

Validation d'épreuves de dénombrement et de calcul contenues dans la batterie de tests Examath 5-8

Quitterie CHEVILLARD *, Marie-Christel HELLOIN **, Anne LAFAY ***

* Orthophoniste

** Orthophoniste

** Chargée de cours au Centre de Formation Universitaire en Orthophonie de l'université de Rouen, France

*** Maîtresse de conférences universitaire, département de psychologie de l'Université Savoie

Mont Blanc, Laboratoire de Psychologie et NeuroCognition du CNRS, Chambéry, France (Univ. Grenoble Alpes, Univ. Savoie Mont Blanc, CNRS, LPNC, 38000 Grenoble, France)

*** Chercheuse associée, département des sciences de l'éducation, Concordia University,

Montréal, Canada

*** Orthophoniste

Auteur de correspondance :

quitterie.lautier@hotmail.fr

Résumé :

L'arithmétique et le dénombrement sont deux compétences primordiales pour les apprentissages mathématiques. Des difficultés au niveau de leur développement sont présentes chez les enfants ayant un trouble spécifique des apprentissages en mathématiques. C'est pourquoi il est particulièrement pertinent que les bilans orthophoniques évaluent ces compétences chez les enfants scolarisés en GSM, CP et CE1. La batterie Examath 5-8 (Helloin & Lafay, 2021) propose l'évaluation de ces compétences en lien avec des modèles théoriques valides. L'objectif de l'étude est de démontrer que l'utilisation des grilles d'analyse standardisée disponibles pour l'épreuve Dénombrement Production et l'épreuve Fluence Arithmétique et Stratégies permet d'affiner l'analyse et le diagnostic. Les deux épreuves ont été proposées à deux groupes d'enfants : un groupe à risque de trouble spécifique des apprentissages mathématiques (AR) et un groupe contrôle (CTRL). Les résultats montrent que les grilles d'analyse qualitative développées ont une bonne fiabilité et sont faciles d'utilisation et que le guide et les vidéos d'aide à la cotation permettent de standardiser leur utilisation. L'identification de repères cliniques permet de situer l'enfant par rapport à d'autres du même niveau scolaire et ainsi de pouvoir adapter la prise en soins.

Mots clés : Trouble des apprentissages en mathématiques, orthophonie, psychométrie, arithmétique, dénombrement

Validation of enumeration and calculation tasks in the Examath 5-8 test**Abstract:**

Arithmetic and enumeration are two essential skills for learning mathematics. Difficulties in their development are present in children with a specific learning disability in mathematics. This is why it is particularly relevant that speech-and-language pathology assessments evaluate these skills in children enrolled in the first and second grades. The Examath 5-8 test (Helloin & Lafay, 2021) proposes the evaluation of these skills in relation to recent theoretical models. The aim of the study is to demonstrate that the use of the standardized analysis grids available for the Enumeration Production and Arithmetic Fluency and Strategies subtests allows the analysis and the diagnosis to be refined. The two subtests were given to two groups of children: a group at risk for a specific learning disability in mathematics (AR) and a control group (CTRL). The results showed that the qualitative analysis grids were reliable and easy to use and that the guideline and videos helped to their use. The identification of clinical benchmarks allows the child to be situated in relation to others of the same grade and thus the speech-and-language pathologist to be able to adapt care.

Keywords: mathematics learning disability, speech-and-language pathology, psychometry, arithmetic, enumeration

-----INTRODUCTION-----

1. Le dénombrement chez l'enfant de 5 à 8 ans

Il est possible de quantifier une collection en mettant en place trois processus : le subitizing (collection jusqu'à 3-4 éléments), le dénombrement et l'estimation (Fayol, 2018). Le dénombrement est le fait de mettre en place des procédures pour déterminer combien d'objets composent une collection, à savoir le fait de faire le compte précis des différents éléments composant un ensemble (Fayol, 2018). Dénombrer permet donc de déterminer un nombre précis d'éléments, quelle que soit la collection (Lecointre et al., 2005) et de répondre à trois questions : que compter ? comment compter ? et dans quel ordre compter ? (Van Nieuwenhoven et al., 2019).

Le dénombrement est considéré comme une compétence de base mais concerne en réalité la coordination de nombreuses compétences (Barrouillet et al., 2007 ; Fayol, 2008). Les cinq principes de dénombrement énoncés par Gelman et Gallistel (1978) sont :

- Le principe d'ordre stable : l'ordre de la comptine numérique est immuable. La comptine numérique est stable si elle suit l'ordre de la comptine conventionnelle (Van Nieuwenhoven, 1996).
- Le principe de correspondance terme à terme : chaque objet de la collection correspond à un terme de la comptine numérique (Grégoire & Van Nieuwenhoven, 1995). Le dénombrement nécessite la mise en place de ces deux dernières capacités de manière coordonnée : une tâche verbale qui est la remémoration et l'expression des mots-nombres (comptine numérique) coordonnée à un pointage qui peut être visuel ou digital pour s'assurer que tous les items ont été dénombrés et qu'il n'y a pas d'omissions ou de répétitions (Fayol, 2008).
- Le principe de cardinalité : le dernier mot-nombre énoncé correspond au nombre d'objets dans la collection. Lorsque l'enfant doit répondre à la question « combien » après avoir dénombré tous les éléments de la collection et qu'il répond par le dernier mot-nombre énoncé, certains auteurs suggèrent qu'il comprend le principe de cardinalité, d'autres arguent qu'il utilise une simple procédure (Fuson et al., 1985). Cela met en évidence la difficulté de l'évaluation de ce principe de dénombrement. Le dénombrement est efficace quand l'enfant est capable de concevoir et d'utiliser le concept de cardinalité, c'est-à-dire que le dernier mot-nombre prononcé représente la quantité d'objets qu'il vient de dénombrer (Van Nieuwenhoven, 1999).
- Le principe d'abstraction : une collection peut être constituée d'objets différents et l'enfant doit alors faire abstraction de ce qu'il compte et définir que tous les objets dénombrés font tous partie du même ensemble.
- Le principe de non-pertinence de l'ordre : l'ordre de dénombrement n'a pas d'impact sur la cardinalité de la collection.

Certains enfants sont susceptibles de présenter des difficultés au niveau du dénombrement : les enfants avec un trouble spécifique des apprentissages mathématiques (Lecointre et al., 2005),

les enfants avec un trouble du langage oral, des troubles moteurs, des difficultés concernant la mémoire de travail (Curtis et al., 2009 ; Lecointre et al., 2005).

Le dénombrement est la première stratégie de calcul et il est prédicteur des capacités mathématiques ultérieures des enfants. Le dénombrement et l'arithmétique présentent donc des liens importants.

2. L'arithmétique chez l'enfant de 5 à 8 ans

L'arithmétique regroupe l'apprentissage de trois types de connaissances : les connaissances procédurales (des stratégies), conceptuelles (des règles du calcul) et déclaratives (des doubles et compléments à 10) (Goldman & Hasselbring, 1997).

Concernant les connaissances des stratégies, cinq classes générales peuvent être définies (Siegler & Shrager, 1984). L'enfant utilise d'abord des objets (1) pour résoudre l'opération. Il peut aussi utiliser le comptage sur les doigts (2). Les doigts sont alors utilisés pour effectuer une procédure de calcul. Ils sont une aide externe pour soutenir le comptage et peuvent donc servir à alléger la mémoire de travail (Dupont-Boime & Thevenot, 2018). Les enfants utilisant précocement leurs doigts pour résoudre des opérations simples disposent de plus de ressources cognitives et sont plus performants ensuite pour les compétences mathématiques (Dupont-Boime & Thevenot, 2018). L'enfant peut aussi utiliser le comptage verbal (3), la décomposition (4 ; l'enfant décompose un des deux opérands) ainsi que la récupération en mémoire des faits arithmétiques (Carpenter & Moser, 1984 ; Fayol, 2018) ou l'application de procédures mentales extrêmement rapides de type déplacement vers la droite ou vers la gauche sur la ligne numérique mentale (Thevenot, 2018) (5). Il est tout à fait possible de ne pas observer de stratégies externes, l'enfant peut ne pas utiliser de stratégies, utiliser une stratégie de récupération en mémoire ou effectuer mentalement les différentes stratégies présentées précédemment.

