



HAL
open science

Pré-validation d'épreuves contenues dans la batterie Examath 5-8

Quitterie Chevillard

► **To cite this version:**

Quitterie Chevillard. Pré-validation d'épreuves contenues dans la batterie Examath 5-8. Médecine humaine et pathologie. 2021. dumas-03277211

HAL Id: dumas-03277211

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03277211>

Submitted on 2 Jul 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Normandie Université

MEMOIRE

Pour l'obtention du Certificat de Capacité en Orthophonie

***Préparé au sein du Département d'Orthophonie,
UFR Santé, Université de Rouen Normandie***

Titre du Mémoire :

Pré-validation d'épreuves contenues dans la batterie Examath 5-8

***Présenté et soutenu par
Quitterie CHEVILLARD***

Mémoire de recherche

***Mémoire soutenu publiquement le 24 juin 2021
devant le jury composé de***

| | | |
|--------------------------------|---------------------------------|---------------------------|
| <i>Lelièvre Camille</i> | <i>Orthophoniste</i> | <i>Présidente de jury</i> |
| <i>Loiseau Élise</i> | <i>Neuropsychologue</i> | <i>Membre du jury</i> |
| <i>Petitfour Edith</i> | <i>Maitresse de conférences</i> | <i>Membre du jury</i> |

Mémoire dirigé par

Marie-Christel HELLOIN, orthophoniste

Anne LAFAY, chercheuse postdoctorale, Université Concordia, Montréal, QC, Canada



UFR Santé



**Département
d'orthophonie**

REMERCIEMENTS

En premier lieu, je tiens à remercier Anne et Christel, grâce à vos commentaires avisés, votre aide précieuse mais aussi votre soutien j'ai pu mener à bien ce travail.

Je remercie aussi Madame Lelièvre d'avoir accepté de présider le jury de mon mémoire, Madame Loiseau et Madame Petitfour d'avoir accepté de faire partie de mon jury de mémoire.

Je tiens aussi à remercier l'ensemble des enfants qui ont accepté de participer à cette étude. Merci aux orthophonistes qui m'ont accueillie au sein de leur cabinet afin que je voie des patients que j'ai pu inclure dans mon étude. Merci Margaux d'avoir pris du temps pour regarder toutes les vidéos.

Je tiens aussi à remercier Monsieur Pasquet et toute l'équipe du département d'orthophonie de Rouen pour la richesse et la qualité des différents enseignements.

Merci à vous papa et maman pour vos relectures, vos conseils mais aussi pour m'avoir soutenue financièrement et moralement pendant ces 5 années en Normandie. Merci aussi à tous mes frères et sœurs pour votre soutien tout au long de mes études.

Merci Grégoire pour ton soutien et pour tes nombreux aller-retours entre Chambéry et Rouen.

Merci Auriane, Rébecca, Adèle, Justine, Manon et Fanette d'avoir été là pendant ces 5 années.

TABLE DES MATIERES

| | |
|--|-----------|
| INTRODUCTION | 1 |
| PARTIE THEORIQUE | 2 |
| <i>CHAPITRE 1. LE DÉNOMBREMENT CHEZ L'ENFANT DE 5 À 8 ANS</i> | 2 |
| 1. Définition | 2 |
| 2. Modèles théoriques concernant le développement du dénombrement..... | 3 |
| 3. Développement normal | 4 |
| 3.1 Développement de la comptine numérique | 5 |
| 3.2 Développement du pointage | 6 |
| 3.3 Stratégies de dénombrement..... | 6 |
| 4. Difficultés possibles | 7 |
| 5. Habiletés prédites par le dénombrement | 8 |
| <i>CHAPITRE 2. L'ARITHMÉTIQUE CHEZ L'ENFANT DE 5 À 8 ANS.</i> | 8 |
| 1. Développement normal | 8 |
| 2. Stratégies de résolution des opérations simples d'addition et soustraction | 9 |
| 2.1 Stratégie de résolution des additions | 10 |
| 2.2 Stratégie de résolution des soustractions | 11 |
| 3. Habiletés prédites par les compétences arithmétiques..... | 12 |
| 4. Difficultés possibles | 12 |
| <i>CHAPITRE 3. INTRICATIONS ENTRE LE DÉNOMBREMENT ET L'ARITHMÉTIQUE</i> | 13 |
| 1. Liens entre le dénombrement et l'arithmétique | 13 |
| 2. Pourquoi évaluer le dénombrement et l'arithmétique ? | 13 |
| <i>CHAPITRE 4. DÉFINITION DU TROUBLE SPÉCIFIQUE DES APPRENTISSAGES MATHÉMATIQUES</i> | 14 |
| <i>CHAPITRE 5. LES PROPRIÉTÉS PSYCHOMÉTRIQUES D'UNE BATTERIE</i> | 15 |
| 1. Validité | 16 |
| 2. Fidélité..... | 17 |
| 3. Standardisation | 17 |
| <i>PROBLÉMATIQUE</i> | 17 |
| <i>OBJECTIFS ET HYPOTHÈSES</i> | 18 |
| PARTIE MÉTHODE | 21 |
| 1. Population..... | 21 |
| 1.1 Tout-venants | 21 |
| 1.2 À Risque de Trouble Spécifique des Apprentissages Mathématiques | 21 |

| | |
|---|-----------|
| 1.3 Récapitulatif de la population de l'étude | 21 |
| 1.4 Constitution des groupes..... | 22 |
| 1.5 Catégorie socio-professionnelle des parents | 23 |
| 2. Matériel..... | 23 |
| 2.1 Évaluation mathématique générale | 23 |
| 2.2 Tâches expérimentales issues d'Examath 5-8 | 24 |
| 2.2.1 Module 3 : Dénombrement | 24 |
| 2.2.1.1 Dénombrement production..... | 24 |
| 2.2.1.2 Dénombrement compréhension | 25 |
| 2.2.2 Module 4 : Arithmétique | 25 |
| 2.2.2.1 Fluence Arithmétique et Stratégies | 25 |
| 2.2.2.2 Compléments à 10 | 26 |
| 2.2.2.3 Concepts..... | 26 |
| 2.2.2.4 Opérations analogiques | 27 |
| 3. Procédure générale..... | 27 |
| 3.1 Lieu..... | 27 |
| 3.2 Déroulement..... | 27 |
| 4. Mise en place d'une captation vidéo | 28 |
| 5. Co-conception de la grille permettant d'analyser les stratégies de l'enfant | 28 |
| 5.1 Grille de l'épreuve Dénombrement en production..... | 28 |
| 5.2 Grille de l'épreuve Fluence arithmétique et Stratégies | 29 |
| 5.3 Guide d'aide à la cotation..... | 29 |
| 6. Hypothèses opérationnelles et méthode d'analyse | 30 |
| 6.1 Hypothèses opérationnelles | 30 |
| 6.2 Méthode d'analyse | 30 |
| 6.2.1 Méthode d'analyse pour l'objectif 1..... | 30 |
| 6.2.2 Méthode d'analyse pour l'objectif 2..... | 30 |
| PARTIE RÉSULTATS | 32 |
| RESULTATS AUX TACHES D'EXAMATH 5-8 | 32 |
| 1. Validité convergente des épreuves issues du module Arithmétique ainsi que l'épreuve Opérations Analogiques avec le TTR..... | 32 |
| 2. Cohérence interne des épreuves d'Examath 5-8..... | 33 |
| 3. Cohérence interne des modules..... | 33 |
| 4. Validité de construit en lien avec les caractéristiques de l'individu : comparaison interclasses..... | 34 |
| 5. Validité de construit en lien avec les caractéristiques de l'individu : profil à risque | 37 |
| 6. Fidélité..... | 39 |

| | |
|--|-----------|
| 6.1 Fidélité inter-juges quant aux scores attribués lors de l'analyse vidéo | 39 |
| 6.2 Fidélité de la cotation instantanée en direct : comparaison des scores attribués pendant la passation et en différé par la même juge | 40 |
| 6.3 Analyse des différences entre les deux juges suivant deux modalités différentes..... | 40 |
| 6.4 Analyses des stratégies à l'aide de la grille d'analyse des stratégies | 41 |
| DISCUSSION | 46 |
| 1. Interprétation des résultats..... | 46 |
| 1.1 Hypothèse 1 : Les épreuves comprises dans les modules Dénombrement, Arithmétique ainsi que l'épreuve Opérations Analogiques présentent de bonnes propriétés psychométriques..... | 46 |
| 1.1.1 Les épreuves contenues dans le module Arithmétique ainsi que l'épreuve Opérations Analogiques présentent une validité convergente correcte avec le TTR | 47 |
| 1.1.2 Les épreuves présentent une bonne cohérence interne..... | 47 |
| 1.1.3 Les modules présentent une bonne cohérence interne | 48 |
| 1.1.4 Les épreuves permettent de montrer des différences de performance en fonction de la classe de l'enfant contribuant à une bonne validité de construit..... | 49 |
| 1.1.5 Les épreuves permettent de montrer des différences de performance en fonction de l'appartenance au groupe CTRL ou au groupe AR-TSAM, contribuant à une bonne validité de construit | 50 |
| 1.1.6 Synthèse | 50 |
| 1.2. Hypothèse 2 : Les grilles d'analyses permettent d'affiner objectivement le diagnostic ... | 51 |
| 1.2.1 L'accord inter-juges est satisfaisant pour les épreuves comportant une analyse qualitative standardisée | 51 |
| 1.2.2 La grille d'analyse des stratégies pour l'épreuve Dénombrement Production permet d'analyser de façon fiable les stratégies de l'enfant..... | 52 |
| 1.2.3 L'analyse instantanée des stratégies utilisées par l'enfant dans l'épreuve Dénombrement Production est réalisable de façon fiable à l'aide de la grille..... | 54 |
| 1.2.4 La grille d'analyse des stratégies pour l'épreuve Fluence Arithmétique et Stratégies permet d'analyser de façon fiable les stratégies de l'enfant..... | 55 |
| 1.2.5 L'analyse instantanée des stratégies utilisées par l'enfant dans l'épreuve de Fluence Arithmétique et Stratégies est réalisable de façon fiable à l'aide de la grille | 56 |
| 1.2.6 Synthèse | 57 |
| 2. Limites de l'étude..... | 57 |
| 2.1 Modalités de passation et méthodologies | 57 |
| 2.2 Modalités de recrutement..... | 58 |
| 3. Perspectives cliniques pour la pratique orthophonique | 59 |
| 3.1 Liens entre les épreuves | 59 |
| 3.1.1 Dénombrement Production et Dénombrement Compréhension..... | 60 |

| | |
|--|-----------|
| 3.1.2 Fluence Arithmétique et Stratégies et Compléments à 10 | 60 |
| 3.1.3 Fluence Arithmétique et Stratégies et Concepts..... | 61 |
| 3.1.4 Opérations analogiques et Fluence Arithmétique et Stratégies | 61 |
| 3.2 Créations de repères cliniques | 62 |
| 3.2.1 Dénombrement..... | 62 |
| 3.2.2 Fluence Arithmétique et Stratégies | 64 |
| 3.3 Perspectives de recherche..... | 66 |
| CONCLUSION | 67 |
| BIBLIOGRAPHIE | 68 |
| ANNEXES | 78 |

