le comptage individuel des unités, ce qui semble effectivement être une compétence intéressante à observer chez les plus grands. Toutefois, cela ne relève pas de la capacité de dénombrement selon laquelle il s'agit d'identifier la quantité exacte d'une collection, en utilisant le pointage visuel ou digital des éléments en le faisant correspondre à la chaîne numérique verbale. Certes, les auteurs se justifient en indiquant qu'il s'agit d'une évolution de la capacité à dénombrer mais ces tâches impliquent d'autres compétences à savoir la connaissance des faits arithmétiques pour réaliser de petits calculs. Il ne semble donc pas adéquat d'induire ce type de tâches dans une évaluation portant spécifiquement sur le dénombrement.

1.8. Utilisation fonctionnelle du comptage

Concernant l'utilisation fonctionnelle du comptage à des fins de dénombrement, cette notion est abordée dans 28 % des outils existants. C'est une notion intéressante à prendre en compte dans une évaluation des compétences mathématiques chez l'enfant car elle permet de s'assurer que le patient sait utiliser le comptage spontanément pour résoudre des situations de la vie quotidienne qui le nécessitent. Toutefois, la présence d'items évaluant cette compétence, comme dans la B-LM Cycle 2 (Metral, 2008), peut rendre complexe l'interprétation du résultat si l'enfant procède en faisant de l'estimation. En effet, il peut être amené à sélectionner une quantité approximative des objets à mettre en correspondance avec la quantité proposée. Bien que le comptage soit normalement attendu, cette stratégie peut finalement aussi être adaptée à la situation. Par ailleurs, proposer une épreuve inspirée de celle de Grégoire et Van Nieuwenhoven (1998) comme vu précédemment, peut relever davantage d'une épreuve de comparaison de quantités analogiques. Il ne semble donc pas pertinent de proposer ce type de tâches au sein d'une épreuve de dénombrement car cela peut impliquer d'autres processus de traitement des quantités.

1.9. Mesure du temps de réponse

La mesure du temps de réponse est très peu répandue : seuls le Zareki (Dellatolas & Von Aster, 2006) et l'EXAMATH 8-15 (Helloin & Lafay, 2016) en tiennent compte, ce qui correspond à 11 % des outils existants. Il serait pourtant intéressant de différencier la réponse donnée par le patient, de l'automatisation de celle-ci.

Concernant le Zareki (Dellatolas & Von Aster, 2006), la mesure du temps de réponse se fait par un chronomètre que l'évaluateur active lorsqu'il présente le support après qu'il a expliqué la consigne à l'enfant. Dans l'EXAMATH 8-15 (Helloin & Lafay, 2016), l'épreuve est informatisée, ce qui permet un calcul automatique du temps de réponse lorsque la cible apparaît à l'écran. D'après les manuels, l'enfant prend le temps qu'il souhaite pour répondre, il n'existe donc pas d'arrêt automatique. Dans les deux cas, la mesure est stoppée lorsque le patient a donné sa réponse.

2. Hypothèses de cette étude

Nous allons revenir sur les hypothèses que nous avons établies et qui nous ont permis de créer notre épreuve de dénombrement.

2.1. Première hypothèse

La première hypothèse de ce mémoire était la suivante : les outils actuels manquent d'exhaustivité concernant l'évaluation des différentes composantes du dénombrement. Cette affirmation est à nuancer dans la mesure où nous avons fait le choix d'inclure un certain nombre de critères que nous avons considérés comme nécessaires à une évaluation exhaustive du dénombrement. Ainsi, nous avons relevé qu'aucun outil ne propose une évaluation incluant tous les principes de Gelman et Gallistel (1978) ainsi que la vitesse de dénombrement. Par ailleurs, nous avons également choisi d'exclure certains critères qui ne nous semblaient pas relever d'une évaluation du dénombrement, bien qu'ils puissent être intéressants à observer : l'utilisation fonctionnelle du comptage à des fins de dénombrement ou encore les stratégies de quantification par l'utilisation du calcul notamment. Cette hypothèse ne peut donc être tout à fait validée.

Concernant notre épreuve, 100 % des critères pré-cités, considérés comme nécessaires à l'évaluation du dénombrement, ont été retenus (cf. Annexe A2). Pour ce faire, nous avons pris en compte d'autres composantes essentielles à une évaluation précise de ces différents domaines : le comptage à voix haute, ainsi que le nombre, la disposition et la nature des éléments ont été contrôlés. De plus, chaque item prend en compte une mesure du temps de réponse.