Pour les additions, lorsque l'enfant utilise une stratégie digitale et/ou verbale, il peut utiliser diverses procédures (Baroody & Ginsburg, 1986). La procédure « tout » ou « all » (compter l'ensemble des deux opérands ; compter 1, 2, puis 1, 2, 3, 4, puis tout recompter 1, 2, 3, 4, 5, 6 pour résoudre l'opération $2 + 4$) est utilisée en début d'apprentissage par les enfants. La procédure « premier » ou « max » consiste à compter à partir du premier opérande (compter 2, 3, 4, 5, 6 pour résoudre l'opération $2 + 4$) et nécessite de savoir énoncer la comptine numérique à partir de n . La procédure « min » (compter à partir du plus grand opérande, compter 4, 5, 6 pour résoudre l'opération $2 + 4$) est plus tardive car l'enfant aussi doit comprendre la commutativité et comparer les deux nombres.

Concernant les soustractions, l'enfant est capable de résoudre des soustractions avec l'aide d'une manipulation d'objets dès l'âge de 4 ans (Barrouillet et al., 2007). La récupération en mémoire des faits arithmétiques pour les soustractions est plus rare. L'enfant utiliserait même uniquement des procédures de calcul (Barrouillet et al., 2008). Baroody et Ginsburg (1986) décrivent deux procédures pour la résolution des soustractions. Lors d'un comptage ascendant (ou procédure nommée counting-up), l'enfant compte à partir de l'opérande à soustraire pour se rendre à l'opérande le plus grand, le résultat est donc le nombre de bonds effectués. Lors d'un comptage descendant (ou procédure de counting-down), l'enfant compte à partir de

l'opérande le plus grand pour aller à rebours jusqu'à l'opérande à soustraire. Le résultat est donc le nombre atteint à la fin du comptage.

3. Trouble spécifique des apprentissages mathématiques

Le trouble spécifique des apprentissages en mathématiques (TSAM), d'après le manuel de diagnostic et statistique des troubles mentaux 5 (DSM-5, 2016), entrave le traitement des données numériques, l'apprentissage des faits arithmétiques, le calcul ou encore la résolution de problèmes. Les difficultés apparaissent au cours de la scolarité et persistent pendant au moins six mois malgré la mise en place de mesures ou d'interventions ciblées. Les performances scolaires perturbées sont nettement en dessous du niveau escompté pour l'âge chronologique, et ce de manière quantifiable, interférant de façon significative avec les performances scolaires et les activités de la vie quotidienne. Enfin, les difficultés ne peuvent pas être mieux expliquées par un handicap intellectuel, un trouble sensoriel, un trouble psychosocial, un trouble neurologique ou mental, un manque de maîtrise de la langue d'enseignement ou une carence pédagogique.

Les enfants présentant un TSAM peuvent être en difficulté pour le dénombrement et pour l'arithmétique. Des difficultés pour l'apprentissage des principes du dénombrement sont relevées (Barrouillet et al., 2007) chez ces enfants qui ont besoin de plus d'exposition aux différents stimuli pour répondre correctement (Fayol, 2018). Concernant l'arithmétique, les aspects procéduraux (stratégies) et conceptuels (connaissances des règles) du calcul peuvent être affectés. La mémorisation des faits arithmétiques est par conséquent plus complexe. Les enfants avec un TSAM ont plus de difficultés à abandonner les stratégies de résolution primitives des opérations simples (comptage digital) pour accéder à la récupération en mémoire des faits arithmétiques ou à des procédures mentales (Barrouillet et al., 2007).

Afin de pouvoir diagnostiquer objectivement un TSAM, il est nécessaire de posséder des outils ayant de bonnes propriétés psychométriques. Outre la composante normative permettant, via des différences significatives de résultats avec la population de référence, d'objectiver un TSAM et des déficits de différentes composantes de la cognition mathématique, un outil d'évaluation dans cette tranche d'âge devrait aussi permettre d'analyser qualitativement et fiablement les principes de dénombrement mis en œuvre ainsi que les stratégies et procédures arithmétiques accessibles à l'enfant.

----- CONTEXTE ET OBJECTIFS -----

La batterie informatisée Examath 5-8 (Helloin & Lafay, 2021), qui vise à l'évaluation des habiletés mathématiques et de raisonnement chez l'enfant de grande section de maternelle à fin CE1, s'intéresse à différentes composantes réparties en sept modules dont un module Dénombrement et un module Arithmétique.

Un des objectifs des épreuves Dénombrement et Fluence Arithmétique et Stratégies au sein de ces deux modules est de permettre la cotation qualitative, de manière standardisée, pour faciliter l'analyse des différentes stratégies et procédures utilisées par les enfants. Ceci doit permettre d'une part d'affiner les hypothèses diagnostiques résultant du bilan orthophonique mais aussi d'adapter la prise en soin orthophonique avec des objectifs suffisamment précis et spécifiques.

Parmi les critères psychométriques requis pour un outil d'évaluation (Lafay & Cattini, 2018), la fidélité (appelée aussi fiabilité) permet d'étudier l'erreur de mesure. Elle comprend par exemple la fidélité inter-juges : si deux juges font passer le même test, alors les résultats doivent être similaires et ce tant d'un point de vue quantitatif (scorage) que qualitatif.

L'objectif général de cette expérimentation réalisée dans le cadre d'un mémoire de fin d'études (de la première autrice), est d'étudier la faisabilité d'une analyse qualitative via des grilles d'analyse standardisées pour les épreuves Dénombrement Production et Fluence Arithmétique et Stratégies et de vérifier le critère de fidélité inter-juges et inter-modalités sur un plan quantitatif et qualitatif pour ces deux épreuves.

La présente étude répond aux questions de recherche suivantes :

1. L'analyse qualitative des stratégies et procédures de dénombrement et de calcul est-elle réalisable instantanément, de façon fiable au cours de la passation de l'épreuve ? Les cotations quantitatives et qualitatives effectuées par deux juges différentes ne devraient pas révéler de différence significative, avec un accord inter-juges satisfaisant, et les cotations effectuées en direct ne devraient pas montrer de différence significative avec une cotation effectuée en différé sur vidéo.
2. Quelle est la validité de construit en lien avec les caractéristiques développementales des enfants pour ces deux épreuves de la batterie d'évaluation Examath 5-8 ? Les enfants scolarisés en début CE2 obtiendraient d'une part de meilleurs scores que les enfants scolarisés en début CE1, qui eux-mêmes obtiendraient de meilleurs scores que les enfants scolarisés en début CP. D'autre part, les enfants devraient montrer des patterns d'utilisation de stratégies et de procédures différents en fonction de leur niveau scolaire. Ces analyses permettront d'extraire des repères développementaux à partir de ces patterns.

Notons que ces deux modules ont fait l'objet, dans le cadre du même mémoire, d'une analyse des propriétés psychométriques. Les propriétés suivantes ont été évaluées en particulier : la validité convergente, la cohérence interne, la validité de construit en lien avec les caractéristiques individuelles. Les résultats sont présentés dans le mémoire (Lautier, 2021).