LISTE DES ABREVIATIONS

AMO : Acte Médical d'Orthophonie

AR-TSAM : A Risque de Trouble Spécifique des Apprentissages Mathématiques

CE1 : Cours Élémentaire première année

CE2 : Cours Élémentaire deuxième année

CP : Cours Préparatoire

CSP : Catégorie socio-professionnelle

CTRL : Contrôle

GSM : Grande Section de Maternelle

NS-f : Numeracy Screener version française

TDL : Trouble Développementale du Langage

TLO : Trouble du Langage Oral

TSAM : Trouble Spécifique des Apprentissages Mathématiques

TTR : Tempo Test Rekenen

TABLE DES TABLEAUX

| | |
|--|-----------|
| <i>Tableau 1. Résumé de l'ensemble des hypothèses et sous-hypothèses.....</i> | <i>19</i> |
| <i>Tableau 2. Récapitulatif des enfants composants la cohorte</i> | <i>22</i> |
| <i>Tableau 3. Récapitulatif des enfants composants la cohorte pour l'hypothèse 2</i> | <i>22</i> |
| <i>Tableau 4. Récapitulatif des scores aux épreuves de référence externe.....</i> | <i>22</i> |
| <i>Tableau 5. Catégorie socio-professionnelle des parents.....</i> | <i>23</i> |
| <i>Tableau 6. Corrélations entre le module Arithmétique, l'épreuve Opérations Analogiques et le TTR.....</i> | <i>32</i> |
| <i>Tableau 7. Résultats de l'analyse de la cohérence interne pour chaque épreuve d'Examath 5-8</i> | <i>33</i> |
| <i>Tableau 8. Corrélations entre les subtests du module Arithmétique</i> | <i>34</i> |
| <i>Tableau 9. Résultats de la comparaison interclasses pour le module Dénombrement</i> | <i>35</i> |
| <i>Tableau 10. Résultats de la comparaison interclasses pour le module Arithmétique</i> | <i>36</i> |
| <i>Tableau 11. Résultats de la comparaison interclasses pour l'épreuve Opérations Analogiques comprise dans le module Raisonnement Numérique.....</i> | <i>37</i> |
| <i>Tableau 12. Résultats de la comparaison entre les groupes pour le module Dénombrement</i> | <i>38</i> |
| <i>Tableau 13. Résultats de la comparaison entre les groupes pour le module Arithmétique</i> | <i>38</i> |
| <i>Tableau 14. Résultats de la comparaison entre les groupes pour l'épreuve Opérations Analogiques.....</i> | <i>39</i> |
| <i>Tableau 15. Comparaison qualitative des patterns</i> | <i>43</i> |
| <i>Tableau 16. Commentaires qualitatifs sur l'utilisation des différents principes de dénombrement selon la cotation instantanée en direct effectuée par la juge 1 pour l'épreuve Dénombrement</i> | <i>44</i> |
| <i>Tableau 17. Commentaires qualitatifs sur l'utilisation des différentes stratégies et procédures selon la cotation instantanée en direct effectuée par la juge 1 pour l'épreuve Fluence Arithmétiques et Stratégies.....</i> | <i>45</i> |
| <i>Tableau 18. Repères cliniques Dénombrement Combien.....</i> | <i>62</i> |
| <i>Tableau 19. Repères cliniques Dénombrement Mouvement</i> | <i>64</i> |
| <i>Tableau 20. Repères cliniques Fluence Arithmétique et Stratégies</i> | <i>65</i> |

TABLE DES FIGURES

| | |
|---|-----------|
| <i>Figure 1 : Cotation instantanée en direct juge 1</i> | <i>42</i> |
| <i>Figure 2 : Cotation sur vidéos juge 1</i> | <i>42</i> |
| <i>Figure 3 : Cotation sur vidéos juge 2</i> | <i>42</i> |

TABLE DES ANNEXES

| | |
|--|-----------|
| <i>Annexe 1. Décharge sanitaire de la COVID-19.....</i> | <i>78</i> |
| <i>Annexe 2. Autorisation parentale pour la captation vidéo.....</i> | <i>79</i> |
| <i>Annexe 3. Grille d'analyse des principes de dénombrement pour l'épreuve Dénombrement Production - Combien ?.....</i> | <i>80</i> |
| <i>Annexe 4. Grille d'analyse des principes de dénombrement pour l'épreuve Dénombrement Production en mouvement.....</i> | <i>81</i> |
| <i>Annexe 5. Grille d'analyse des stratégies et procédures pour l'épreuve Fluence Arithmétique et Stratégies Addition.....</i> | <i>82</i> |
| <i>Annexe 6. Grille d'analyse des stratégies et procédures pour l'épreuve Fluence Arithmétique et Stratégies Soustraction.....</i> | <i>83</i> |
| <i>Annexe 7. Aide à la cotation pour les grilles d'analyse qualitative des épreuves Dénombrement Production et Fluence Arithmétique et Stratégies.....</i> | <i>84</i> |
| <i>Annexe 8. Histogrammes rendant compte en pourcentage de l'utilisation des différentes stratégies, procédures pour les épreuves Dénombrement Production - Combien ? et en mouvement et Fluence Arithmétique et Stratégies.....</i> | <i>88</i> |

INTRODUCTION

L'évaluation et l'intervention dans le domaine de la cognition mathématique fait partie du champ de compétence des orthophonistes (UNCAM, 2005). La prise en soins se base sur un bilan initial permettant de faire l'état des lieux des contraintes et points d'appuis de l'enfant afin de déterminer des objectifs thérapeutiques précis et pertinents, si un trouble est objectivé à l'issue de ce bilan. Pour ce faire, il est nécessaire de disposer d'outils normés et standardisés permettant de comparer les performances ainsi que les connaissances de l'enfant à une norme et ainsi d'objectiver un trouble ou non. Lafay et al. (2014) recensent et critiquent l'ensemble des outils disponibles, auxquels se sont ajoutés depuis la batterie Tedi-Math Grands (Noël et Grégoire, 2015) et la batterie Examath 8-15 (Helloin et Lafay, 2016). Il n'existe donc pas, à ce jour, d'outils normés informatisés permettant de poser un diagnostic précis de trouble des apprentissages mathématiques chez l'enfant scolarisé de la grande section de maternelle (GSM) au cours élémentaire numéro 1 (CE1). En effet, tous les outils permettant de poser un diagnostic pour cette tranche d'âge sont anciens et ne permettent pas d'évaluer certaines compétences actuellement reconnues comme liées aux habiletés mathématiques. Ainsi, une batterie d'évaluation pour les enfants de 5 à 8 ans (GSM à CE1) est développée par Helloin et Lafay, pour regrouper l'évaluation des habiletés numériques de base, du dénombrement, des capacités arithmétiques, de la numération ainsi que des raisonnements numérique et non-numérique.

Un protocole expérimental de pré-validation sur une cohorte restreinte d'enfants dans la tranche d'âge visée par la batterie est nécessaire et utile, afin d'une part d'évaluer certaines propriétés psychométriques des épreuves et, d'autre part, d'affiner la standardisation en précisant les consignes de passation et modalités d'analyse qualitative des productions à l'aide de grilles recensant les stratégies et procédures observables.

Au cours de ce mémoire, nous développerons d'abord l'acquisition du dénombrement et de l'arithmétique chez les enfants ainsi que les troubles qui peuvent contraindre ce développement. Nous développerons ensuite les différentes propriétés psychométriques attendues d'une batterie d'évaluation. Nous présenterons les objectifs de notre étude ainsi que la méthodologie utilisée. Nous décrirons enfin les résultats obtenus et les analyserons au regard de la littérature.

PARTIE THEORIQUE

CHAPITRE 1. LE DÉNOMBREMENT CHEZ L'ENFANT DE 5 À 8 ANS

1. *Définition*

Il est possible de quantifier une collection en mettant en place divers 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 la collection, de faire le compte précis des différents éléments composant un ensemble (Fayol, 2018). Selon Crahay et al. (2008), dénombrer est le fait d'« utiliser les « mots nombres » pour quantifier, c'est-à-dire pour établir le cardinal d'une classe ». 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 efficace quand l'enfant est capable de concevoir (et d'utiliser ce concept) que le dernier mot-nombre qu'il prononce représente la quantité d'objets qu'il vient de dénombrer (Van Nieuwenhoven, 1999).

Le dénombrement nécessite la mise en place de deux 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). Il est aussi nécessaire que l'enfant comprenne les liens entre les nombres et les principes qui régissent le comptage (Curtis et al., 2009). 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. Ce principe est à mettre en lien avec la connaissance de la comptine numérique (Grégoire et Van Nieuwenhoven, 1995).

- **Le principe de cardinalité** : le dernier mot-nombre énoncé correspond au nombre d'objets dans la collection. Cependant, il est difficile d'évaluer l'intégrité de ce principe et de s'assurer de sa compréhension par les enfants. 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 que il utilise une simple procédure (Fuson et al., 1985). Cela met en évidence la difficulté de l'évaluation de ce principe de dénombrement.
- **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.

L'utilisation de manière coordonnée des différents principes est importante pour que l'enfant dénombre efficacement (Grégoire et Van Nieuwenhoven, 1995).

2. *Modèles théoriques concernant le développement du dénombrement*

Les différents auteurs ne s'accordent pas sur la place de l'inné et de l'acquis dans le développement du dénombrement (Barrouillet et al., 2007). En effet, deux théories se contredisent dans la littérature scientifique :

- **Théorie des « principes en premier »**. Les principes de dénombrement seraient innés et l'enfant les utiliserait en reconnaissant la tâche à effectuer comme une tâche relevant du dénombrement. Les différentes erreurs des enfants ne seraient pas dues à une méconnaissance des différents principes de dénombrement mais à une mauvaise utilisation coordonnée de ces principes du fait d'un coût cognitif trop élevé par exemple (Gelman et Gallistel, 1978 ; Lecointre et al., 2005). Ainsi, les changements observés tout au long du développement de l'enfant seraient dus à une meilleure utilisation progressive des différents principes de dénombrement.
- **Théorie des « principes après »**. Les principes de dénombrement seraient acquis par l'enfant dès lors qu'il est confronté régulièrement à différentes tâches de dénombrement (Briars et Siegler, 1984). Ainsi, au fur et à mesure des différentes

activités, l'enfant apprend les différents principes et développe sa capacité à dénombrer efficacement. Les enfants naîtraient avec une sensibilité au nombre mais celle-ci ne serait pas la base du développement du dénombrement.

En conclusion, la théorie des « principes en premier » et la théorie des « principes après » s'opposent mais les auteurs défendant l'une et l'autre s'accordent pour dire que l'enfant possède de manière innée des capacités de quantification et qu'il va, au cours de son développement, réduire les contraintes empêchant un dénombrement efficace.

3. Développement normal

Le dénombrement est considéré comme une compétence de base mais concerne en réalité la coordination de nombreuses compétences (Barrouillet et al., 2007 ; Fayol, 2008). L'enfant va développer ses capacités de dénombrement grâce aux activités qui lui sont proposées dans des champs variés (Van Nieuwenhoven, 1999). Le dénombrement est un des apprentissages mathématiques les plus précoces. Les enfants doivent posséder une bonne connaissance de la séquence verbale des nombres ainsi que des principes qui dirigent le dénombrement avant même de pouvoir le mettre en place efficacement (Van Nieuwenhoven, 1999).

Les enfants comprennent très tôt les différents principes qui régissent le dénombrement et sont capables de juger de leur utilisation sans pouvoir les utiliser eux-mêmes (Gelman et Gallistel, 1978 ; Gelman et Meck, 1983). En accord, avec la théorie des principes en premier, selon laquelle la compréhension précède la production, les enfants de 3-4 ans, d'après l'étude menée par Gelman et Meck (1983), sont capables de juger si une poupée dénombre correctement les différentes collections. Toutefois, il est nécessaire que les enfants soient confrontés à de nombreuses collections différentes à dénombrer pour être capables d'appliquer les principes de dénombrement dans toutes les situations possibles (Curtis et al., 2009).