2.2. Deuxième hypothèse

La deuxième hypothèse était la suivante : les épreuves de dénombrement existantes contiennent peu d'items, ce qui pose problème quant à la validité statistique. En effet, comme nous pouvons le constater dans le tableau en annexe A2, aucun outil ne propose un nombre d'items égal ou supérieur à vingt alors que cela est nécessaire pour répondre aux qualités psychométriques des tests. Cette hypothèse peut donc être validée.

Dans la réalisation de notre épreuve d'évaluation du dénombrement, nous avons pris soin d'élaborer une vingtaine d'items pour tenter de répondre à cette exigence.

2.3. Troisième hypothèse

La dernière hypothèse était la suivante : la cotation des épreuves de dénombrement est globale, ce qui ne permet pas de cibler spécifiquement les sous-domaines du dénombrement atteints. Cette hypothèse peut être validée puisque aucun outil ne propose de coter les items de manière à avoir des résultats ciblés selon les domaines évalués dans le dénombrement. En effet, la cotation est globale c'est-à-dire qu'elle ne prend en compte que le résultat de la collection à dénombrer donné par le patient. Cela implique alors pour l'évaluateur de réaliser une analyse qualitative concernant la préservation des compétences liées aux principes du dénombrement notamment.

Notre épreuve a été réalisée de sorte à ce qu'un résultat soit dégagé pour chaque principe du dénombrement. Cela permet de cibler quelle composante du dénombrement est atteinte et de faciliter l'analyse qualitative dans le but d'émettre des hypothèses sur l'origine des difficultés.

3. Présentation et analyse des items élaborés

Nous allons aborder les généralités sur l'épreuve de dénombrement puis ferons une analyse pour chaque item proposé.

3.1. Généralités sur les items

Nous allons présenter nos choix de composition des collections et de mesure du temps de réponse.

3.1.1. Ordre de passation des items

L'objectif de cette épreuve serait d'administrer les items selon le niveau attendu. Ainsi, les items sont classés selon un ordre croissant de difficulté : les petites numérosités apparaissent avant les plus grandes, la modalité alignée est présentée avant la modalité aléatoire, et le critère d'homogénéité des items est proposé avant celui d'hétérogénéité. Par ailleurs, en plus d'administrer les items selon le niveau attendu par le patient évalué, l'intérêt est aussi de proposer des items d'un niveau inférieur dans le cas où il échouerait. Pour ce faire, le recueil de normes permettra d'établir les niveaux à partir desquels telle compétence et telle stratégie sont attendues.

3.1.2. Composition des collections à dénombrer

Chaque item est constitué de huit éléments maximum. Il semblait effectivement impératif que la quantité d'éléments à dénombrer soit relativement petite puisque l'intérêt n'est pas d'évaluer la longueur de la chaîne numérique verbale, mais bien la compréhension des principes du dénombrement (Gelman & Gallistel, 1978). En effet, il ne faudrait pas confondre méconnaissance de la chaîne numérique verbale et incompréhension de ces principes. Nous avons donc tenté de minimiser ce biais, mais cela ne l'écarte pas totalement puisque certains patients pourraient méconnaître la chaîne numérique jusque huit. Cependant, il semblait nécessaire de varier le nombre d'éléments à compter pour que les résultats par item ne soient pas toujours les mêmes afin d'éviter un processus d'habituation qui pourrait conduire le patient à donner une réponse par essai-erreur.

Concernant les éléments qui constituent chaque collection, nous avons choisi des points afin que l'épreuve soit la plus neutre possible pour éviter toute distraction possible. Par ailleurs, cela évite certains biais, notamment en ce qui concerne le niveau de compréhension lexicale de l'enfant puisque un seul terme (« points ») est utilisé pour dénommer ces éléments dans la consigne. Toutefois, certains items ont été construits avec des formes afin de s'assurer que les résultats obtenus par l'enfant soient les mêmes quelle que soit la nature des éléments à dénombrer. Nous justifierons par la suite ce choix de manière plus approfondie.