----- MÉTHODE -----

1. Participants

Afin de réaliser notre étude, nous avons composé deux groupes. Les critères d'inclusion pour le groupe contrôle (CTRL) étaient : avoir pour langue maternelle le français, être scolarisé en GSM, CP, CE1 ou CE2, ne pas avoir de trouble de la cognition mathématique et/ou du langage oral, avoir obtenu un score supérieur au percentile 25 à deux tests de référence – le Numeracy Screener (NS-f ; Lafay et al., 2018 ; version originale de Nosworthy et al., 2013) et le Tempo Test Rekenen (TTR ; De Vos, 1992 ; Lafay et al., 2020), ne pas avoir de handicap intellectuel, de trouble sensoriel ou de trouble psychosocial. Les critères d'inclusion pour le groupe à risque de TSAM (AR) étaient : avoir pour langue maternelle le français, être scolarisé en GSM, CP, CE1 ou CE2, avoir un trouble de la cognition mathématique et/ou du langage oral ou être sur liste d'attente auprès d'un orthophoniste avec une plainte portant sur le domaine mathématique, avoir obtenu un score inférieur au percentile 25 au NS-f ou/et au TTR, ne pas avoir de handicap intellectuel, de trouble sensoriel ou de trouble psychosocial. Un consentement de la part des parents ainsi qu'une décharge sanitaire ont été signés en deux exemplaires. Le tableau 1 permet de récapituler les différentes caractéristiques des groupes.

Tableau 1. Récapitulatif des enfants composant la cohorte

Groupe	Effectif	Âge minimum	Âge maximum	Âge moyen	Écart-type
CTRL	19	5 ans 10 mois	8 ans 8 mois	7 ans 5 mois	0.56 (6 mois)
AR	13	6 ans 1 mois	7 ans 11 mois	7 ans 5 mois	0.88 (10 mois)

2. Matériel expérimental et mesures

a. Tâche Dénombrement Production d'Examath 5-8

La tâche Dénombrement Production (score total = 12) teste la capacité de dénombrement de l'enfant. L'enfant doit dénombrer différentes collections statiques (Dénombrement Combien, voir figure 1) ou en mouvement (Dénombrement Mouvement).

Figure 1. Deux items de l'épreuve Dénombrement Production Combien

La grille d'analyse qualitative pour l'épreuve Dénombrement Production Combien permet de coter l'efficacité des différents principes de dénombrement (voir figure 2). L'orthophoniste doit noter, pendant la passation de l'épreuve, l'intégrité de différents principes de dénombrement quand ils sont observables (stabilité de la comptine numérique, correspondance terme à terme, cardinalité, abstraction, auxquels sont ajoutés l'organisation de l'ordre de pointage et les procédures, à savoir pointage visuel, avec la tête ou digital, comptine numérique mentale/orale/chuchotée). La cotation s'effectue sur la grille disponible dans le cahier de passation de la batterie et l'orthophoniste doit reporter ces éléments dans le tableau récapitulatif affiché en fin d'épreuve à l'écran. La grille liée à l'épreuve Dénombrement Production Mouvement regroupe des items permettant de noter quel type de pointage l'enfant utilise (visuel, avec la tête ou digital), la stratégie d'utilisation de la comptine numérique (orale, chuchotée, mentale) et si l'enfant utilise ses doigts pour retenir le nombre d'éléments au fur et à mesure du défilé des éléments. Les stratégies sont notées selon le même procédé au cours de la passation par l'examineur.

Figure 2a. Report des stratégies et principes de l'épreuve Dénombrement Production Combien

← Détails des résultats : Dénombrement Production

Détails des items

N°	Réponse attendue	Réponse	Comptine		Correspondance terme à terme		Cardinalité	Abstraction de la propriété physique des objets	Organisation	
			Stratégie	Principe	Stratégie	Principe				
1	4	4	<input checked="" type="checkbox"/> Orale <input type="checkbox"/> Chuchotée <input type="checkbox"/> Mentale / non observable	<input checked="" type="radio"/> Efficient <input type="radio"/> Non efficient <input type="radio"/> Non observable	<input checked="" type="checkbox"/> Pointage digital <input type="checkbox"/> Pointage par tête <input type="checkbox"/> Pointage visuel / non observable	<input checked="" type="radio"/> Efficient <input type="radio"/> Non efficient	<input checked="" type="radio"/> Efficient <input type="radio"/> Non efficient <input type="radio"/> Non observable	NSAP	<input checked="" type="radio"/> Organisé <input type="radio"/> Non organisé <input type="radio"/> Non observable	
2	6	6	<input type="checkbox"/> Orale <input checked="" type="checkbox"/> Chuchotée <input type="checkbox"/> Mentale / non observable	<input type="radio"/> Efficient <input checked="" type="radio"/> Non efficient <input type="radio"/> Non observable	<input type="checkbox"/> Pointage digital <input checked="" type="checkbox"/> Pointage par tête <input type="checkbox"/> Pointage visuel / non observable	<input type="radio"/> Efficient <input checked="" type="radio"/> Non efficient	<input type="radio"/> Efficient <input checked="" type="radio"/> Non efficient <input type="radio"/> Non observable	NSAP	<input type="radio"/> Organisé <input checked="" type="radio"/> Non organisé <input type="radio"/> Non observable	
3	8	8	<input type="checkbox"/> Orale <input type="checkbox"/> Chuchotée <input checked="" type="checkbox"/> Mentale / non observable		<input type="checkbox"/> Pointage digital <input type="checkbox"/> Pointage par tête <input checked="" type="checkbox"/> Pointage visuel / non observable		<input type="radio"/> Efficient <input type="radio"/> Non efficient <input checked="" type="radio"/> Non observable	NSAP	<input type="radio"/> Organisé <input type="radio"/> Non organisé <input checked="" type="radio"/> Non observable	
4	9	9	<input type="checkbox"/> Orale <input type="checkbox"/> Chuchotée <input checked="" type="checkbox"/> Mentale / non observable		<input type="checkbox"/> Pointage digital <input type="checkbox"/> Pointage par tête <input checked="" type="checkbox"/> Pointage visuel / non observable		<input type="radio"/> Efficient <input type="radio"/> Non efficient <input checked="" type="radio"/> Non observable	<input checked="" type="checkbox"/> Oui	<input type="radio"/> Organisé <input type="radio"/> Non organisé <input checked="" type="radio"/> Non observable	
		4 / 6								

Commentaire

Figure 2b. Report des stratégies et principes de l'épreuve Dénombrement Production En mouvement

← Détails des résultats : Dénombrement Production

Détails des items

N°	Réponse attendue	Réponse	Comptine			Commentaire
			Stratégie : pointage	Stratégie : comptine numérique	Stratégie : rétention du nombre sur les doigts	
1	3	2	<input type="checkbox"/> Pointage visuel <input type="checkbox"/> Pointage par tête <input checked="" type="checkbox"/> Pointage digital	<input checked="" type="checkbox"/> Orale <input type="checkbox"/> Chuchotée <input type="checkbox"/> Mentale	<input type="radio"/> Oui <input checked="" type="radio"/> Non	
2	5	5	<input type="checkbox"/> Pointage visuel <input checked="" type="checkbox"/> Pointage par tête <input type="checkbox"/> Pointage digital	<input type="checkbox"/> Orale <input checked="" type="checkbox"/> Chuchotée <input type="checkbox"/> Mentale	<input checked="" type="radio"/> Oui <input type="radio"/> Non	
3	6	6	<input checked="" type="checkbox"/> Pointage visuel <input type="checkbox"/> Pointage par tête <input type="checkbox"/> Pointage digital	<input type="checkbox"/> Orale <input type="checkbox"/> Chuchotée <input checked="" type="checkbox"/> Mentale	<input checked="" type="radio"/> Oui <input type="radio"/> Non	
4	7	6	<input checked="" type="checkbox"/> Pointage visuel <input type="checkbox"/> Pointage par tête <input type="checkbox"/> Pointage digital	<input type="checkbox"/> Orale <input type="checkbox"/> Chuchotée <input checked="" type="checkbox"/> Mentale	<input type="radio"/> Oui <input checked="" type="radio"/> Non	
		2 / 6				

Commentaire

b. Tâche Fluence Arithmétique et Stratégies d'Examath 5-8

L'objectif de la tâche Fluence Arithmétique et Stratégies (score total = 60) est d'évaluer la récupération des faits arithmétiques en mémoire et/ou la capacité à réaliser rapidement un calcul mental simple. L'enfant voit une opération écrite horizontalement. En parallèle, il entend cette

même opération. Il doit donner le résultat oralement. La première partie de cette tâche teste les additions (30 items au maximum) tandis que la seconde partie teste les soustractions (30 items au maximum). L'enfant a une minute, pour chaque partie, pour réaliser le plus d'opérations possible.