Vers 4 ans et demi, les enfants comprennent et sont capables d'utiliser les principes de dénombrement (Fayol, 2008). Ils sont donc capables de dénombrer une collection grâce à la coordination plus ou moins efficace de ces principes (Van Nieuwenhoven, 1999). A 6 ans, la coordination du pointage et de l'énonciation de la comptine numérique ne représente plus un coût cognitif pour les enfants (Gelman et Gallistel, 1978). Ces repères peuvent être utiles

mais le développement du dénombrement ne suit pas une progression linéaire et d'importantes différences intra et interindividuelles sont relevées (Barrouillet et al., 2007). Le dénombrement se développe en plusieurs étapes (Van de Rijt et Van Luit, 1998). Premièrement, l'enfant développe d'abord (1) la comptine acoustique (juste des nombres sans les faire correspondre à des éléments : la comptine peut alors être perçue par l'enfant comme une suite de sons sans but apparent), puis (2) la comptine asynchrone (les nombres sont connectés à des objets mais il n'y a pas de correspondance terme à terme) ; (3) le comptage synchrone (les objets sont comptés en lien avec des mots-nombres avec la mise en place d'une correspondance terme à terme) ; (4) le comptage résultat (l'enfant comprend que le dernier mot-nombre énoncé représente l'ensemble des objets comptés, nous pouvons rapprocher cette étape au principe de cardinalité) ; (5) le comptage raccourci (l'enfant identifie par subitizing une partie de la collection afin de pouvoir énoncer plus rapidement le nombre d'objets dans la collection, il crée donc des sous-groupes au sein d'un même groupe afin de pouvoir aller plus rapidement) ; et, enfin, (6) le comptage fluide et flexible (l'enfant est capable de compter toutes les collections dans tous les sens).

3.1 Développement de la comptine numérique

L'apprentissage de la comptine numérique se déroule entre 2 et 6 ans mais d'importantes différences interindividuelles sont notées. En langue française, les enfants doivent apprendre les chiffres de un à neuf puis de onze à seize (Deloche et Seron, 1987). Les nombres de onze à seize sont dits particuliers puisqu'ils ne suivent aucune règle ; il faut les connaître par cœur afin de pouvoir les utiliser. Les nombres à partir de dix-sept suivent différentes règles combinatoires que l'enfant doit intégrer afin de ne pas commettre d'erreurs. Plus la comptine numérique sera automatisée, plus il sera simple pour l'enfant de dénombrer efficacement et rapidement puisqu'il pourra libérer toute son attention sur le dénombrement en tant que tel (Fayol, 2008). Inversement, l'acquisition de la comptine numérique sera renforcée par son utilisation dans toutes les activités de dénombrement (Barrouillet et Camos, 2003).

La comptine numérique se développe en quatre stades, à peu près identiques, pour tous les enfants : (1) le chapelet (les nombres sont récités les uns à la suite des autres sans pouvoir les dissocier) ; (2) la chaîne non sécable (la comptine numérique ne peut être énoncée que depuis le début) ; (3) la chaîne sécable (l'enfant peut commencer à énoncer la comptine

numérique depuis n'importe quel mot-nombre) ; et (4) la chaîne dénombrable (la comptine numérique est mise en lien avec la cardinalité, l'enfant peut énoncer la comptine numérique à partir de n'importe quel mot-nombre (Fuson et al., 1982).

3.2 Développement du pointage

Le pointage est une condition importante à la mise en place correcte du dénombrement. Il est possible d'utiliser un pointage visuel ou digital. L'utilisation d'une forme de pointage préférentiellement à l'autre varie en fonction de l'âge. Les enfants utilisent majoritairement le pointage digital permettant de mettre en place une trace motrice et visuelle sur les éléments déjà dénombrés (Gelman et Gallistel, 1978) et de soulager la mémoire de travail. L'enfant ne peut cependant pas s'appuyer sur ce pointage digital avant trois ans à cause d'une contrainte motrice trop importante (Saxe et Kaplan, 1981). De plus, le geste permet de développer la correspondance terme à terme, principe important du dénombrement (Alibali et DiRusso, 1999). Les adultes utilisent le pointage visuel préférentiellement (Lecointre et al., 2005).

3.3 Stratégies de dénombrement

Afin de dénombrer et d'être plus rapides et efficaces, les enfants vont utiliser différentes stratégies. Camos (2003) décrit quatre stratégies de dénombrement :

- **Un à un** : l'enfant compte à partir de 1 puis de 1 en 1 en suivant l'ordre normal de la comptine numérique. Cette stratégie est utilisée par les enfants au début.
- **N en n** : l'enfant compte de 2 en 2 ou de 3 en 3... Il est capable de segmenter sa comptine numérique afin d'aller plus vite. Cette stratégie est utilisée à partir de 7 ans environ. C'est la stratégie dominante pour les enfants de 11 ans.
- **Addition** : l'enfant regroupe les éléments qu'il a à dénombrer afin d'aller plus vite et de mieux s'organiser, il additionne ensuite la quantité de chaque petit groupe afin de trouver combien il y a d'éléments en tout.
- **Multiplication** : l'enfant forme des groupes de taille égale ; ainsi il ne compte qu'un groupe avant de multiplier le résultat par le nombre de groupes. Cette stratégie est utilisée à partir de 9 ans environ.

4. *Difficultés possibles*

Certains enfants sont susceptibles de présenter des difficultés au niveau du dénombrement. Par exemple, les enfants avec un trouble spécifique des apprentissages en mathématiques (TSAM) présentent fréquemment des difficultés de dénombrement, du fait d'une mauvaise maîtrise des principes de dénombrement (Lecointre et al., 2005).

Les difficultés liées au dénombrement viennent d'une connaissance fragile ou d'une non-coordination des différents principes de dénombrement (voir partie 1). Les erreurs de dénombrement peuvent alors être dues à des erreurs de pointage, de balayage visuel ainsi qu'à une mauvaise maîtrise de la comptine numérique. Une autre difficulté peut être l'utilisation des cinq principes de dénombrement dans des situations non rencontrées par l'enfant précédemment (Gelman et Gallistel, 1978 ; Van Nieuwenhoven, 1999).

Les difficultés en dénombrement peuvent aussi être dues à des difficultés plus globales dans d'autres domaines qui auront un impact direct sur le dénombrement. En effet, un enfant qui a des difficultés à maîtriser la comptine numérique en lien avec un trouble développemental du langage oral (TDL) présentera aussi fréquemment des difficultés de dénombrement (Lecointre et al., 2005). Des troubles moteurs peuvent aussi entraîner des difficultés de dénombrement, ces troubles rendant difficiles la coordination du pointage et de l'énonciation de la comptine numérique. D'après Bertrand et Camos (2011), les enfants ayant un trouble d'acquisition de la coordination motrice présentent fréquemment des difficultés de dénombrement.

En outre, les difficultés concernant la mémoire de travail peuvent toucher le dénombrement (Gavens et Camos, 2006 ; Curtis et al., 2009). En effet, la mémoire de travail est le système chargé du maintien sur une courte durée et de la manipulation d'informations pendant la réalisation de tâches cognitives (Baddeley et Hitch, 1974). Lorsque les enfants dénombrent une collection, ils doivent maintenir en mémoire les éléments déjà dénombrés, le mot-nombre ainsi que le but dans lequel ils réalisent cette action. Ainsi, les enfants ayant des capacités réduites en mémoire de travail commettront plus d'erreurs et seront plus lents lors du dénombrement de collections (Barrouillet et Camos, 2003 ; Gavens et Camos, 2006).

5. *Habiletés prédites par le dénombrement*

Le dénombrement est une compétence primordiale pour que les enfants développent leurs capacités mathématiques. Cette compétence participe au développement du sens du nombre en tant qu'outil d'accès au sens du nombre via le code verbal (Geary et Burlingham-Dubree, 1989 ; Shrager et Siegler, 1998) et ainsi au développement des représentations numériques précises de l'enfant. Le dénombrement représente pour la majorité des enfants la première stratégie de calcul et constitue ainsi le fondement de l'arithmétique (Lecointre et al. 2005 ; Fayol, 2008). Les difficultés de dénombrement pourront par conséquent perturber l'accès au sens du nombre et le développement des premières compétences arithmétiques. Plus généralement, des difficultés en termes de fluidité et de rapidité de dénombrement prédisent des difficultés mathématiques générales par la suite (Carr et Alexeev, 2011).

CHAPITRE 2. L'ARITHMÉTIQUE CHEZ L'ENFANT DE 5 À 8 ANS.

1. *Développement normal*

Selon le Larousse, l'arithmétique est « l'étude des propriétés de l'ensemble des nombres rationnels » ; ainsi l'arithmétique est l'étude des différentes manières de calculer, de faire des hypothèses (Larousse, 2020). Le présent mémoire cible l'addition et la soustraction.

Le développement arithmétique des enfants suit une trajectoire à peu près similaire pour tous même si des différences interindividuelles sont à noter (Geary, 1994). Le processus de développement commence avant l'entrée à l'école. Il est lié au développement d'habiletés spécifiques au nombre mais aussi d'habiletés cognitives générales (Huttenlocher et al., 1994 ; Gray et Reeve, 2014). Les compétences arithmétiques sont liées aux compétences verbales et de dénombrement ainsi qu'au système numérique approximatif (Xenidou-Dervou et al., 2018).

Chaque enfant a des capacités innées pour développer des compétences arithmétiques. En effet, très tôt l'enfant est capable de saisir le sens intuitif des opérations (Huttenlocher et al., 1994). Les bébés et très jeunes enfants regardent significativement plus longtemps la collection obtenue après avoir ajouté ou enlevé des objets à la collection initiale (Wynn, 1992). Les enfants posséderaient donc un système de reconnaissance des magnitudes

leur permettant de résoudre des opérations arithmétiques simples (McCrink et Wynn, 2004). La perception de quantités non-symboliques est en lien avec la capacité à comprendre et apprendre les mathématiques formelles (Dehaene, 2008). Les capacités non-symboliques sont aussi liées aux compétences mathématiques de l'enfant (Booth et Siegler, 2008).

Un apprentissage formel des chiffres est essentiel et va permettre de développer plus finement les capacités arithmétiques des enfants (Butterworth, 2005), avec une influence sur le développement de l'arithmétique observée chez les enfants de 6 ans (Habermann et al., 2020). Goldman et Hasselbring (1997) définissent trois types de connaissances primordiales pour que l'enfant réalise des calculs précis et rapides. La première est la connaissance des stratégies (connaissances procédurales), la connaissance des doubles et compléments à 10 (connaissances déclaratives) ainsi que la connaissance des règles du calcul (connaissances conceptuelles). En particulier, concernant les règles du calcul, l'enfant doit, pour pouvoir répondre aux différents énoncés arithmétiques, être capable de comprendre la signification du signe égal ainsi que des signes arithmétiques (+ -).

Pour conclure, le développement des compétences arithmétiques regroupant les savoir et savoir-faire est lié au développement des représentations des quantités analogiques et symboliques mais aussi au développement des fonctions cognitives. Dès 5 ans (avant l'apprentissage formel), les enfants sont capables de résoudre des additions simples et des soustractions.

2. Stratégies de résolution des opérations simples d'addition et soustraction

Les stratégies utilisées par les enfants pour résoudre les différents énoncés arithmétiques dépendent de la capacité préalable de l'enfant à dénombrer des collections (Barrouillet et al., 2007), de l'énoncé et de la compréhension qu'en fait l'enfant (Carpenter et Moser, 1984 ; De Corte et Verschaffel, 1987) et de l'environnement culturel de l'enfant et des apprentissages qu'on lui a fournis (Carpenter et Moser, 1984 ; Geary, 1994 ; Barrouillet et al., 2007).