3.1.3. Mesure du temps de réponse

Pour chaque item, nous avons le souhait que le temps de réponse soit pris en compte. L'objectif est ainsi d'évaluer le temps que met l'enfant à dénombrer chaque collection. Cela permet de calculer le rapport entre l'exactitude de la réponse et la vitesse de traitement. Ainsi, par rapport à leur classe d'âges, certains enfants auront des résultats attendus aussi bien en exactitude qu'en vitesse. Certains privilégieront la vitesse de traitement à l'exactitude, alors que d'autres privilégieront l'exactitude à la vitesse de traitement. Cela permet donc une analyse quantitative mais aussi qualitative sur l'automatisation de l'activité de dénombrement.

Il sera donc important de tenter d'identifier la raison d'une éventuelle lenteur : incompréhension des principes du dénombrement, méconnaissance de la chaîne numérique verbale, difficultés langagières (difficultés articulatoires ou encore difficultés d'accès lexical), difficultés attentionnelles, difficultés exécutives, difficultés visuelles, etc.

La mesure du temps de réponse pose toutefois problème au niveau méthodologique. En effet, nous avons proposé de chronométrer à partir du moment où l'évaluateur énonce la consigne et lorsque la collection à dénombrer apparaît devant l'enfant, puis de stopper le chronomètre lorsque l'enfant donne sa réponse. Cependant, dans le cas où l'enfant n'énonce pas le résultat, de sorte à ce que sa réponse soit différenciée du dernier mot nombre, nous ne pouvons pas nous assurer de sa compréhension du principe cardinal. Ainsi, notre épreuve est construite de sorte à ce que la question « et donc, il y en a combien ? » soit posée si cette situation se présente, or cela augmente significativement le temps de réponse.

3.2. Items un à cinq

L'objectif de ces cinq premiers items est l'évaluation des principes d'ordre stable, de correspondance terme à terme et de cardinalité à partir de petites numérosités (inférieures et égales à quatre) disposées linéairement ou aléatoirement. Ces items ne seraient proposés à l'évaluation que dans le cas où le patient échouerait aux items composés de collections plus grandes. Cela permettrait de s'apercevoir si le dénombrement de petites collections est possible, ce qui correspondrait à un niveau de compétences inférieur à ce qui est attendu.

3.3. Items six à dix

L'objectif de ces items est d'évaluer les principes d'ordre stable, de correspondance terme à terme, de cardinalité et de non pertinence de l'ordre, à partir de collections de points présentées linéairement puis aléatoirement.

Afin d'évaluer le principe d'ordre stable, il est nécessaire que l'évaluateur écoute l'énonciation de la chaîne numérique verbale. C'est pourquoi le comptage à voix haute est imposé dans la consigne pour cet item. Concernant le principe de correspondance terme à terme, son évaluation implique également un comptage à voix haute, mais aussi l'observation du pointage. Il sera donc important que l'évaluateur observe le type de pointage utilisé (visuel ou digital), ainsi que la qualité de ce pointage. Par ailleurs, il sera intéressant de mettre en évidence l'utilisation éventuelle du pointage digital lorsque celui-ci n'est plus attendu pour l'âge.

Enfin, le principe de non pertinence de l'ordre est évalué en demandant à l'enfant combien il y a de points en comptant à partir d'un point donné, celui-ci étant un point à partir duquel l'enfant n'a pas débuté son comptage. Ce choix de formulation a été privilégié par rapport à la formulation suivante qui évaluerait davantage la conservation des quantités comme on peut le retrouver dans les épreuves dites logico-mathématiques : « si tu comptes en commençant ici (l'évaluateur montre un autre point à partir duquel l'enfant a débuté son comptage), est-ce que tu penses qu'il y aura aussi X points ? ».

Une présentation linéaire des éléments à dénombrer permet une évaluation la plus neutre possible, en permettant de limiter les erreurs possibles liées à des difficultés visuo-attentionnelles notamment. Toutefois, il n'est pas suffisant d'évaluer le dénombrement à partir d'éléments alignés.

En effet, l'étude de Van Nieuwenhoven (1996) montrait des résultats différents selon la présentation linéaire et la présentation éparpillée des éléments (cf. Tableau 1). C'est pourquoi il est également proposé cette modalité afin de comparer les résultats de l'enfant et de tenter de comprendre la raison d'une telle différence.