Une grille d'analyse qualitative des stratégies et procédures a été développée et mise en forme au cours de cette étude à partir des critères proposés par les autrices du programme afin de pouvoir faire émerger un profil de calcul des enfants (voir figure 3). Cette grille est disponible dans le cahier de passation et sur l'écran de résultats à la fin de l'épreuve. Cette grille permet de noter la stratégie qu'utilise l'enfant pour résoudre chaque addition et chaque soustraction. La stratégie peut être un dénombrement, une utilisation des doigts pour calculer, une utilisation du comptage verbal, une décomposition des nombres, ou il peut n'y avoir aucune stratégie externe observable quand la résolution est mentale. Si, pour l'addition, le comptage est digital ou fait à l'aide du comptage verbal, il est alors possible de déterminer si l'enfant utilise la procédure tout, premier ou min. Il est aussi possible d'analyser la procédure de soustraction de l'enfant s'il a utilisé une stratégie digitale ou verbale. Cette procédure peut être ascendante ou descendante.

Figure 3. Report des stratégies et procédures de Fluence Arithmétique et Stratégies

← Détails des résultats : Fluence arithmétique et Stratégies

Détails des items

N°	Calcul	Score	Stratégie				Procédure			
			Aucune	Dénombrement	Digital	Verbal	Décomposition	Tout	Premier	Min
1	1+1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
2	2+2	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
3	2+1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
4	3+2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>			
5	1+3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
6	2+3	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
7	1+2	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
8	4+4	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
9	7+2	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
10	4+3	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			

16 / 30

Commentaire

c. Guide d'aide à la cotation pour les deux épreuves

Un guide d'aide à la cotation ainsi que des vidéos exemples ont été réalisées afin de permettre aux futurs utilisateurs de la batterie de coter le plus précisément possible les stratégies et les procédures utilisées par l'enfant, de limiter la subjectivité lors de la cotation et d'améliorer ainsi la standardisation de ces deux tâches. Des vidéos similaires à celles utilisées lors de l'étude sont disponibles dans le logiciel Examath 5-8. Le guide est disponible en annexe du manuel d'Examath 5-8.

3. Procédure générale

La présente étude s'est déroulée dans un cadre plus général d'étude de la validité des modules Dénombrement et Arithmétique de la batterie Examath 5-8. Les passations se sont déroulées en début d'année scolaire. Les épreuves Dénombrement Production et Fluence Arithmétique et Stratégies ont été proposées au sein d'un protocole comportant les deux épreuves de référence externes NS-f et TTR ainsi que quatre autres épreuves issues de la batterie Examath 5-8. La passation des différents tests s'est déroulée toujours dans le même ordre, individuellement, au domicile du jeune ou au sein de cabinets orthophoniques avec la première autrice du présent article. Les réponses sont données oralement par l'enfant.

Pour l'épreuve Dénombrement Production ainsi que Fluence Arithmétique et Stratégies, les productions des enfants ont été filmées à l'aide d'un trépied et d'un appareil photo orienté de manière similaire pour tous les enfants. Une première cotation a été effectuée instantanément pendant la passation par la première autrice du mémoire. Dans une deuxième phase, les différentes vidéos ont été visionnées par la première autrice du présent article ainsi que par une seconde juge, étudiante en quatrième année au CFUO de Rouen (Margaux Bazire), ce qui a donné lieu à une double cotation différée.

4. Méthode d'analyse

Afin de répondre à la question de recherche 1 (fidélité inter-juges), une analyse de corrélation de Pearson a été menée entre les scores totaux obtenus lors de la cotation instantanée en direct des performances des enfants et les scores obtenus lors de la cotation différée sur vidéo par la première juge d'une part, et entre les scores obtenus lors des deux cotations sur vidéos par les deux juges d'autre part. Les analyses ont été réalisées en réunissant les deux groupes d'enfants.

Pour évaluer la fiabilité de l'utilisation en instantané de la grille qualitative, un calcul de pourcentage d'utilisation par les enfants des différentes stratégies et procédures, relevées lors de chaque cotation, a été effectué et représenté sous forme d'histogrammes afin de permettre une analyse visuelle des différents patterns obtenus grâce aux codages de la première juge (cotation instantanée et différée sur vidéo) et de la seconde juge (cotations vidéo). Une différence de 20 % entre deux patterns issus des différentes cotations, représentant en fait une différence de cotation pour deux enfants, a été considérée comme trop élevée.

Afin de répondre à la question de recherche 2 (validité de construit en lien avec la caractéristique individuelle niveau scolaire), nous avons mené des analyses de variance de Kruskal-Wallis pour le score global de chaque épreuve des enfants du groupe CTRL puis nous avons calculé les proportions des types de stratégies utilisées pour chaque niveau de classe (représenté sous forme d'histogrammes) afin de comparer les patterns d'utilisation ainsi constitués entre les niveaux scolaires. Enfin, nous avons tenté d'extraire des repères développementaux à partir de ces patterns.

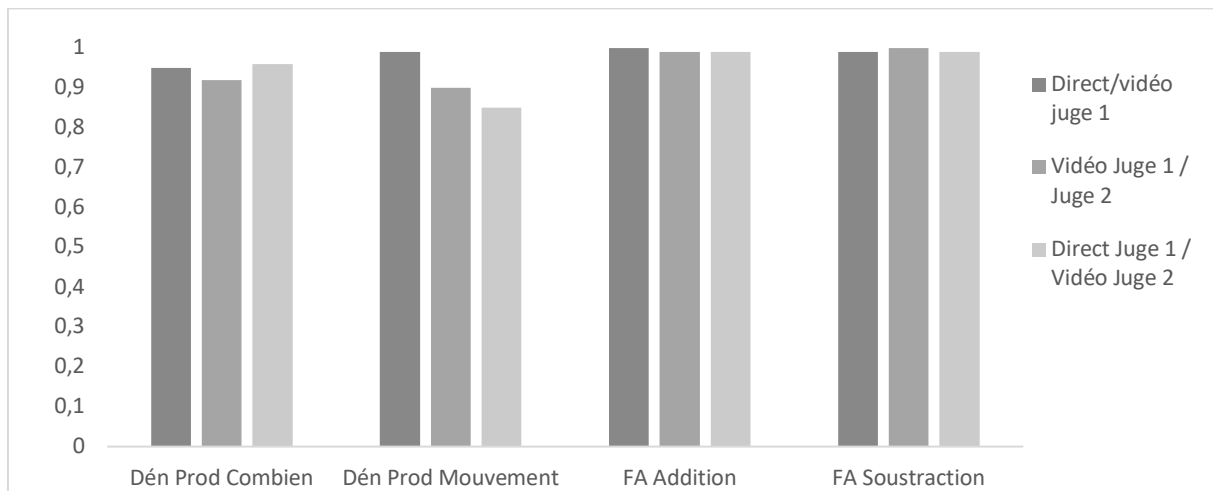
----- RÉSULTATS -----

1. Résultats en lien avec la Question de recherche 1 portant sur la fidélité inter-cotations

a. Comparaison des scores totaux aux deux épreuves

En comparant les différentes cotations, toutes les corrélations de Pearson sont significatives à $p < .01$. La figure 4 donne les résultats des analyses de corrélation.