Initialement, les stratégies sont verbales et gestuelles. A mesure que des nouvelles stratégies émergent, d'autres plus anciennes seront abandonnées pour ne plus être utilisées (Carpenter et Moser, 1984). L'enfant doit utiliser des stratégies lui permettant d'automatiser

les procédures ou de récupérer en mémoire les faits arithmétiques afin de résoudre les additions et de réduire le coût cognitif de la réalisation des énoncés. Concernant le calcul mental rapide, deux théories s'opposent. Selon la théorie des réseaux associatifs (Campbell et Xue, 2001), les enfants experts sont capables de récupérer directement en mémoire le résultat d'additions et de soustractions. On parle de faits arithmétiques qui sont des connaissances déclaratives qui permettent de récupérer directement en mémoire le résultat d'opérations (Fayol, 2008). Une seconde théorie, théorie des procédures de comptage automatique, remet en cause l'existence de faits arithmétiques additifs et soustractifs et postule que les enfants auraient des stratégies de comptage de plus en plus efficaces et rapides, ce qui permettrait de résoudre très rapidement des opérations simples. Des déplacements attentionnels sont aussi relevés vers la droite pour l'addition et vers la gauche pour la soustraction, ainsi les procédures de calcul seraient réalisées à l'aide d'une ligne numérique mentale (Thevenot, 2018).

Lorsque l'enfant doit résoudre une opération, il va choisir une stratégie. Ce choix dépend des individus qui n'utiliseront pas tous la même stratégie en fonction de l'opération (variabilité) mais aussi de l'âge de l'enfant. La stratégie employée doit permettre de réduire le coût cognitif et le temps de résolution (flexibilité adaptative) et d'être précis dans la réalisation du calcul (exactitude d'exécution) (Siegler et Shrager, 1984 ; Fayol, 2018). Les enfants utilisent, généralement, la stratégie de récupération immédiate / calcul automatique mental pour effectuer les opérations les plus simples et le dénombrement à l'aide des différentes stratégies et procédures pour les opérations plus complexes (Carpenter et Moser, 1984 ; Shrager et Siegler, 1998). Les enfants avec des difficultés en mathématiques vont utiliser préférentiellement le comptage pour tout type d'additions (Van Nieuwenhoven et al., 2019).

2.1 Stratégie de résolution des additions

Cinq classes générales de stratégies sont définies. L'enfant utilise d'abord l'utilisation d'**objets** pour résoudre l'opération. Il peut aussi utiliser le comptage sur les **doigts**. Les doigts sont alors utilisés pour effectuer une procédure de calcul. Ils sont une aide externe pour soutenir le comptage et peuvent donc servir pour alléger la mémoire de travail (Dupont-Boime et 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 et Thevenot, 2018). L'enfant peut aussi utiliser le **comptage verbal** pour répondre à l'opération, la **décomposition** (l'enfant décompose un des deux opérands pour résoudre l'opération) ainsi que la **récupération en mémoire des faits arithmétiques** (Carpenter et Moser, 1984 ; Fayol, 2018) ou l'application de **procédures mentales extrêmement rapides** de types déplacements vers la droite sur la ligne numérique mentale (Thevenot, 2018) . Il est tout à fait possible de ne pas observer de stratégies externes, l'enfant peut en effet ne pas utiliser de stratégies, utiliser une stratégie de récupération en mémoire ou alors effectuer les différentes stratégies présentées précédemment mentalement.

Lorsque l'enfant utilise une stratégie digitale et/ou une stratégie verbale, il est possible de préciser la procédure qu'il met en place (Baroody et Ginsburg, 1986). La procédure « tout » ou « all » (compter l'ensemble des deux opérands ; compter 1, 2, 3, 4, 5, 6 pour résoudre l'opération $2 + 4$) est utilisée au début par les enfants. La procédure « premier » ou « max » (compter à partir du premier opérande, compter 2, 3, 4, 5, 6 pour résoudre l'opération $2 + 4$). La procédure « min » (compter à partir du plus grand opérande, compter 4, 5, 6 pour résoudre l'opération $2 + 4$). Cette procédure est plus tardive car l'enfant doit comprendre la commutativité.

Enfin, les enfants scolarisés en CP-CE1 ont acquis la commutativité de l'addition ainsi que l'associativité. Cependant, le principe de résolution d'équation de type « $5 + 3 + 1 = 6 + 2 + \dots$ » apparaît plus tardivement (Fayol, 2008).

2.2 Stratégie de résolution des soustractions

Les enfants sont capables 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. Les enfants utiliseraient même uniquement des procédures de calcul selon 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. Carpenter et Moser (1984) décrivent

une troisième stratégie, la stratégie d'appariement, où l'enfant fait correspondre terme à terme 7 et 4 par exemple, et dénombre ce qui lui reste de non apparié.

3. Habiletés prédites par les compétences arithmétiques

Les compétences arithmétiques des enfants prédisent de nombreuses compétences. La fluence, la précision de calcul simple ainsi que la maîtrise des faits arithmétiques prédisent les capacités de calculs complexes (Carr et al., 2008 ; Carr et Alexeev, 2011 ; Vasilyeva et al., 2015). De plus, les capacités à résoudre des additions et des soustractions en maternelle prédisent les résultats ultérieurs en mathématiques (Lecointre et al., 2005 ; Vasilyeva et al., 2015). L'utilisation de la stratégie de décomposition des nombres pour résoudre un calcul ainsi que la rapidité à résoudre les opérations sont de très bons prédicteurs de la capacité à résoudre des calculs complexes par la suite (Vasilyeva et al., 2015). De plus, la rapidité des enfants à résoudre des opérations simples a un impact sur le développement ultérieur des compétences arithmétiques (Carr et al., 2008 ; Carr et Alexeev, 2010).

4. Difficultés possibles

Le développement des compétences arithmétiques est relié à d'autres compétences cognitives que sont le langage, la mémoire de travail, la mémoire à long terme ainsi que les gnosies digitales. Par conséquent, des difficultés langagières ont un impact sur l'apprentissage de la comptine verbale indispensable au développement de l'arithmétique. Les difficultés concernant la mémoire de travail influencent la mise en place efficace des stratégies de résolution des opérations simples ainsi que l'apprentissage de la comptine verbale (Gavens et Camos, 2006). Des difficultés en mémoire à long terme ne permettent pas à l'enfant de stocker ou récupérer les faits arithmétiques ainsi que les différentes stratégies pour résoudre les opérations. Ainsi, des difficultés concernant le calcul sont mises en évidence chez les enfants ayant un trouble spécifique des apprentissages en mathématiques au niveau des stratégies, des procédures mais aussi de la récupération des faits arithmétiques en mémoire à long terme (Barrouillet et al., 2007).

Des difficultés d'ordre perceptivo-tactiles et de perception ont aussi un impact sur le développement de l'arithmétique. En effet, les capacités perceptivo-tactiles sont associés à la connaissance du système de numération et aux compétences de calcul. Les enfants avec de

meilleures capacités perceptivo-tactiles réussissent mieux à utiliser leurs doigts pour les différentes procédures de dénombrement ce qui, en retour, permet de faciliter l'acquisition des différents principes (Dupont, 2019 ; Barrocas et al., 2020).

CHAPITRE 3. INTRICATIONS ENTRE LE DÉNOMBREMENT ET L'ARITHMÉTIQUE

1. *Liens entre le dénombrement et l'arithmétique*

Le développement des habiletés de dénombrement et de calcul sont étroitement liées. Tout d'abord, les capacités en dénombrement sont essentielles pour le développement du calcul. En effet, la capacité de l'enfant à dénombrer des items est un indice du développement précoce de ses compétences arithmétiques (Gray et Reeve, 2014). L'acquisition du dénombrement avec un apprentissage explicite est prédictive de l'apprentissage des compétences arithmétiques (Gray et Reeve, 2014). Également, la détermination du résultat d'un calcul peut s'effectuer par une stratégie de dénombrement d'objets ou des doigts.

Inversement, les capacités de calcul permettent de raffiner les performances en dénombrement. La capacité à déterminer le nombre précis d'éléments d'un ensemble s'obtient en général par le dénombrement des objets à l'aide de comptine numérique et évolue pour les grandes collections vers la mise en œuvre de calcul du cardinal à l'aide de techniques combinatoires.

2. *Pourquoi évaluer le dénombrement et l'arithmétique ?*

Évaluer le dénombrement et le calcul est essentiel à l'évaluation mathématique car il s'agit de deux compétences essentielles dans le développement mathématique. De plus, les difficultés de calcul constituent une plainte fréquente et importante chez les patients consultant pour des difficultés concernant les mathématiques. Les enfants avec un trouble spécifique des apprentissages en mathématiques présentent très souvent des difficultés au niveau du dénombrement et du calcul, tant sur le plan des stratégies et des procédures de résolution que sur l'automatisation des procédures de comptage et la récupération en mémoire à long terme des faits arithmétiques. Ainsi, évaluer ces deux compétences permet de participer à l'objectivation d'un trouble de la cognition mathématique.

Il s'agit d'évaluer les performances, mais aussi les stratégies mises en place. Premièrement, évaluer le dénombrement permet de mettre en avant de manière précoce les difficultés énoncées ci-dessus des enfants et ainsi de pouvoir mettre en place une intervention orthophonique adaptée (Jordan et al., 2007). Évaluer les performances mais aussi l'intégrité des principes de dénombrement est important pour comprendre le fonctionnement de dénombrement de l'enfant. Deuxièmement, évaluer les compétences arithmétiques chez les enfants en s'attachant à observer les stratégies utilisées et leur efficacité permet d'appréhender l'éventail et l'efficacité stratégiques des enfants. Cela permet par la suite de cibler, lors de la prise en soins orthophoniques, l'apprentissage de manière explicite des stratégies les moins coûteuses cognitivement. Il apparaît, par conséquent, nécessaire d'évaluer le plus tôt possible les compétences arithmétiques de l'enfant afin de pouvoir modifier, en proposant une remédiation adaptée, sa trajectoire d'apprentissage (Gray et Reeve, 2014).

CHAPITRE 4. DÉFINITION DU TROUBLE SPÉCIFIQUE DES APPRENTISSAGES MATHÉMATIQUES

Le trouble spécifique des apprentissages mathématiques (TSAM, autrement appelé dyscalculie) se manifeste par un ensemble de difficultés que rencontre l'enfant à traiter des données numériques, à stocker des faits numériques, à réaliser des calculs et à raisonner (Barrouillet et al., 2007). Dans la nomenclature générale des actes professionnels orthophoniques, le terme de dyscalculie fait partie des troubles de la cognition mathématique (UNCAM, 2015). Toutefois, le DSM-5 (American Psychiatric Association, 2015 ; version originale : American Psychiatric Association, 2013) propose d'utiliser le terme de trouble spécifique des apprentissages en mathématiques (TSAM).

Le DSM-5 décrit quatre critères. Le premier est la notion de durabilité du trouble, le trouble doit être encore présent malgré la mise en place pendant au moins six mois d'une aide adaptée à l'école ou à la maison. Le second critère est le fait que les difficultés de l'enfant aient un impact sur ses performances scolaires ; en effet, le niveau scolaire de l'enfant doit être inférieur au niveau attendu. Les difficultés de l'enfant doivent aussi avoir un impact sur les activités quotidiennes. Le troisième critère est le fait que les difficultés d'apprentissage soient apparues au début de la scolarité. Le dernier critère est que les difficultés ne peuvent

être mieux expliquées par un handicap intellectuel, sensoriel, neurologique ou mental, par une adversité psychosociale, une pédagogie inadéquate ou un déficit de scolarisation ou encore un manque de maîtrise de la langue utilisée pour l'enseignement.

On estime la prévalence des TSAM entre 6 et 7 % (Barrouillet et al., 2007). En outre, entre 20 à 60 % des personnes avec un TSAM auraient un autre trouble associé (Kaufmann et Von Aster, 2012). Les troubles associés peuvent être un trouble du langage écrit, un trouble de l'attention avec ou sans hyperactivité, ainsi que des troubles dus à l'anxiété mathématique (Barrouillet et al., 2007).

Plusieurs hypothèses quant à l'origine d'un TSAM existent. La première hypothèse est celle d'un déficit cognitif numérique. Ce déficit cognitif numérique peut être dû à un déficit du sens du nombre (Wilson et Dehaene, 2007) ou d'accès à celui-ci (Lafay et al., 2018a). La seconde hypothèse est celle d'un déficit cognitif général (Bull et Scerif, 2001).