3.4. Items onze à quinze

Il s'agit pour ces cinq items d'évaluer les principes d'ordre stable, de correspondance terme à terme, de cardinalité et d'abstraction à partir de patterns de points alignés puis éparpillés. Étant donné que l'un des objectifs de cette épreuve est l'évaluation du principe d'abstraction, il semble pertinent d'exiger un pointage digital afin d'observer facilement cette compétence. Ainsi, dans le cas où le patient ne comprendrait pas ce principe, il omettrait le comptage et le pointage des points colorés différemment.

Les collections sont constituées de points bleus et de points orange. Ce changement de couleur permet d'observer l'acquisition du principe d'abstraction. Ainsi, l'enfant est supposé compter l'ensemble des points, et non pas privilégier une couleur plutôt qu'une autre, ni même donner deux résultats distincts selon la couleur. Les couleurs choisies sont d'ailleurs volontairement opposées sur le cercle chromatique afin d'éviter toute confusion visuelle et de s'assurer que le principe d'abstraction est spécifiquement évalué.

3.5. Items seize à dix-huit

L'objectif de cette épreuve est d'évaluer les principes d'ordre stable, de correspondance terme à terme, de cardinalité et d'abstraction à partir de patterns d'éléments constitués d'étoiles et de lunes de la même couleur, éparpillés de façon aléatoire.

Les consignes sont exactement les mêmes que pour les items précédents dans lesquels le principe d'abstraction est également évalué, hormis concernant le nom des éléments à dénombrer. Nous parlons donc de « formes » mais n'utilisons pas les termes précis « lunes et étoiles » afin de s'assurer que l'enfant compte bien sans indiquer tous les éléments indépendamment de leur nature, ce qui permet d'observer la compréhension du principe d'abstraction.

Afin d'évaluer ce principe, il s'agit ici de varier les formes et non pas les couleurs. Cela permet en effet de mettre en exergue une éventuelle différence dans les réponses données par l'enfant. Ainsi, nous pouvons observer si l'enfant respecte le principe d'abstraction davantage dans une des deux modalités. En effet, certains enfants pourraient rebuter à compter un ensemble d'éléments de formes différentes, ne les considérant pas comme faisant partie d'une même catégorie, alors même que le seul changement de couleur ne poserait pas problème.

3.6. Items dix-neuf et vingt

A l'instar des items six à dix, l'objectif de ces items est d'évaluer les principes d'ordre stable, de correspondance terme à terme, de cardinalité et de non pertinence de l'ordre à partir de patterns de points éparpillés aléatoirement. La seule différence avec les items précédents réside dans le fait que l'examineur apporte une aide visuelle en posant un cache sur chaque élément dénombré et pointé par l'enfant, afin d'éviter les doubles comptages ou les oublis. Cet item inspiré des outils utilisant des objets manipulables, a pour objectif de s'assurer que les erreurs de dénombrement que commettrait l'enfant évalué s'expliquent bien par une incompréhension des principes du

dénombrement, et non pas par des difficultés concernant certaines compétences sous-jacentes au dénombrement (exemples : difficultés attentionnelles, exécutives, de balayage visuel, etc). Dans ce cas, il serait bien sûr difficile de connaître la cause sous-jacente aux difficultés de l'enfant, mais cela permettrait d'orienter vers la réalisation d'examens complémentaires afin d'affiner le diagnostic. Ces items ne pourraient être proposés au patient que lorsque les items précédents ne sont pas réussis.

4. Choix des modalités de cotation

Concernant les modalités de cotation, il semble important d'expliquer quelles réponses sont attendues et acceptées pour chaque item. Le choix de cotation a été réfléchi de sorte à ce que chaque principe du dénombrement soit noté individuellement. L'objectif est ainsi de permettre une cotation ciblée contrairement à ce que l'on trouve dans les outils existants qui proposent une cotation globale du dénombrement. Souvent, les points sont attribués si l'enfant donne la quantité exacte des différentes numérosités. Cela implique donc que l'examineur réalise par ses propres moyens une analyse qualitative quant à la raison d'un éventuel échec à l'épreuve de dénombrement. C'est pourquoi nous avons construit cette nouvelle épreuve de manière la plus standardisée possible afin de s'assurer que chaque principe du dénombrement soit évaluable. Par conséquent, le mode de cotation est également précis puisque les points sont attribués selon ces différents domaines qui sont clairement cités, permettant à l'évaluateur de cibler les performances et les difficultés de l'enfant.