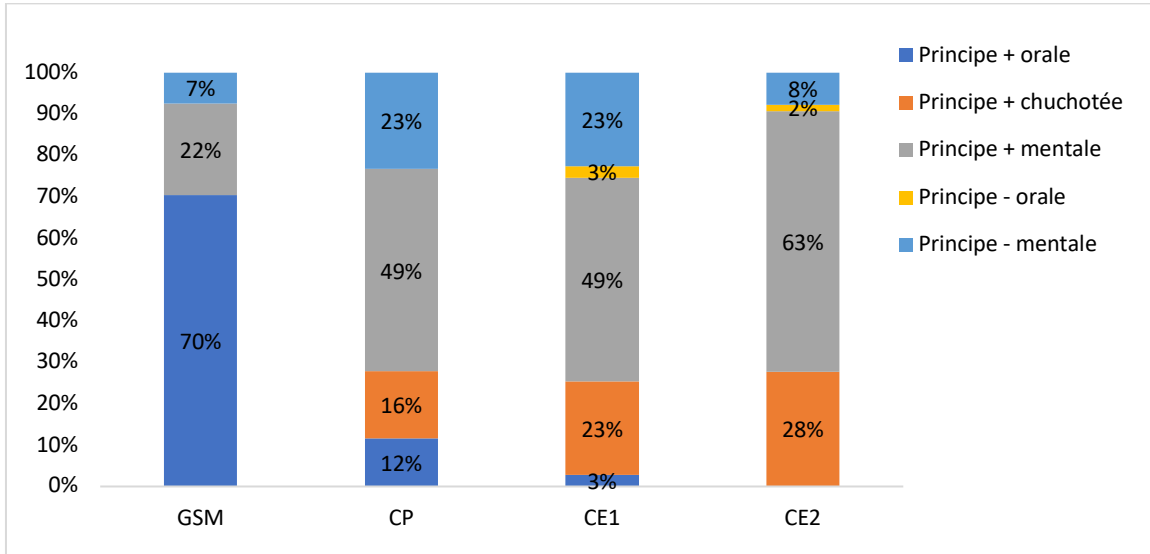
Figure 4. Corrélations inter-cotations



b. Comparaison des analyses qualitatives des stratégies et procédures au moyen des grilles

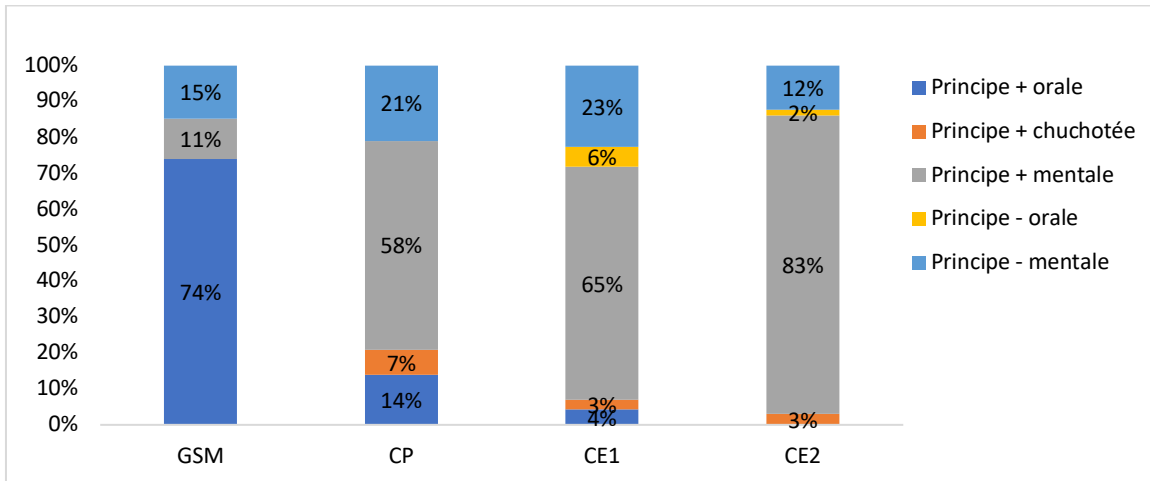
L'analyse comparative a été effectuée au moyen de l'inspection visuelle des histogrammes de répartition des procédures et stratégies selon la juge et la modalité de cotation. À titre d'exemple, les figures 5, 6 et 7 illustrent, pour l'épreuve Dénombrement Production Combien, les histogrammes constitués par niveau de classe, à partir des relevés des stratégies d'utilisation et de l'intégrité de la comptine numérique, respectivement effectués par la première juge en direct, par la seconde juge sur vidéo et par la première juge en différé sur vidéo. La comparaison de la figure 6 et de la figure 7 montre un pattern de cotation similaire entre les juges, excepté le fait que la juge 2 repère moins souvent la comptine chuchotée que la juge 1, suggérant une fidélité inter-juges acceptable. La comparaison de la figure 5 et de la figure 7 montre un pattern similaire de cotation en direct et en différé, suggérant une fidélité entre la cotation instantanée en direct et la cotation en différé hors de l'interaction avec l'enfant, ce qui suggère une bonne faisabilité et une validité de la cotation instantanée en direct acceptable.

Figure 5. Cotation instantanée en direct par la juge 1

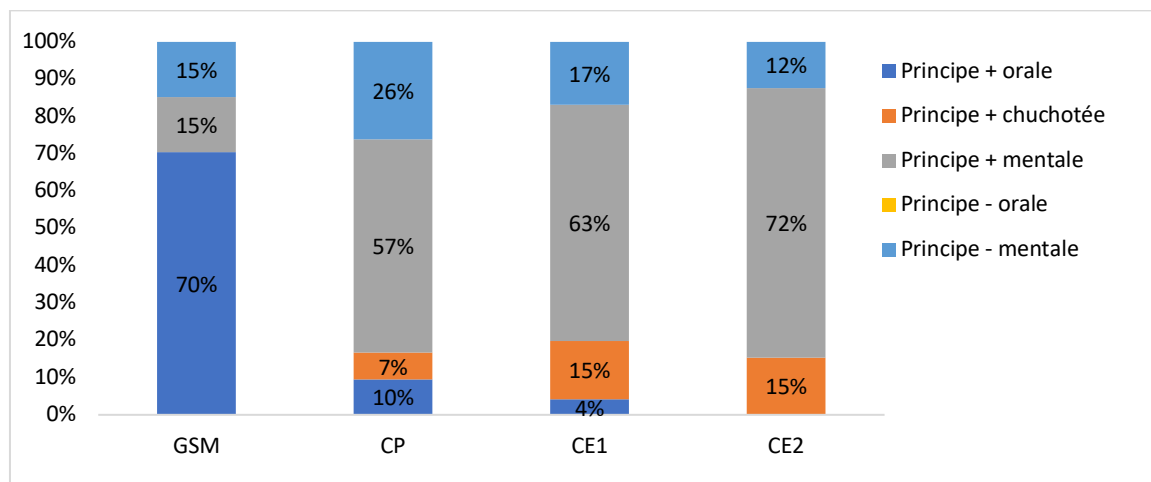


Légende. Principe+ : intégrité du principe. Principe- : non-intégrité du principe.

Figure 6. Cotation sur vidéos par la juge 2



Légende. Principe+ : intégrité du principe. Principe- : non-intégrité du principe.

Figure 7. Cotation sur vidéos par la juge 1

Légende. Principe+ : intégrité du principe. Principe- : non-intégrité du principe.