Pour conclure, un enfant présentant un TSAM peut être en difficulté pour le dénombrement mais aussi pour l'arithmétique. Des difficultés pour l'apprentissage des principes du dénombrement sont relevées (Barrouillet et al., 2007). Les enfants avec un TSAM ont besoin de plus d'exposition aux différents stimuli pour répondre correctement (Fayol, 2018). Concernant l'arithmétique, les aspects procéduraux (stratégies à appliquer) et conceptuels du calcul (connaissances des règles du calculs) 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.

CHAPITRE 5. LES PROPRIÉTÉS PSYCHOMÉTRIQUES D'UNE BATTERIE

Une batterie d'évaluation doit pouvoir répondre à différents critères psychométriques afin d'être considérée comme un outil performant et valide (Lafay et Cattini, 2018). En effet, les tests doivent être rigoureusement construits et évalués afin de permettre aux orthophonistes de poser un diagnostic le plus précis possible.

1. Validité

La mesure de la validité sert à vérifier que le test mesure bien les compétences que l'on souhaite tester.

Différents types de validité peuvent être investigués :

- La validité de contenu, ou validité théorique, concerne les modèles théoriques sur lesquels reposent la construction des épreuves.
- La validité de construit évalue dans quelle mesure les items permettent de mesurer l'aptitude qu'on souhaite tester et vérifie que les différents items permettent une bonne mesure en lien avec le modèle théorique de référence. Elle comprend en particulier les relations avec les caractéristiques de l'individu (par exemple âge, niveau scolaire, genre, pathologie), la cohérence interne et la précision qui recouvre la sensibilité et la spécificité du test. La sensibilité correspond à la capacité du test de classer un enfant en difficulté dans le domaine concerné comme effectivement en difficulté (vrai positif) à ce test (c'est-à-dire avec des scores significativement bas, par rapport à la distribution des résultats du test), alors que la spécificité est le fait que le test permette d'identifier un sujet sain comme ne présentant pas de difficulté au test (vrai négatif). L'analyse de la spécificité et de la sensibilité n'est possible que lorsque le test est normé.
- La validité de critère ou validité empirique permet de vérifier si le test évalue correctement les performances en référence à des critères externes. La validité de critère regroupe la validité concomitante ou convergente (les résultats aux tests sont corrélés avec des résultats obtenus au même moment à un autre test évaluant un même domaine de compétences) et la validité prédictive (capacité à prédire les résultats des sujets dans des tâches semblables à celles du test utilisé) (Marin-Curtoud et al., 2010).
- Enfin, la validité de surface est évaluée en fonction du jugement de personnes expertes mais non auteurs qui jugent si les différents items semblent évaluer ce que l'on veut ou non et s'ils sont adaptés à la population cible. La validité de surface permet donc de créer des tests qui sont plus clairs pour les utilisateurs (Grégoire et Laveault, 2014).

2. *Fidélité*

La fidélité (appelée aussi fiabilité) permet d'étudier l'erreur de mesure. Elle comprend la fidélité inter-juges : si deux juges font passer le même test, alors les résultats doivent être les mêmes. Elle permet aussi de vérifier l'aspect reproductible des scores (fidélité temporelle), c'est-à-dire que si un sujet passe le test une première fois puis une seconde fois un peu plus tard, sans apprentissage spécifique intermédiaire, ses scores doivent être similaires.

3. *Standardisation*

La standardisation permet de réduire les différents biais de passation et de cotation (Lafay et Cattini, 2018). En effet, en standardisant les consignes de passation, la présentation du matériel ainsi que la notation, il est possible de s'assurer que les scores de l'enfant sont uniquement dus à sa performance et non pas à des biais d'examineur.

PROBLÉMATIQUE

La batterie informatisée Examath 5-8 (Helloin et Lafay, en cours de développement), concerne les habiletés mathématiques globales ainsi que les habiletés numériques de base chez les enfants de 5 à 8 ans de la dernière année d'école maternelle à la fin du CE1 dans le système scolaire français. Les outils francophones récents et normés dans le domaine de l'évaluation de la cognition mathématique sont peu nombreux et ne sont pas tous normalisés pour cette tranche d'âge. Lafay et al. (2014) ont recensé et critiqué l'ensemble des outils disponibles, auxquels se sont ajoutés depuis la batterie Tedi-Math Grands (Noël et Grégoire, 2015) et la batterie Examath 8-15 (Lafay et Helloin, 2016). Chez un enfant qui rencontre des difficultés dans les apprentissages mathématiques, en fin de grande section de maternelle ou au début du cycle primaire, l'évaluation des habiletés de dénombrement, de la compréhension du concept de cardinalité et des premières stratégies de calcul est indispensable pour définir les difficultés du patient. Un outil regroupant l'évaluation de ces différentes compétences et permettant à la fois une comparaison à une norme et une analyse qualitative des stratégies mises en place par le patient est utile pour l'exercice de l'orthophonie afin de faciliter l'évaluation, l'analyse diagnostique et la construction du projet thérapeutique ultérieur si nécessaire.

OBJECTIFS ET HYPOTHÈSES

Le premier objectif de ce mémoire est la pré-validation des épreuves comprises dans les modules Dénombrement et Arithmétique et d'une épreuve comprise dans le module Raisonnement numérique de la batterie Examath 5-8 en les soumettant à deux groupes d'enfants (un groupe d'enfants tout-venants (CTRL) et un groupe d'enfants avec des difficultés en mathématiques (AR-TSAM) objectivées par deux tests externes) afin de vérifier que les épreuves présentent de bonnes propriétés psychométriques.

Nous formulons différentes hypothèses qui sont que les épreuves relatives au calcul présentent une bonne validité convergente avec le Tempo Test Rekenen (TTR) (De Vos, 1992), test de référence que nous avons utilisé, que les items de toutes les épreuves présentent une bonne cohérence interne au sein des épreuves, que la batterie présente une bonne cohérence interne au sein des modules les regroupant, que les épreuves permettent de montrer des différences de performance en lien avec les caractéristiques des individus (en fonction du niveau scolaire de l'enfant et en fonction de l'appartenance ou non au groupe AR-TSAM), contribuant en cela à une bonne validité de construit.

Les réponses des enfants ne donnant pas lieu pour le score de la plupart des épreuves concernées à une cotation subjective ou interprétative par l'examineur (réponses binaires ou cotation automatique), la fidélité inter-juges n'est traitée que pour les épreuves avec analyse qualitative standardisée.

Notre second objectif est d'évaluer la faisabilité d'une analyse qualitative standardisée à l'aide de grilles d'analyse des stratégies et procédures, c'est-à-dire de vérifier que la fidélité inter-juges sur les critères quantitatifs et qualitatifs est satisfaisante, que l'utilisation en est suffisamment facile et fiable en temps réel au cours de la passation et que ces grilles permettent de mettre en évidence des profils cognitifs différents.

Nous faisons donc l'hypothèse que l'accord inter-juges est satisfaisant pour les épreuves comportant une analyse qualitative standardisée et que la grille d'analyse des stratégies pour l'épreuve Dénombrement Production et pour l'épreuve Fluence Arithmétique et Stratégies permet d'analyser de façon fiable et fine les stratégies de l'enfant. Une dernière hypothèse est formulée pour ce second objectif : l'analyse instantanée des stratégies utilisées par l'enfant dans l'épreuve Dénombrement Production et dans l'épreuve Fluence Arithmétique et Stratégies est réalisable de façon fiable à l'aide de la grille.

Le tableau 1 résume l'ensemble des objectifs, hypothèses théoriques et opérationnelles. Les différentes méthodes d'analyses seront détaillées par la suite (voir paragraphe 6.1 partie Méthode).

Tableau 1. Résumé de l'ensemble des hypothèses et sous-hypothèses

| | Sous-hypothèses théoriques | Hypothèses opérationnelles |
|------------|---|--|
| H1 | Les épreuves comprises dans les modules Dénombrement, Arithmétique ainsi que l'épreuve Opérations Analogiques présentent de bonnes propriétés psychométriques. | |
| H1a | Les épreuves contenues dans le module Arithmétique et l'épreuve d'Opérations Analogiques présentent une validité convergente correcte avec un test de fluence arithmétique (TTR). | Les résultats aux épreuves issues du module Arithmétique et l'épreuve d'Opérations Analogiques seront corrélés aux résultats au TTR. |
| H1b | Les épreuves présentent une bonne cohérence interne. | Les items de chaque épreuve sont corrélés entre eux. |
| H1c | Les modules présentent une bonne cohérence interne. | Les épreuves au sein d'un même module sont corrélées entre elles. |
| H1d | Les épreuves présentent une bonne validité de construit en lien avec la caractéristique Niveau scolaire en permettant de montrer des différences de performance. | Les enfants ont des résultats significativement différents en fonction de leur niveau scolaire. |
| H1e | Les épreuves présentent une bonne validité de construit en lien avec la caractéristique Profil à risque en permettant de montrer des différences de performance. | Les enfants identifiés AR-TSAM ont des résultats significativement inférieurs à leurs pairs contrôles. |
| H2 | Les grilles d'analyses qualitatives standardisées permettent d'affiner objectivement le diagnostic. | |
| H2a | L'accord inter-juges est satisfaisant pour les épreuves comportant une analyse qualitative standardisée. | Les cotations effectuées lors de l'analyse vidéo par les deux juges sont significativement corrélées pour les épreuves de Dénombrement Production et Fluence Arithmétique et Stratégies. |

| | | |
|------------|--|---|
| | | Les cotations effectuées lors de la cotation instantanée en direct et lors de l'analyse vidéo par la même juge sont significativement corrélées pour les épreuves de Dénombrement Production et Fluence Arithmétique et Stratégies. |
| | | Les cotations effectuées lors de la cotation instantanée en direct par la première juge et lors de l'analyse vidéo par la seconde juge sont significativement corrélées pour les épreuves de Dénombrement Production et Fluence Arithmétique et Stratégies. |
| <i>H2b</i> | La grille d'analyse des stratégies pour l'épreuve Dénombrement Production permet d'analyser de façon fiable les stratégies de l'enfant. | Les patterns des stratégies identifiées par les deux juges lors de l'analyse vidéo pour l'épreuve de Dénombrement Production sont similaires. |
| <i>H2c</i> | L'analyse instantanée des stratégies utilisées par l'enfant dans l'épreuve Dénombrement Production est réalisable de façon fiable à l'aide de la grille. | Les patterns de stratégies identifiées par le même juge sont similaires entre la cotation effectuée en instantané au cours de la passation avec l'enfant et la cotation différée sur vidéo pour l'épreuve de Dénombrement Production. |
| <i>H2d</i> | La grille d'analyse des stratégies pour l'épreuve Fluence Arithmétique et Stratégies permet d'analyser de façon fiable les stratégies de l'enfant. | Les patterns des stratégies identifiées par les deux juges lors de l'analyse vidéo pour l'épreuve de Fluence Arithmétique et Stratégies sont similaires. |
| <i>H2e</i> | L'analyse instantanée des stratégies utilisées par l'enfant dans l'épreuve de Fluence Arithmétique et Stratégies est réalisable de façon fiable à l'aide de la grille. | Les patterns des stratégies identifiées par le même juge sont similaires entre la cotation effectuée en instantané au cours de la passation avec l'enfant et la cotation différée sur vidéo pour l'épreuve de Fluence Arithmétique et Stratégies. |

PARTIE MÉTHODE

1. *Population*

1.1 Tout-venants

La population contrôle (CTRL) est constituée d'enfants scolarisés en début d'année de CP, CE1 ou CE2. Ceux-ci sont recrutés via des appels à participation. Les enfants sélectionnés doivent avoir le français comme langue maternelle, ne doivent pas avoir eu de suivi orthophonique concernant des troubles du langage oral ou de la cognition mathématique. Leur score au Numeracy Screener version française à la partie symbolique et non symbolique et au Test Token Rekenen, deux tests standardisés pour l'évaluation mathématique qui sont décrits plus bas, doit être supérieur au percentile 25. Les enfants ne doivent pas avoir d'handicap intellectuel, de trouble sensoriel ou un trouble psychosocial.