4.1. Le principe d'ordre stable

Les vingt items de l'épreuve proposée prennent en compte l'évaluation de l'ordre stable, l'évaluateur devant être attentif à l'énonciation de la chaîne numérique. Cependant, un point par item ne peut être attribué au fur et à mesure donnant alors une note globale sur vingt points. En effet, nous considérons que ce principe est respecté à partir du moment où la chaîne numérique énoncée est récitée toujours dans le même ordre quand bien même celle-ci comporterait des erreurs. Ainsi, nous avons choisi d'attribuer un point au décours de la passation des vingt items si la chaîne énoncée par l'enfant est identique pour chaque item.

Enfin, un point est donné pour chaque réponse conforme à la numérosité représentée pour chaque item. Cela permet en effet de notifier le cas où un patient aurait acquis tous les principes du dénombrement, y compris l'ordre stable, mais pour lequel une erreur demeure dans l'énonciation de la chaîne numérique verbale. Cela permet donc de distinguer les performances liées à la réussite des domaines du dénombrement, aux performances liées aux prérequis au dénombrement c'est-à-dire à la connaissance de la chaîne numérique verbale.

4.2. Le principe de correspondance terme à terme

Concernant le respect de la correspondance terme à terme, un point est attribué pour chaque item l'évaluant, conduisant à une note maximale de vingt points au total. Ce système de cotation par item permet de s'assurer de l'homogénéité des performances quels que soient les critères de présentation des items.

4.3. Le principe de cardinalité

Le principe cardinal est considéré comme acquis lorsque l'enfant comprend que le dernier mot nombre désignant le dernier élément compté représente également le résultat de la collection.

Dans notre épreuve, l'enfant est donc supposé donner clairement le résultat de sorte à ce que l'examineur considère que le principe cardinal est compris. Ainsi, si après le comptage, l'enfant dit « il y a X éléments ; il y en a X ; X éléments » ou qu'il répète distinctement le dernier mot nombre, il obtient un point. Si ce n'est pas le cas, l'évaluateur pose la question suivante : « et donc il y en a combien ? ». Si l'enfant répond directement, ou qu'il recompte mais respecte les conditions précédentes, il obtient alors le point. Un total maximal de 20 points est donc attribuable pour le principe de cardinalité, items confondus.

A noter que si le résultat de la collection est faux, cela n'implique pas nécessairement une non attribution des points. En effet, il faut distinguer compréhension du principe cardinal, du résultat de la collection. Si l'enfant a fait une erreur de comptage, cela ne signifie pas que ce principe n'est pas compris s'il respecte les modalités de réponses décrites ci-dessus. Par exemple, si le dernier mot nombre énoncé par l'enfant est quatre au lieu de cinq et qu'il précise « il y a quatre points », il obtient un point à « principe cardinal », mais n'obtient pas le point à « résultat correct ». Ce résultat erroné peut en effet venir d'un non respect de la correspondance terme à terme par exemple ; le point sera donc également retiré pour ce principe.

4.4. Le principe de non pertinence de l'ordre

Pour les items concernés, la question suivante est proposée afin d'évaluer le principe de non pertinence de l'ordre : « et combien y a-t-il de points en comptant depuis ce point ? ». Un point par item est attribué si l'enfant répète exactement le même résultat donné, sans qu'il ne recompte la collection. Les réponses suivantes sont donc acceptées : « il y en a X ; il y a X éléments ; X éléments ; X ». De même, si l'enfant exprime l'égalité, par exemple en disant « il y a le même nombre » ou « c'est pareil », sans nécessairement donner de nouveau le nombre exact, il obtient le point.

4.5. Le principe d'abstraction

Concernant ce principe, un point par item concerné est attribué si l'enfant compte les éléments présentés, indépendamment de leur couleur ou de leur forme. Si l'enfant commet une erreur de comptage liée à l'omission des éléments différents du reste, le point ne peut être attribué. Si une erreur de comptage est liée au non respect de la correspondance terme à terme, mais que l'enfant a bien pris en compte les deux catégories, le point est attribué pour le principe d'abstraction puisque cela signifie qu'il est compris. Un total de huit points est donc attribuable pour l'ensemble de ces items.

5. Proposition de poursuite de l'étude

Afin de diagnostiquer un trouble des apprentissages lié au domaine de la cognition mathématique, il est nécessaire de proposer des épreuves d'évaluation validées et normées. Néanmoins, moins de la moitié des outils comportant une évaluation du dénombrement proposent de comparer les résultats à une norme chiffrée (cf. Annexe A2).