L'ensemble des résultats des différentes comparaisons inter-juges et inter-cotations (direct vs. différé) est résumé dans le tableau 2. Celui-ci met en évidence que les patterns sont globalement identiques pour toutes les données, sauf pour le critère Organisation de l'ordre du dénombrement.

Tableau 2. Comparaison qualitative des patterns

Épreuves	Principes, stratégies, procédures analysées	Comparaison inter-juges : vidéo juge 1 – vidéo juge 2	Comparaison intermodalités : cotation instantanée en direct juge 1 - cotation différée juge 1
Dénombrement	Comptine numérique	+ / -	+ / -
Production	Correspondance terme à terme	+	+
Combien	Cardinalité	+	+
	Abstraction	+	+
	Organisation de l'ordre	-	-
Dénombrement	Pointage	+	+
Production	Comptine numérique	+/-	+/-
Mouvement	Rétention sur les doigts	+	+
Fluence Arithmétique et Stratégies	Stratégie addition	+/-	+/-
	Procédure addition	+/-	+/-
	Stratégie soustraction	+/-	+/-
	Procédure soustraction	+/-	+/-

Légende. (+) = les patterns sont identiques (-) = d'importantes différences entre les patterns sont notées. (+/-) = les patterns sont globalement similaires mais quelques différences sont notées.

2. Résultats en lien avec la Question de recherche 2 portant sur la validité de construit (caractéristiques développementales : niveau scolaire)

a. Comparaison des scores par niveau de classe

L'analyse de variance Kruskal-Wallis a été réalisée avec le score total de chaque épreuve comme variable dépendante et le niveau scolaire comme variable indépendante pour la comparaison interclasse. Les enfants faisant partie de la cohorte AR et les GSM du groupe CTRL ont été exclus de cette analyse. Les résultats (voir tableau 3) montrent que l'effet de classe n'est pas significatif sur les scores obtenus à l'épreuve Dénombrement Production. Concernant l'épreuve Fluence Arithmétique et Stratégies Addition, une différence significative de performances est à noter entre les CP et les CE1 ($p = .02$), entre les CP et les CE2 ($p = .01$), mais pas entre les CE1 et les CE2 ($p = .56$). Pour l'épreuve Fluence Arithmétique et Stratégies Soustraction, une différence significative de performances est à noter entre les CP et les CE1 ($p < .001$), entre les CP et les CE2 ($p = .01$), mais pas entre les CE1 et les CE2 ($p = .23$). Pour le résultat total à l'épreuve de Fluence Arithmétique et Stratégies, une différence significative de performances est à noter entre les CP et les CE2 ($p = .001$), entre les CP et les CE1 ($p = .01$), mais pas entre les CE1 et les CE2 ($p = .51$).

Tableau 3. Résultats de la comparaison inter-classes pour le module Dénombrement

Épreuves	Scores	Classe			p (test Kruskal-Wallis)
		CP	CE1	CE2	
		Moyenne (ET)	Moyenne (ET)	Moyenne (ET)	
Dénombrement Production	Combien	3.29 (2.10)	4.43 (1.51)	5 (1.26)	.15
	En mouvement	6 (0)	6 (0)	6 (0)	1
	Total	6.71 (5.10)	8.71 (4.46)	10 (3.52)	.15
Fluence Arithmétique et Stratégies	Addition	7.43 (3.99)	14.43 (4.12)	16.17 (5.08)	.02*
	Soustraction	2.14 (3.08)	11.43 (3.31)	14.33 (2.42)	.001**
	Total	9.57 (5)	25.86 (6.72)	30.50 (7.01)	.002**

* : significatif à $p < .05$, ** : significatif à $p < .001$

b. Comparaison des patterns d'utilisation des stratégies et procédures par niveau de classe

Les patterns sont analysés à partir des histogrammes établis avec les relevés de la juge 1 sur les grilles qualitatives complétées en direct. Les enfants de début de GSM ont été intégrés à l'analyse des différents histogrammes bien que la batterie Examath 5-8 ne leur soit pas destinée ultérieurement, afin d'obtenir des repères développementaux.

L'inspection visuelle de la figure 5 montre dans l'exemple de l'utilisation de la comptine numérique de l'épreuve Dénombrement que les CP et CE1 produisent plus d'erreurs de comptine que les CE2. Les GSM utilisent davantage la comptine orale que les CP qui utilisent eux-mêmes davantage la comptine orale que les CE1 et CE2. Les CE1 et CE2 utilisent

davantage la comptine chuchotée que les plus jeunes. Enfin, les CE2 sont les plus nombreux à utiliser une comptine mentale (non observable).

Les tableaux 4 et 5 résument l'ensemble des comparaisons de patterns inter-classes des histogrammes respectivement pour l'épreuve Dénombrement et pour l'épreuve Fluence Arithmétique et Stratégies pour chaque stratégie et procédure. Les classes indiquées dans le tableau sont les niveaux scolaires des enfants au moment de l'expérimentation. Ce relevé des différences d'utilisation des stratégies en fonction de la classe constitue ainsi des repères cliniques pour les futurs utilisateurs d'Examath 5-8, correspondant aux critères des grilles d'analyse qualitative.

L'ensemble de ces repères ont été établis à l'aide du groupe CTRL de la présente étude qui est constitué, pour rappel, de 32 enfants (voir section Limites en Discussion). Il a été choisi de s'appuyer sur la cotation effectuée par la première juge lors de l'analyse instantanée en direct puisque cette modalité de cotation reflète la procédure la plus proche de celle mise en place par les futurs utilisateurs de la batterie. Les données sur les enfants de début de GSM, qui ne seront pas disponibles lors de l'étalonnage de la batterie, permettent de pouvoir comparer de manière qualitative leurs compétences à celles des enfants en début de CP dans une perspective développementale.

Tableau 4. Repères cliniques pour les principes de dénombrement

Épreuves	Principes et stratégies	Commentaires
Dénombrement Production Combien	Comptine numérique	GSM : Comptine numérique orale ; Absence de la comptine numérique chuchotée.
		CP : Comptine numérique chuchotée ; Comptine numérique mentale.
		CE1 : Comptine numérique chuchotée ; Comptine numérique mentale majoritaire ; Encore comptine numérique orale avec des erreurs.
		CE2 : Comptine numérique mentale majoritaire ; Comptine numérique chuchotée.
Correspondance terme à terme		GSM : Pointage digital ou avec la tête ; La maîtrise du principe n'est pas acquise par tous les enfants.
		CP : Pointage digital ou avec la tête ; Apparition du pointage visuel ; La maîtrise du principe n'est pas acquise par tous les enfants (26%).
		CE1 : Pointage visuel ; Plus de pointage digital ; La maîtrise du principe n'est pas acquise par tous les enfants (27%).
		CE2 : Pointage visuel et avec la tête.
Cardinalité		Maitrisée pour la plupart des enfants ; Difficultés encore présentes.
Abstraction		Maitrisé pour la plupart des enfants.

	Organisation de l'ordre	GSM : Organisation fonctionnelle pour beaucoup, visible grâce au pointage digital. CP, CE1 et CE2 : Organisation fonctionnelle pour tous les enfants ou principe non observable car utilisation du pointage visuel.
Dénombrement	Pointage	Utilisation du pointage visuel.
Production Mouvement	Comptine numérique	GSM : Comptine numérique orale. CP : Comptine numérique orale et Comptine numérique chuchotée. CE1 : Comptine numérique orale et Comptine numérique chuchotée ; Apparition de la comptine numérique mentale. CE2 : Comptine numérique mentale.
	Rétention sur les doigts	Pas de rétention sur les doigts.