1.2 À Risque de Trouble Spécifique des Apprentissages Mathématiques

La population à risque de trouble spécifique des apprentissages en mathématiques (AR-TSAM) est constituée d'enfants scolarisés en début d'année de CP, CE1 ou CE2. Ceux-ci sont recrutés via des appels à participation auprès d'orthophonistes. Les enfants sélectionnés doivent avoir le français comme langue maternelle, peuvent avoir un suivi orthophonique en cours pour trouble de la cognition mathématique (AMO 10.2) ou trouble du langage oral (AMO 12.1) ou être sur liste d'attente pour un bilan orthophonique avec une plainte portant sur le langage ou sur les mathématiques. Leur score au Numeracy Screener version française à la partie symbolique et non symbolique et/ou au Test Token Rekenen doit être inférieur au percentile 25. Les enfants ne doivent pas avoir d'handicap intellectuel, de trouble sensoriel ou un trouble psychosocial.

1.3 Récapitulatif de la population de l'étude

Les deux cohortes sont décrites dans le tableau. Les passations dans le cadre du mémoire ont été réalisées en début d'année scolaire. Il faut donc considérer qu'un enfant scolarisé en CP a un niveau de fin de grande section de maternelle, qu'un enfant scolarisé en CE1 a un niveau de fin de CP et qu'un enfant scolarisé en CE2 a un niveau scolaire de fin CE1. La batterie définitive sera par la suite étalonnée de mi-mars à mi-juin pour des enfants

scolarisés en GSM, CP et CE1. C'est pourquoi nous avons fait le choix pour la présente étude de ne pas intégrer les enfants en début de GSM dans les différentes analyses statistiques.

Tableau 2. Récapitulatif des enfants composants la cohorte

| Groupes | Nombre | Age minimum | Age maximum | Age moyen |
|---------|--------|---------------|---------------|--------------|
| AR-TSAM | 13 | 6 ans 1 mois | 7 ans 11 mois | 7 ans 5 mois |
| CTRL | 19 | 5 ans 10 mois | 8 ans 8 mois | 7 ans 1 mois |

Pour l'hypothèse 2, les enfants en GSM ont été inclus afin de pouvoir identifier des repères cliniques. Le tableau 3 regroupe les caractéristiques des enfants composant la cohorte avec les GSM.

Tableau 3. Récapitulatif des enfants composants la cohorte pour l'hypothèse 2

| Groupes | Nombre | Age minimum | Age maximum | Age moyen |
|---------|--------|--------------|---------------|--------------|
| AR-TSAM | 13 | 6 ans 1 mois | 7 ans 11 mois | 7 ans 5 mois |
| CTRL | 25 | 5 ans | 8 ans 8 mois | 6 ans 9 mois |

1.4 Constitution des groupes

Le tableau 4 permet de regrouper les résultats des enfants au TTR et au Numeracy Screener version française (NS-f). Ces deux épreuves de référence externe ont permis de constituer les cohortes. Le tableau indique le nombre d'enfants de chaque niveau scolaire ayant obtenu un score inférieur au percentile 25 à une épreuve ou aux deux épreuves (Lafay et al., 2020). Le groupe AR-TSAM est donc composé de 13 enfants.

Tableau 4. Récapitulatif des scores aux épreuves de référence externe

| | Résultats au NS-f inférieur au Percentile 25 | Résultats au TTR inférieur au percentile 25 | Nombre d'enfants faisant partie du groupe TSAM |
|-----|---|--|---|
| CP | 1 | Non proposé | 1 |
| CE1 | 4 | 6 | 7 |
| CE2 | 5 | 4 | 5 |

Note : Tous les enfants de CE1 présentent des scores entre le P25 et le P50 au second test.

1.5 Catégorie socio-professionnelle des parents

Une comparaison a été réalisée entre l'ensemble de la cohorte parentale (sans distinction de sexe) et la population française selon l'âge des parents et leurs catégories socio-professionnelles (INSEE, 2017), en sélectionnant les données de la tranche d'âge 25-54 ans, cohérente avec une cohorte parentale d'enfants de 4 à 9 ans. Les catégories socio-professionnelles (CSP) des parents des enfants (père et mère « ensemble ») composant la cohorte sont regroupées dans le tableau 5. La répartition des CSP dans la cohorte n'est pas parfaitement similaire à celle de la population française. En effet, nous pouvons noter une surreprésentation des catégories 3 et 4 tandis que les catégories 5 et 6 sont sous-représentées.

Tableau 5. Catégorie socio-professionnelle des parents

| Catégories | Répartition en pourcentage dans la cohorte parentale en % | Répartition INSEE France POP T6 « ensemble » en % |
|---|---|---|
| (1) Agriculteurs exploitants | 0 | 1.1 |
| (2) Artisans, commerçants et chefs d'entreprise | 1.9 | 5.6 |
| (3) Cadres et professions intellectuelles supérieures | 38.4 | 15.7 |
| (4) Professions Intermédiaires | 30.7 | 23.5 |
| (5) Employés | 7.6 | 24.9 |
| (6) Ouvriers qualifiés et non qualifiés | 9.6 | 18.8 |
| (7) Retraités | 0 | 0.3 |
| (8) Autres sans activité professionnelle | 11.5 | 10.1 |

2. Matériel

2.1 Évaluation mathématique générale

Afin de vérifier que les enfants du groupe CTRL répondent bien à tous les critères que nous avons définis, nous avons choisi de leur administrer le TTR (De Vos, 1992) permettant d'évaluer la fluence arithmétique chez l'enfant scolarisé entre le CP et le CM2 pour les quatre opérations (une minute par opération). Dans la présente étude, seules l'addition et la soustraction ont été utilisées. Nous avons aussi fait passer le Numeracy Screener version française (NS-f) (Lafay et al., 2018b ; version originale de Nosworthy et al., 2013) afin d'évaluer, en deux minutes, le traitement du code analogique et du code arabe des nombres.

Ce test permet donc d'évaluer si les enfants ont un déficit du sens du nombre ou un déficit d'accès à celui-ci via le code arabe.

Pour le NS-f, si un sujet parvient à terminer la partie code analogique et/ou la partie code arabe avant la fin (avant une ou deux minutes en fonction de l'âge), son temps est relevé. À noter qu'un seul enfant a fini avant le temps imparti : puisque son temps était de 59 secondes, nous n'avons pas jugé nécessaire de calculer un ratio score-temps et avons laissé son score tel qu'obtenu.

Les résultats au TTR servent aussi pour l'analyse de la validité convergente, afin de comparer les compétences arithmétiques évaluées dans le TTR et dans les épreuves arithmétiques expérimentales.

2.2 Tâches expérimentales issues d'Examath 5-8

Les épreuves ont toutes été passées dans le même ordre par tous les enfants constituant la cohorte. Ces épreuves sont issues de la batterie Examath 5-8 (Helloin et Lafay, en cours de développement) qui est composée de sept modules : Sens des quantités et du nombre, Connaissance des nombres symboliques, Dénombrement, Numération, Arithmétique, Raisonnement numérique et Raisonnement non numérique, chaque module comportant plusieurs épreuves. Par la suite, nous décrivons uniquement les épreuves concernées par l'étude, à savoir les épreuves au sein du module Dénombrement, Arithmétique ainsi qu'une épreuve du module Raisonnement numérique.

2.2.1 Module 3 : Dénombrement

2.2.1.1 Dénombrement production

L'épreuve Dénombrement Production (score total = 12) teste la capacité de dénombrement de l'enfant. Cette épreuve est en deux parties. Dans la première partie (Combien ? score sur 6), l'enfant doit dire combien il voit d'objets. La consigne est : « Tu vas voir des objets ou des personnages et tu vas dire combien il y en a ». Dans la seconde partie (En mouvement, score sur 6), l'enfant voit un ensemble d'objets en mouvement, les images arrivent séquentiellement et l'enfant doit dire combien d'objets ou de personnages sont passés sur la piste du cirque. Ceux-ci apparaissent, traversent l'écran au fur et à mesure et disparaissent. Le temps d'affichage est d'une seconde s'il y a un élément, deux secondes s'il y

a deux éléments et trois secondes s'il y a trois éléments. La consigne est : « Des objets ou des personnes vont traverser la piste puis disparaître. Compte-les avant qu'ils soient partis », puis « Combien y a-t-il de... ? », la consigne étant à adapter en fonction des différents items. L'orthophoniste doit saisir la réponse donnée par l'enfant. L'épreuve s'arrête quand l'enfant produit deux échecs consécutifs.

2.2.1.2 Dénombrement compréhension

L'objectif de l'épreuve Dénombrement Compréhension est d'évaluer la compréhension qu'a l'enfant des principes régissant le dénombrement. L'enfant voit un personnage animé qui est en train de dénombrer des collections à l'écran et il doit répondre à des questions ou juger le dénombrement de ce personnage. Il y a un stimuli exemple avec des balles apparentes. Un écran neutre est présent entre deux items. Deux personnages alternent. La consigne générale est : « Regarde et écoute bien les personnages compter. Il faudra ensuite répondre à la question par VRAI ou FAUX » ; la consigne est adaptée en fonction de l'item. L'orthophoniste doit appuyer sur V ou F pour enregistrer la réponse de l'enfant. L'enfant obtient un point par bonne réponse, le score total est sur 10 points. Il n'y a pas de critères d'arrêt.

2.2.2 Module 4 : Arithmétique

2.2.2.1 Fluence Arithmétique et Stratégies

L'objectif de l'épreuve Fluence arithmétique et Stratégies 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 épreuve teste les additions (30 items au maximum) tandis que la seconde partie teste les soustractions (30 items au maximum). Il n'y a pas de stimuli exemple pour cette épreuve. L'enfant a une minute, pour chaque partie, pour réaliser le plus d'opérations possible. La consigne est la suivante « Tu vas voir des opérations. Donne le résultat le plus vite possible ». Il est possible de passer un item en cliquant sur le bouton « Je passe ». Il y a un arrêt automatique après trois erreurs consécutives. L'orthophoniste doit appuyer sur O pour une réponse juste et sur N pour une réponse erronée. L'enfant obtient un

point par opération correcte, le score total est sur 60. Une analyse qualitative est à réaliser pendant ces deux épreuves afin de faire émerger le profil des stratégies et procédures de l'enfant. Celle-ci est détaillée en partie 4 ci-après.

2.2.2.2 Compléments à 10

L'épreuve Complément à 10 a pour but d'évaluer la connaissance des compléments à 10 pour l'addition. L'enfant voit une opération écrite horizontalement. En parallèle, il entend la même opération. Il doit juger si le calcul donne un résultat de 10 ou non : pour répondre, il doit montrer un 10 barré ou non. Il n'y a pas de stimuli exemple pour cette épreuve. La consigne est la suivante : « Tu vas voir et entendre des opérations. Tu vas dire si le résultat fait 10 ou pas 10 ? Des boutons 10 et 10 barré sont affichés en surbrillance pendant la consigne. L'enfant doit alors indiquer 10 ou 10 barré pour indiquer sa réponse. L'orthophoniste clique sur ce que l'enfant indique. L'enfant obtient un point par bonne réponse. L'épreuve s'arrête s'il y a quatre échecs consécutifs sur les items cibles (items dont le résultat est 10). Le score total est sur 10.