C'est pourquoi il serait pertinent de poursuivre ce travail en proposant notre épreuve en pré-test auprès d'un échantillon représentatif de la population ciblée, afin de réfléchir à la qualité des items et à la formulation des consignes. Par la suite, l'épreuve définitive pourrait être proposée à une population d'étalonnage dans le but de recueillir des normes chiffrées, ce qui permettrait aux

orthophonistes de comparer les résultats obtenus par un patient aux performances moyennes des enfants de la même classe d'âges. Cela permettrait également d'établir les niveaux auxquels les enfants sont supposés acquérir telle ou telle compétence. En effet, l'objectif de notre épreuve est d'administrer les items selon le niveau attendu par le patient évalué, et de proposer des items d'un niveau inférieur dans le cas où il échouerait.

Enfin, il serait également pertinent de s'intéresser aux propriétés psychométriques des tests, à savoir la validité, la fidélité, ainsi que la sensibilité et la spécificité afin de savoir si l'épreuve que nous avons proposée est correctement construite d'un point de vue statistique.

Conclusion

L'orthophoniste évalue et prend en charge les troubles liés à la cognition mathématique. L'objectif de ce mémoire était donc de créer une épreuve de dénombrement au sein d'une nouvelle batterie de cognition mathématique, dans le but d'évaluer les patients de tous âges présentant une plainte concernant ce domaine.

Étant donné qu'il existe déjà des outils proposant une évaluation du dénombrement, une analyse de ces épreuves a été réalisée afin de justifier de l'intérêt d'en créer une nouvelle. Ainsi, il a été mis en évidence que les outils ne recouvraient pas l'ensemble des domaines dont la présence nous semblait nécessaire à une évaluation de qualité de cette habileté. Par conséquent, il paraissait pertinent de proposer une épreuve innovante qui permettait de répondre aux manques des outils actuels. Nous avons donc tenu à ce que les différents domaines entrant en compte dans l'activité de dénombrement soient tous testés, sur la base d'un modèle théorique actuel.

Notre épreuve, composée de vingt items, comprend donc une évaluation exhaustive du dénombrement. Par ailleurs, le choix de cotation permet de repérer de manière spécifique les domaines atteints et/ou préservés, ce qui permettrait d'aboutir à une prise en charge orthophonique adaptée et ciblée sur les difficultés du patient.

Néanmoins, cette nouvelle épreuve devra être proposée à une population d'étalonnage afin de procéder à la validation et à la normalisation des différents items. Par ailleurs, une analyse des propriétés psychométriques pourrait être envisagée afin de s'assurer de la validité statistique de cette épreuve.

Bibliographie

- Beech, J. R., & Harding, L. (1994). *Tests, mode d'emploi : Guide de psychométrie*. ECPA.
- Bertrand, R., & Camos, V. (2011). Impact des troubles langagiers et visuo-moteurs sur les capacités numériques : Emergence de patterns distincts au TEDI-MATH. *Developpements*, n° 7(1), 5-18.
- Butterworth, B. (2005). The development of arithmetical abilities. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 46(1), 3-18. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7610.2004.00374.x>
- Camos, V., Michel, F., Lacert, P., Bardi, A., & Laquière, C. (1998). Le dénombrement chez des enfants dysphasiques et des enfants dyspraxiques. *ANAE - Approche Neuropsychologique des Apprentissages chez l'Enfant*, 48, 86-91.
- Chevrie-Muller, C., & Plaza, M. (2001). *N-EEL : Nouvelles Epreuves pour l'Examen du Langage*. Paris : ECPA.
- Cognet, G. (2006). *NEMI-2 : Nouvelle échelle métrique de l'intelligence-2*. Paris : ECPA.
- De Bardot, F., Duquesne, F., Marchand, M. H., Mazeau, M., Meljac, C., Truscetti, D., & Vergnaud, G. (1995). *ECPN. Epreuves Conceptuelles de résolution des Problèmes Numériques*.
- 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.
- Fayol, M. (2018). Chapitre II. Quantifier. *Que sais-je?*, 3e éd., 39-72.
- Fuson, K. C., Richards, J., & Briars, D. J. (1982). The Acquisition and Elaboration of the Number Word Sequence. In C. J. Brainerd (Éd.), *Children's Logical and Mathematical Cognition : Progress in Cognitive Development Research* (p. 33-92). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4613-9466-2_2
- Gaillard, F. (2000). *Numerical : Test neurocognitif pour l'apprentissage du nombre et du calcul*. Signes Ed.
- Gelman, R., & Gallistel, C. R. (1978). *The child's understanding of number*. Harvard University Press.
- Grégoire, J., & Van Nieuwenhoven, C. (1998, juin 1). *Le développement du comptage et son rôle dans certains troubles de la notion du nombre*.
- Helloin, M. C., & Lafay, A. (2016). *EXAMATH 8-15 : Batterie informatisée d'examen des habiletés mathématiques*. Grenade : HappyNeuron.
- Heremans, M. (2011). *MathEval : Dépistage de la dyscalculie*.
- Landerl, K. (2019). Neurocognitive Perspective on Numerical Development. In A. Fritz, V. G. Haase, & P. Räsänen (Éds.), *International Handbook of Mathematical Learning Difficulties* (p. 9-24). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-97148-3_2