Tableau 5. Repères cliniques pour les stratégies et procédures de calcul

Fluence Arithmétique et Stratégies	Stratégies Addition	GSM : Stratégies verbale et digitale ; Peu de stratégies mentales/non observables. CP et CE1 : Stratégies verbale et digitale ; Stratégie mentale/non observable majoritaire. CE2 : Stratégie mentale/non observable majoritaire.
	Procédures Addition	GSM : Procédure non observable majoritaire ; Début de la procédure Tout et Premier. CP : Procédure mentale/non observable majoritaire ; Grande variabilité entre la procédure Tout, Premier et Min. CE1 : Procédure mentale/non observable ; Procédure Min. CE2 : Procédure mentale/non observable.
	Stratégies Soustraction	GSM : Pas de stratégie observable. CP, CE1 et CE2 : Stratégie digitale et stratégie mentale/non observable.
	Procédures Soustraction	GSM : Pas de procédure observable. CP : Procédure descendante majoritairement ; procédure ascendante ; procédure mentale/non observable. CE1 et CE2 : Procédure descendante majoritairement ; procédure mentale/non observable.

----- DISCUSSION -----

1. Interprétation des résultats

a. Question de recherche 1 : fidélité inter-cotations

Au regard du croisement de trois types de cotation qui ont été proposés (cotation instantanée en direct par la juge 1, cotation différée sur vidéo par la juge 1 et cotation différée sur vidéo par la juge 2), nous pouvons valider notre hypothèse de fiabilité des grilles d'analyse qualitative et de faisabilité de leur utilisation en temps réel pendant la passation. En effet, les scores obtenus par les différentes cotations sont significativement corrélés entre eux deux à deux. De plus, les comparaisons inter-juges et inter-modalités des patterns de stratégies et procédures ne montrent pas ou peu de différences à l'exception du seul critère « ordre de pointage » : le critère initial retenu était le principe de non-pertinence de l'ordre de pointage en référence aux principes de Gelman et Gallistel (1978). Ce principe s'est révélé difficile à observer et non pertinent dans la tâche de Dénombrement Production telle qu'elle est conçue, ce qui explique les différences d'appréciation des juges. Aussi, ce critère a été modifié au cours de cette étude et remplacé dans une approche plus fonctionnelle par un critère « organisation de l'ordre de pointage ». (À noter que le principe de non-pertinence de l'ordre est évalué dans une autre épreuve de la batterie sur le versant réceptif : Dénombrement Compréhension). Les autres légères différences notées relèvent des contraintes physiques de la modalité vidéo différée qui est moins favorable à une prise fine d'indices pour certaines caractéristiques comme par exemple le caractère « chuchoté » de la comptine numérique, peu perceptible en vidéo (d'autant plus que les enfants portaient un masque chirurgical du fait de la situation sanitaire) ou l'observation de certains mouvements de l'enfant non visibles du fait de l'angle de vue de la caméra (utilisation des doigts sous la table). La mise à disposition d'un guide et de vidéos d'aide à la cotation permettant d'illustrer chaque principe de dénombrement ainsi que les différentes stratégies et procédures pour résoudre des additions et des soustractions, permet de standardiser la cotation des critères. Ces aides réduisent les variations d'interprétation des différents items par chaque utilisateur de la batterie Examath 5-8. En outre, suite à la présente étude, les réponses attendues pour chaque opération de l'épreuve Fluence Arithmétique et Stratégies ont été ajoutées dans la grille, ce qui permet de limiter les risques d'erreurs quant à la validation ou non de la réponse de l'enfant en réduisant la charge mentale de l'utilisateur.

b. Question de recherche 2 : validité de construit en lien avec les caractéristiques développementales (niveau scolaire)

Nous présumons qu'en fonction de la classe de l'enfant au sein du groupe CTRL, les résultats obtenus seraient significativement différents. Cette première hypothèse est partiellement confirmée par les analyses statistiques. L'épreuve Fluence Arithmétique et Stratégies met en évidence des différences significatives au niveau du score et des différences de pattern au niveau du type de stratégies et procédures utilisées. En revanche, pour l'épreuve Dénombrement Production, aucune analyse ne permet de montrer de différence de performance en fonction de la classe de l'enfant en termes de score de réussite. Nous en déduisons que le dénombrement est acquis très tôt. En revanche, les principes de dénombrement sont, pour des enfants sans difficultés, maîtrisés avant l'âge de 6 ans, ce qui correspond en moyenne à la première tranche d'âge (CP) de notre échantillon pour cette analyse (Van Nieuwenhoven, 1996). Notons tout de

même qu'au-delà du score, les observations qualitatives que nous avons pu obtenir grâce à l'analyse des patterns établis avec les grilles d'observation permettent effectivement de montrer des différences dans la maîtrise des principes de dénombrement et dans les stratégies utilisées.

De plus, la cotation qualitative des productions des enfants a mis en lumière différents repères cliniques utiles aux utilisateurs de la batterie. Ces repères permettent d'affiner les analyses statistiques sur les scores quantitatifs de réussite et sont en accord avec le fait que les enfants utilisent les principes de dénombrement ainsi que les stratégies et les procédures de calcul de manière progressive. Les repères montrent une évolution entre la GSM et le CE2.

Bien que certains enfants aient encore des difficultés à utiliser les principes de dénombrement dans toutes les situations (Van Nieuwenhoven, 1999), ceux-ci sont pour la plupart acquis en GSM. Les enfants finissent par les utiliser de manière efficace tout en diminuant le coût cognitif en automatisant la procédure (utilisation de la comptine mentale, utilisation du pointage visuel, maîtrise de l'abstraction, de la cardinalité et organisation fonctionnelle du pointage). Concernant la fluence arithmétique, les GSM sont en difficulté pour répondre aux différents items de soustraction. Ce résultat est en accord avec la littérature (Barrouillet et al., 2007). Ils parviennent en CE2 à utiliser des stratégies de résolution rapide.

c. En résumé

Pour conclure, l'utilisation des grilles qualitatives dans le cadre des épreuves Dénombrement et Fluence Arithmétique et Stratégies est pertinente puisque celles-ci permettent d'analyser de façon fiable et en direct l'utilisation des principes de dénombrement et les stratégies et procédures utilisées par l'enfant pour résoudre les opérations. Des différences d'analyses inter-juges ou inter-modalités sont relevées pour les deux épreuves. Cependant, elles sont mineures d'après la méthode d'analyse que nous avons fixée, explicables et résolubles lorsque la cotation a lieu en direct, ce qui est leur visée première. L'utilisation du guide et des vidéos d'aide à la cotation permettent l'utilisation standardisée de ces grilles. Pour l'épreuve Fluence Arithmétique et Stratégies, nous précisons aux futurs utilisateurs de coter la stratégie principalement utilisée par l'enfant afin de limiter les variations d'interprétation.

2. Limites de l'étude

Un ensemble de limites méthodologiques doit être souligné. En effet, les expérimentations ont été réalisées en début d'année scolaire, nous avons donc considéré que le niveau scolaire de l'enfant était celui de la classe inférieure à la sienne, il est donc possible que ce choix entraîne un léger biais dans l'analyse des performances de nos deux groupes composant la cohorte. Une autre limite concerne le recrutement de notre population d'étude. Afin de valider les épreuves, nous avons constitué deux groupes, un groupe d'enfants CTRL et un groupe d'enfants AR. Pour les enfants du groupe CTRL, si nous avons éliminé la présence de difficultés significatives d'apprentissage en mathématiques par l'application des tests de référence TTR et NS-f, nous n'avons pas évalué objectivement l'absence de difficultés en langage oral, ce qui a pu avoir un impact pour la question de recherche 2. Nous n'avons pas différencié, dans le groupe AR, les enfants ayant un trouble du langage oral avéré ou sans trouble du langage oral identifié. Ainsi, une évaluation plus poussée pour chaque enfant du langage oral mais aussi des capacités en cognition mathématique aurait pu être pertinente. Enfin, les enfants ont été recrutés via des

appels à participation, ce qui engendre deux biais. Les catégories socioprofessionnelles ne rendent pas compte de la répartition réelle en France. Aussi, les deux groupes ne sont pas homogènes de par la répartition du nombre d'enfants en fonction du niveau scolaire mais aussi au niveau du nombre d'enfants au sein de chaque groupe. Compte tenu du contexte politico-sanitaire, les passations n'ont pas pu être toutes effectuées.