2.2.2.3 Concepts

L'épreuve Concepts est uniquement destinée aux enfants de CE1 dans la version finale de la batterie. Elle a donc été dans le cadre de cette étude proposée aux enfants en CE2. Elle a pour objectif d'évaluer la connaissance des règles de calcul. Elle se divise en trois parties : Équation standard, Équivalence et Opposé. Pour chacune, l'enfant voit une équation arithmétique écrite horizontalement et il doit la compléter. Pour Opposés, l'enfant doit aussi fournir une justification en plus. Il n'y a pas de stimuli exemple dans cette épreuve. La consigne est la suivante : « Tu vas voir des opérations écrites. Quel nombre mets-tu à la place du trait ? ». Pour le subtest Opposé, la consigne est la suivante : « Tu vas voir des opérations écrites. Quel nombre mets-tu à la place du trait ? Explique comment tu as fait. » L'orthophoniste doit saisir la réponse dans le champ de saisie et valider. Pour le subtest Opposé, l'orthophoniste doit cocher la cache « J » s'il ou elle juge la justification correcte. L'enfant obtient un point par item réussi. Le score total est sur 12.

2.2.2.4 Opérations analogiques

L'épreuve Opérations analogiques fait partie du module Raisonnement numérique. L'objectif de cette épreuve est d'évaluer le sens intuitif des opérations d'ajout et de retrait et la compréhension des problèmes en code analogique. Cette épreuve se divise en deux parties. Dans la première, l'enfant voit des opérations se réaliser avec des artistes qui entrent ou qui sortent d'un chapiteau et la réponse est analogique. Il doit alors indiquer à l'orthophoniste les clowns à placer correspondant à la réponse de l'opération d'ajout ou de retrait. Lorsque l'orthophoniste clique sur un clown, celui-ci se place devant le chapiteau, dans l'ordre en ligne. La pioche doit être visible et l'enfant doit avoir à disposition tous les clowns déplaçables.

La consigne est en deux parties, une avant le lancement de l'animation et l'autre après l'animation. La première partie de la consigne est : « Tu vas voir des clowns qui entrent et qui sortent d'un chapiteau. Regarde et mémorise bien ce qu'il se passe. ». La deuxième partie est : « Plusieurs clowns sont cachés dans le chapiteau. On va placer le même nombre de clowns devant le chapiteau. Montre les clowns dont tu as besoin. ». La consigne peut être reformulée si nécessaire. Si l'enfant échoue les trois premiers items de la première série, alors il faut passer à la deuxième série.

Pour la deuxième partie de l'épreuve, la tâche est identique mais l'enfant doit donner la réponse oralement. Le score total est sur 24.

3. *Procédure générale*

3.1 Lieu

Compte tenu du contexte politico-sanitaire, les passations se sont déroulées chez les enfants ou au sein de cabinets orthophoniques. Elles ont eu lieu entre le 25 septembre et le 3 novembre 2020. Les normes sanitaires en vigueur imposées par le gouvernement au moment des tests ont été respectées, une décharge sanitaire a été systématiquement signée par les responsables légaux des enfants (Annexe 1).

3.2 Déroulement

Les passations se sont déroulées en une fois en effectuant les pauses nécessaires. Le TTR et le NS-f, étant deux épreuves non informatisées, ont été administrés sur papier avec un chronomètre. Les épreuves expérimentales (Examath 5-8) ont toutes été réalisées sur le

logiciel Examath 5-8 à l'exception des épreuves Opérations analogiques et Dénombrement Compréhension qui ont été réalisées à l'aide du prototype monté sous PowerPoint car le programme était encore en cours de développement informatique. Les résultats à toutes les épreuves ont été relevés sur un cahier de passation, soit par report des résultats affichés en fin d'épreuve pour la partie déjà informatisée ou après comptage manuel pour les épreuves sous PowerPoint.

4. Mise en place d'une captation vidéo

Une captation vidéo des passations a été mise en place à l'aide d'un appareil photo et d'un pied. Une autorisation pour la captation vidéo des passations a été signée obligatoirement en deux exemplaires (Annexe 2). L'objectif était de pouvoir observer en différé et hors de la situation d'interaction avec les enfants, leurs stratégies pendant les épreuves de Dénombrement en production et Fluence Arithmétique et Stratégies, pour remplir une seconde fois les grilles d'observations des stratégies (décrites ci-dessous en partie 4) en modalité asynchrone. Les vidéos ont aussi permis de faire remplir les grilles à une seconde juge. La seconde juge est une étudiante en 4ème année d'orthophonie au CFUO de Rouen, dont le projet de mémoire de fin d'étude porte sur le dénombrement.

5. Co-conception de la grille permettant d'analyser les stratégies de l'enfant

5.1 Grille de l'épreuve Dénombrement en production

Une grille d'analyse des productions de l'enfant a été affinée et mise en forme au cours de cette étude à partir des critères proposés par les autrices du programme. 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 faire émerger des profils de dénombrement dans le but de comprendre le fonctionnement de l'enfant. La grille permet d'analyser les stratégies mises en place par l'enfant et l'intégrité des principes de dénombrement pour fournir une réponse aux différents items.

La grille liée à la sous-épreuve Dénombrement en production Combien regroupe les cinq principes de dénombrement de Gelman et Galistel (1978) qui sont, pour rappel, la correspondance terme à terme, le principe de cardinalité, l'abstraction, la non-pertinence de

l'ordre, la suite stable. L'orthophoniste doit noter pendant la passation de l'épreuve la présence des différents principes de dénombrement et les procédures : pointage visuel/digital, comptine numérique mentale/orale/chuchotée, abstraction, principe de cardinalité, organisation de l'ordre de pointage, sur la grille disponible dans le cahier de passation de la batterie et reporter ces éléments dans le tableau récapitulatif affiché en fin d'épreuve à l'écran (Voir Annexe 3).

La grille liée à l'épreuve Dénombrement en production Mouvement regroupe quant à elle, des items permettant de noter quel type de pointage l'enfant utilise (visuel, avec l'aide de la tête, digital), la comptine numérique orale/chuchotée/mentale, si l'enfant utilise ses doigts pour retenir le nombre d'éléments. Les stratégies sont notées selon le même procédé au cours de la passation par l'examineur (Voir Annexe 4).

5.2 Grille de l'épreuve Fluence arithmétique et Stratégies

Une grille d'analyse qualitative des productions 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. 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 une décomposition des nombres, une utilisation des doigts pour calculer, une utilisation du comptage verbal, un dénombrement ou alors il n'est pas possible de définir la stratégie. Si, pour l'addition, le comptage est digital ou fait à l'aide du comptage verbal, il est possible de définir 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 la procédure ascendante : utilisation d'un comptage ascendant (counting up), ou une procédure descendante : utilisation d'un comptage descendant (counting down) (Annexe 5Annexe 6).

5.3 Guide d'aide à la cotation

Un guide d'aide à la cotation ainsi que des vidéos exemples ont ensuite été réalisées afin de permettre aux futurs utilisateurs de la batterie de coter le plus précisément possible les stratégies de l'enfant, de limiter la subjectivité lors de la cotation et d'améliorer ainsi la standardisation de ces deux épreuves. La seconde juge a eu accès au prototype du guide

d'aide à la cotation ainsi qu'aux vidéos de démonstration en amont de sa cotation sur vidéo (Annexe 7).

6. *Hypothèses opérationnelles et méthode d'analyse*

6.1 Hypothèses opérationnelles

Les hypothèses opérationnelles pour chaque hypothèse théorique sont décrites dans le tableau 1.

6.2 Méthode d'analyse

6.2.1 *Méthode d'analyse pour l'objectif 1*

Plusieurs analyses ont été menées dans le cadre du premier objectif consistant à vérifier les propriétés psychométriques des épreuves contenues dans la batterie Examath 5-8.

Afin de répondre à l'hypothèse H1a (validité convergente), une analyse de corrélation de Pearson a été menée pour les scores du domaine arithmétique, c'est-à-dire entre les scores des enfants obtenus au TTR et les scores des enfants obtenus aux différentes épreuves dans le module Arithmétique et à l'épreuve d'Opérations Analogiques.

Concernant l'hypothèse H1b (cohérence interne des épreuves), une analyse à l'aide d'alpha de Cronbach a été faite ; pour l'hypothèse H1c (cohérence interne des modules), une analyse de corrélation de Pearson a été réalisée. Pour tester les hypothèses H1d et H1e (validité de construit en lien avec les caractéristiques de l'individu, pouvoir discriminant), des analyses de Kruskal-Wallis ont été menées avec comme variable indépendante le score total aux différentes épreuves et respectivement comme variable dépendante le niveau scolaire des enfants et la présence ou non d'un profil AR-TSAM.

6.2.2 *Méthode d'analyse pour l'objectif 2*

Afin de répondre à l'hypothèse H2a (fidélité inter-juges), une analyse à l'aide de corrélation de Pearson a été menée entre les scores de la cotation instantanée en direct des performances des enfants et les scores de la cotation sur vidéo par la première juge et entre les scores des deux cotations sur vidéos par les deux juges. Concernant les hypothèses H2b, H2c, H2d et H2e (fiabilité de l'analyse des stratégies à l'aide des grilles), un calcul de pourcentage d'utilisation par les enfants des différentes stratégies et procédures, relevées

lors de chaque cotation pour les épreuves de Dénombrement Production (H2b, H2c) et de Fluence Arithmétique et Stratégies (H2d, H2e) a été effectué avant de faire une analyse qualitative des différents patterns obtenus grâce au codage de la première et de la seconde juge.

PARTIE RÉSULTATS

L'ensemble des résultats a été obtenu grâce au logiciel SPSS version n°26.

RESULTATS AUX TACHES D'EXAMATH 5-8

1. Validité convergente des épreuves issues du module Arithmétique ainsi que l'épreuve Opérations Analogiques avec le TTR

Des analyses de corrélation (Pearson) ont été réalisées entre les résultats aux épreuves contenues dans le module Arithmétique ainsi que l'épreuve Opérations Analogiques et les résultats des enfants à l'épreuve de référence externe (TTR) pour évaluer la validité convergente des épreuves d'Examath 5-8 contenues dans le module Arithmétique ainsi que l'épreuve Opérations Analogiques. Les résultats sont présentés dans le tableau 6. Concernant la sous-épreuve Opposé, les scores des enfants ne traduisent pas assez de variabilité pour pouvoir réaliser des analyses de corrélation. Toutes les épreuves sont corrélées avec le TTR sauf la sous-épreuve Réponse Analogique.

Tableau 6. Corrélations entre le module Arithmétique, l'épreuve Opérations Analogiques et le TTR

| | TTR |
|---|----------------|
| Fluence Arithmétique et Stratégies | $r = .91^{**}$ |
| Fluence Arithmétique addition | $r = .83^{**}$ |
| Fluence Arithmétique soustraction | $r = .87^{**}$ |
| Compléments à 10 | $r = .58^{**}$ |
| Concepts score total | $r = .56^{**}$ |
| Équation | $r = .46^{*}$ |
| Equivalence | $r = .56^{**}$ |
| Opérations Analogiques score total | $r = .56^{**}$ |
| Opérations Analogiques réponse analogique | $r = .38$ |
| Opérations Analogiques réponse orale | $r = .66^{**}$ |

* : significatif à $p < .05$, ** : significatif à $p < .01$

2. Cohérence interne des épreuves d'Examath 5-8

Pour chaque épreuve, un coefficient de Cronbach a été calculé pour le groupe CTRL afin d'analyser la cohérence interne des épreuves, soit la corrélation des items entre eux d'une part et entre chaque item et le score total d'autre part (voir tableau 7). Les résultats montrent que les épreuves contenues dans le module Dénombrement n'ont pas une bonne cohérence interne. Les épreuves du module Arithmétique ont une bonne cohérence interne à l'exception de l'épreuve Compléments à 10. L'épreuve Opérations Analogiques n'a pas une bonne cohérence interne. Nous discuterons de ces résultats dans la partie Interprétation des résultats.