- Le bulletin officiel de l'Education Nationale. (2018). *Programme d'enseignement du cycle des apprentissages fondamentaux (cycle 2)*. https://cache.media.education.gouv.fr/file/31/88/5/ensel714_annexe1_1312885.pdf
- 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).
- Legeay, M. P., Morel, L., & Voye, M. (2009). *Malette ERLA : Exploration du Raisonnement et du Langage Associé*. Trucy-sur-Yonne : Cogilud.
- Lépine, R., Camos, V., & Barrouillet, P. (2003). *Différences individuelles en empan de mémoire de travail chez l'enfant et attention contrôlée* (p. 227-231).
- Levine, S. C., Suriyakham, L. W., Rowe, M. L., Huttenlocher, J., & Gunderson, E. A. (2010). What counts in the development of young children's number knowledge? *Developmental Psychology*, 46(5), 1309-1319. <https://doi.org/10.1037/a0019671>
- Meljac, C., & Lemmel, G. (1999). *UDN-II : Utilisation Du Nombre*. Paris : ECPA.
- Metral, E. (2008). *Malette B-LM Cycle 2 : Bilan Logico-mathématique Cycle 2*. Chavanod : Orthopratic.
- Savigny, M. (2001). *BATELEM-R : Batterie d'épreuves pour l'école élémentaire*. Paris : ECPA.
- Stock, P., Desoete, A., & Roeyers, H. (2009). Mastery of the counting principles in toddlers : A crucial step in the development of budding arithmetic abilities? *Learning and Individual Differences*, 19(4), 419-422. <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2009.03.002>
- Thibault, M. P., & Helloin, M. C. (2006). *Exalang 3-6 : Batterie d'examen des fonctions langagières chez l'enfant de 3 à 6 ans*. Mont-Saint-Aignan : Orthomotus.
- 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., Grégoire, J., & Noël, M.-P. (2001). *Tedi-Math : Test diagnostique des compétences de base en mathématiques*. Paris : ECPA.
- Von Aster, M. G. V., & 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>

Liste des annexes

Annexe n°1 : Tableau synthétisant les étapes de développement des compétences mathématiques issues d'études anglo-saxonnes.

Annexe n°2 : Tableau synthétisant les outils existants comportant une épreuve d'évaluation du dénombrement.

Annexe n°3 : Items 1 et 2 de notre proposition d'épreuve de dénombrement.

Annexe n°4 : Items 3 et 4 de notre proposition d'épreuve de dénombrement.

Annexe n°5 : Items 5 et 6 de notre proposition d'épreuve de dénombrement.

Annexe n°6 : Items 7 et 8 de notre proposition d'épreuve de dénombrement.

Annexe n°7 : Items 9 et 10 de notre proposition d'épreuve de dénombrement.

Annexe n°8 : Items 11 et 12 de notre proposition d'épreuve de dénombrement.

Annexe n°9 : Items 13 et 14 de notre proposition d'épreuve de dénombrement.

Annexe n°10 : Items 15 et 16 de notre proposition d'épreuve de dénombrement.

Annexe n°11 : Items 17 et 18 de notre proposition d'épreuve de dénombrement.

Annexe n°12 : Items 19 et 20 de notre proposition d'épreuve de dénombrement.