3. Implications cliniques

La présente étude permet de valider l'utilisation instantanée, fiable et standard des grilles d'analyse des principes de dénombrement et des stratégies et procédures de résolution des additions et des soustractions simples. De plus, les observations faites à l'aide de cette étude mettent en lumière des repères cliniques permettant de comparer les productions d'un patient par rapport à l'ensemble de la cohorte. Ces différents repères permettent d'analyser la maîtrise des principes de dénombrement et des stratégies et procédures de résolution des additions et des soustractions simples pour pouvoir déterminer finement les objectifs et ajuster la progression thérapeutique lors de l'intervention orthophonique.

----- BIBLIOGRAPHIE -----

- American Psychiatric Association (2016). Troubles neurodéveloppementaux. Dans *Manuel diagnostique et statistique des troubles mentaux* (5^e éd.). Elsevier Masson.
- Baroody, A. J., et Ginsburg, H. P. (1986). The relationship between initial meaningful and mechanical knowledge of arithmetic. Dans J. Hiebert (dir.), *Conceptual and procedural knowledge: The case of mathematics* (p. 75-112). Lawrence Erlbaum Associates. <https://doi.org/10.4324/9780203063538>
- Barrouillet, P., Billard, C., de Agostini, M., Démonet, J.-F., Fayol, M., Gombert, J.-E., Habib, M., Le Normand, M.-T., Ramus, F., Sprenger-Charolles, L., et Valdois, S. (2007). *Dyslexie, dysorthographe, dyscalculie : Bilan des données scientifiques*. <https://hal-lara.archives-ouvertes.fr/hal-01570674>
- Barrouillet, P., Mignon, M., et Thevenot, C. (2008). Strategies in subtraction solving in children. *Journal of Experimental Child Psychology*, 99(4), 233-251. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2007.12.001>
- Carpenter, T. P., et Moser, J. M. (1984). The acquisition of addition and subtraction concepts in grades one through three. *Journal for Research in Mathematics Education*, 15(3), 179-202. <https://doi.org/10.2307/748348>
- Curtis, R., Okamoto, Y., et Weckbacher, L. M. (2009). Preschoolers' use of count information to judge relative quantity. *Early Childhood Research Quarterly*, 24(3), 325-336. <https://doi.org/10.1016/j.ecresq.2009.04.003>
- De Vos, T. (1992). *Tempo Test Rekenen*. Berkhout.
- Dupont-Boime, J., et Thevenot, C. (2018). High working memory capacity favours the use of finger counting in six-year-old children. *Journal of Cognitive Psychology*, 30(1), 35-42. <https://doi.org/10.1080/20445911.2017.1396990>
- Fayol, M. (2018). *L'acquisition du nombre*. Presses Universitaires de France.
- Fayol, M. (2008). L'acquisition de l'arithmétique élémentaire. *Médecine/Sciences*, 24(1), 87-90. <https://doi.org/10.1051/medsci/200824187>
- Fuson, K. C., Pergament, G. G., et Lyons, B. G. (1985). Collection terms and preschoolers' use of the cardinality rule. *Cognitive Psychology*, 17(3), 315-323. [https://doi.org/10.1016/0010-0285\(85\)90011-8](https://doi.org/10.1016/0010-0285(85)90011-8)
- Gelman, R., et Gallistel, C. R. (1978). *The child's understanding of number*. Harvard University Press.

- Grégoire, J., et Van Nieuwenhoven, C. (1995). Counting at nursery school and at primary school: Toward an instrument for diagnostic assessment. *European Journal of Psychology of Education*, 10(1), 61-75. <https://doi.org/10.1007/BF03172795>
- Goldman, S. R., et Hasselbring, T. S. (1997). Achieving meaningful mathematics literacy for students with learning disabilities. *Journal of Learning Disabilities*, 30(2), 198-208. <https://doi.org/10.1177/002221949703000207>
- Helloin, M.-C., et Lafay, A. (2021). *Examath 5-8, batterie informatisée d'examen des habiletés mathématiques*. HappyNeuron.
- Lafay, A., Osana, H. P., Michaud, S., et Nosworthy, N. (2020). Dépistage des difficultés mathématiques : Validation et normalisation franco-qubécoise du Tempo Test Rekenen et du Numeracy Screener version française. *Glossa*, 127, 32-57. <https://www.glossa.fr/index.php/glossa/article/view/644>
- Lafay, A., et Cattini, J. (2018). Analyse psychométrique des outils d'évaluation mathématique utilisés auprès des enfants francophones. *Canadian Journal of Speech-Language Pathology and Audiology*, 42(2), 147-164. https://cjslpa.ca/files/2018_CJSLPA_Vol_42/No_02/CJSLPA_Vol_42_No_2_2018_MS_11_29.pdf
- Lafay, A., Archambault, S., Vigneron, M., et Nosworthy, N. (2018). Version française du test Numeracy Screener (NS-f), un outil de dépistage des difficultés de traitement du nombre et des quantités. *Glossa*, 123, 18-32. https://www.researchgate.net/profile/Anne-Lafay/publication/321365812_Version_francaise_du_test_Numeracy_Screener_NS-f_un_outil_de_depistage_des_difficultes_de_traitement_du_nombre_et_des_quantites/links/5b2a71700f7e9b1d009d1e85/Version-francaise-du-test-Numeracy-Screener-NS-f-un-outil-de-depistage-des-difficultes-de-traitement-du-nombre-et-des-quantites.pdf
- Lautier, Q. (2021). *Pré-validation d'épreuves contenues dans la batterie Examath 5-8*. [Mémoire pour l'obtention du Certificat de Capacité en Orthophonie, Université de Rouen]. <https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03277211>
- Lecointre, A.-S., Lépine, R., et Camos, V. (2005). Développement et troubles des processus de quantification. Dans M.-P. Noël (dir.), *La dyscalculie : Trouble du développement numérique de l'enfant* (p.41-75). Solal.
- Nosworthy, N., Bugden, S., Archibald, L., Evans, B., et Ansari, D. (2013). A two-minute paper-and-pencil test of symbolic and nonsymbolic numerical magnitude processing explains variability in primary school children's arithmetic competence. *PLOS One*, 8(7), e67918. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0067918>
- Siegler, R., et Shrager, J. (1984). Strategy choices in addition and subtraction: How do children know what to do? Dans C. Sophian (dir.), *Origins of cognitive skills* (p. 229-292). Lawrence Erlbaum Associates.

https://www.researchgate.net/publication/243771550_Strategy_choices_in_addition_and_subtraction_How_do_children_know_what_to_do_In_C

- Thevenot, C. (2018). La résolution d'additions simples par procédures de comptage automatisées. *ANAE*, 156, 1-7. https://www.researchgate.net/profile/Catherine-Thevenot/publication/332567758_La_resolution_d%27additions_simples_par_procedures_de_comptage_automatisees/links/5cc2eca44585156cd7b21b16/La-resolution-dadditions-simples-par-procedures-de-comptage-automatisees.pdf
- Van Nieuwenhoven, C., De Vriendt, S., et Hanin, V. (2019). *L'enfant en difficulté d'apprentissage en mathématiques. Pistes de diagnostic et supports d'intervention*. De Boeck Supérieur.
- Van Nieuwenhoven, C. (1999). *Le comptage. Vers la construction du nombre*. De Boeck Université.
- 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>