Tableau 7. Résultats de l'analyse de la cohérence interne pour chaque épreuve d'Examath 5-8

| Module | Épreuve | Alpha de Cronbach |
|--------------|-------------------------------|-------------------|
| Dénombrement | Dénombrement production total | .49 |
| | Dénombrement compréhension | .40 |
| Arithmétique | Fluence addition | .95* |
| | Fluence soustraction | .72* |
| | Compléments à 10 | .68* |
| | Concepts Total | .82* |
| Numérique | Opérations analogiques | .53 |

Notes. * pour un alpha acceptable.

3. Cohérence interne des modules

Des analyses de corrélations de Pearson ont été réalisées sur les performances des enfants faisant partie du groupe CTRL pour évaluer la cohérence interne des modules. Les résultats sont présentés uniquement pour les épreuves ayant au moins une corrélation significative avec une autre épreuve du module. Toutes les corrélations sont positives. Concernant le module Dénombrement, l'épreuve de Dénombrement Production - Combien ? est corrélée avec l'épreuve de Dénombrement Production Total ($r = .99, p < .01$). L'épreuve Dénombrement Mouvement ne traduit pas assez de variabilité pour réaliser une analyse de corrélation. Toutes les épreuves comprises au sein du module Arithmétique sont significativement corrélées entre elles sauf la sous-épreuve Équation qui n'est pas

significativement corrélée avec l'épreuve Compléments à 10 (Tableau 8). Les scores des enfants ayant très peu variés pour la sous-épreuve Opposé et pour le résultat total à l'épreuve de Concepts, une analyse de corrélation n'est pas possible.

Tableau 8. Corrélations entre les subtests du module Arithmétique

| | (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (6) |
|--|-------|-------|-------|-----|-------|-----|
| Fluence arithmétique addition (1) | 1 | | | | | |
| Fluence arithmétique soustraction (2) | .80* | 1 | | | | |
| Fluence Arithmétique et Stratégies total (3) | .95** | .92** | 1 | | | |
| Compléments à 10 (4) | .83** | .75** | .83** | 1 | | |
| Équation (5) | .49* | .63** | .55** | .34 | 1 | |
| Équivalence (6) | .52** | .53** | .52** | .38 | .66** | 1 |

* : significatif à $p < .05$, ** : significatif à $p < .01$

4. Validité de construit en lien avec les caractéristiques de l'individu : comparaison interclasses

Une analyse de variance Kruskal-Wallis a été réalisée avec le score total de chaque épreuve du module Dénombrement comme variable dépendante et le niveau scolaire comme variable indépendante pour évaluer la validité de construit des épreuves d'Examath 5-8 : une analyse de comparaison interclasse a été effectuée. Les enfants faisant partie de la cohorte TSAM ont été exclus. Les résultats montrent que l'effet de classe n'est pas significatif sur les scores du module Dénombrement : les trois groupes ne diffèrent pas dans leur score aux épreuves de Dénombrement Production et Compréhension (Voir tableau 9).

Tableau 9. Résultats de la comparaison interclasses 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 |
| Dénombrement compréhension | Total | 9.14 (1.46) | 9.43 (0.79) | 9.33 (.52) | .86 |

* : significatif à $p < .05$, ** : significatif à $p < .01$

Une analyse de variance Kruskal-Wallis a été réalisée avec le score total de chaque épreuve du module Arithmétique comme variable dépendante et le niveau scolaire comme variable indépendante. Les résultats montrent que les trois groupes diffèrent dans leur score aux épreuves de Fluence Arithmétique et Stratégies et de l'épreuve de Compléments à 10. En effet, pour l'épreuve de 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 de 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 ($p = .51$). Pour l'épreuve de Compléments à 10, une différence de performance significative est à noter entre les CP et les CE1 ($p = .02$), entre les CP et les CE2 ($p = .048$), mais pas entre les CE1 et les CE2 ($p = .76$). Concernant l'épreuve de Concepts, les résultats ne peuvent pas être comparés aux autres classes puisque cette épreuve n'a été proposée qu'aux CE2 (Voir tableau 10).

Tableau 10. Résultats de la comparaison interclasses pour le module Arithmétique

| Épreuves | Scores | Classe | | | p (test Kruskal- Wallis) |
|-------------------------------|--------------|-----------------|-----------------|--------------|----------------------------------|
| | | CP | CE1 | CE2 | |
| | | Moyenne (ET) | Moyenne (ET) | Moyenne (ET) | |
| Fluence | Addition | 7.43 (3.99) | 14.43 (4.12) | 16.17 (5.08) | .02* |
| Arithmétique et Stratégies | 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** |
| Compléments à 10 | Total | 4.14 (1.21) | 5.57 (1.13) | 5.50 (.84) | .04* |
| Concepts | Équation | Non proposé | Non proposé | 4 (0) | NA |
| | Équivalence | Non proposé | Non proposé | 1.17 (1.60) | NA |
| | Opposé | Non proposé | Non proposé | 0 (0) | NA |
| | Total | Non proposé | Non proposé | 5.17 (1.60) | NA |

* : significatif à $p < .05$, ** : significatif à $p < .01$

Une analyse de variance Kruskal-Wallis a été réalisée avec le score total de l'épreuve Opérations analogiques comme variable dépendante et le niveau scolaire comme variable indépendante. Les résultats montrent que les trois groupes diffèrent. En effet, une différence significative est mise en évidence entre les performances des enfants en CP et en CE1 ($p = .01$), entre les enfants en CP et en CE2 ($p = .001$), mais pas entre les CE1 et les CE2 ($p = .43$). La sous-épreuve Réponse analogique met aussi en évidence des différences entre les niveaux scolaires : en effet, une différence significative est mise en évidence entre les performances des enfants en CP et en CE1 ($p = .03$), entre les enfants en CP et en CE2 ($p = .03$), mais pas

entre les CE1 et les CE2 ($p = .97$). La sous-épreuve Réponse orale ne permet pas de mettre en évidence ces différences, l'effet de classe est marginal (.059) (Voir tableau 11).

Tableau 11. Résultats de la comparaison interclasses pour l'épreuve Opérations Analogiques comprise dans le module Raisonnement Numérique

| Épreuves | Scores | Classe | | | p (test Kruskal- Wallis) |
|---------------------------|-----------------------|-----------------|-----------------|--------------|----------------------------------|
| | | CP | CE1 | CE2 | |
| | | Moyenne (ET) | Moyenne (ET) | Moyenne (ET) | |
| Opérations Analogiques | Réponse analogique | 9.71 (2.43) | 11.71 (.76) | 11.83 (.41) | .04* |
| | Réponse orale | 10.43 (1.51) | 11.57 (.79) | 12 (0) | .059 |
| | Total | 20.14 (1.95) | 23.29 (.95) | 23.83 (.41) | .002** |

* : significatif à $p < .05$, ** : significatif à $p < .01$

5. Validité de construit en lien avec les caractéristiques de l'individu : profil à risque

Une analyse de variance Mann-Whitney a été réalisée avec le score total de chaque épreuve du module Dénombrement comme variable dépendante et l'appartenance au groupe CTRL ou au groupe AR-TSAM comme variable indépendante pour évaluer la validité de construit des épreuves d'Examath 5-8 : une analyse de comparaison entre les deux groupes a été effectuée. Les analyses ne sont faites que sur les groupes d'enfants en CE1 et en CE2 puisque la répartition hétérogène ne permettait pas de le faire pour les CP. Les résultats montrent que l'effet de groupe est significatif uniquement pour l'épreuve de Dénombrement Compréhension : les deux groupes ne diffèrent pas dans leur score aux épreuves de Dénombrement Production mais différent pour l'épreuve de Dénombrement Compréhension (Voir tableau 12).

Tableau 12. Résultats de la comparaison entre les groupes pour le module Dénombrement

| Épreuves | Scores | Groupe | | p (test Mann Whitney) |
|----------------------------|----------------------|--------------|---------------|-----------------------|
| | | TV | TSAM | |
| | | Moyenne (ET) | Moyenne (ET) | |
| Dénombrement production | Combien | 4.69 (1.38) | 4.45 (2.02) | .95 |
| | Combien en mouvement | 6 (0) | 5.67 (.71) | .45 |
| | Total | 9.31 (3.73) | 13.36 (14.12) | .73 |
| Dénombrement compréhension | Total | 9.38 (.65) | 8.09 (1.14) | .005** |

* : significatif à $p < .05$, ** : significatif à $p < .01$

Une analyse de variance Mann Whitney a été réalisée avec le score total de chaque épreuve du module Arithmétique comme variable dépendante et l'appartenance au groupe CTRL ou au groupe AR- TSAM comme variable indépendante. Les analyses ne sont faites que sur les groupes d'enfants en CE1 et en CE2 puisque la répartition hétérogène ne permettait pas de le faire pour les CP. Les résultats montrent que les deux groupes diffèrent dans leur score aux épreuves de Fluence Arithmétique et Stratégies et de l'épreuve de Compléments à 10. Concernant l'épreuve Concepts, les différences de performances entre les deux groupes ne sont pas significatives (Voir tableau 13).

Tableau 13. Résultats de la comparaison entre les groupes pour le module Arithmétique

| Épreuves | Scores | Groupe | | p (test Mann Whitney) |
|----------------------------|--------------|--------------|--------------|-----------------------|
| | | TV | TSAM | |
| | | Moyenne (ET) | Moyenne (ET) | |
| Fluence | Addition | 15.23 (4.48) | 9 (4.60) | .01** |
| Arithmétique et Stratégies | Soustraction | 12.77 (3.19) | 4.45 (5.80) | .001** |
| | Total | 28 (6.99) | 13.45 (9.47) | .001** |
| Compléments à 10 | Total | 5.54 (.97) | 3.91 (1.81) | .01** |

| | | | | |
|----------|-------------|-------------|------------|------|
| Concepts | Équation | 1.85 (2.08) | .91 (1.30) | .28 |
| | Équivalence | .54 (1.20) | 0 (0) | .36 |
| | Opposé | 0 (0) | 0 (0) | 1.00 |
| | Total | 2.38 (2.87) | .91 (1.30) | .28 |

* : significatif à $p < .05$, ** : significatif à $p < .01$

Une analyse de variance Mann-Whitney a été réalisée avec le score total de l'épreuve Opérations analogiques comme variable dépendante et l'appartenance au groupe CTRL ou au groupe AR-TSAM comme variable indépendante. Les analyses ne sont faites que sur les groupes d'enfants en CE1 et en CE2 puisque la répartition hétérogène ne permettait pas de le faire pour les CP. Les résultats montrent que les deux groupes diffèrent pour le score total à l'épreuve mais aussi pour les deux sous-épreuves Réponse Analogique et Réponse orale (Voir tableau 14).

Tableau 14. Résultats de la comparaison entre les groupes pour l'épreuve Opérations Analogiques

| Épreuves | Scores | Groupe | | p (test Mann-Whitney) |
|------------------------|--------------------|--------------|--------------|-------------------------|
| | | TV | TSAM | |
| | | Moyenne (ET) | Moyenne (ET) | |
| Opérations Analogiques | Réponse analogique | 11.77 (.60) | 10 (2.14) | .03* |
| | Réponse orale | 11.77 (.60) | 9.82 (2.48) | .01** |
| | Total | 23.54 (.78) | 19.82 (4.35) | .001** |

* : significatif à $p < .05$, ** : significatif à $p < .01$

6. Fidélité

6.1 Fidélité inter-juges quant aux scores attribués lors de l'analyse vidéo

Afin de vérifier la fidélité de cotation des stratégies entre deux juges (étudiantes en orthophonie), des coefficients de corrélation de Pearson ont été calculés. Toutes les corrélations sont positives. L'accord inter-juges est très satisfaisant. En effet, la corrélation est significative pour l'épreuve de Dénombrement Production - Combien ? ($r = .92$; $p < .01$) et

pour l'épreuve de Dénombrement Production En mouvement ($r = .905 ; p < .01$). La corrélation est significative pour l'épreuve de Fluence arithmétique pour les additions ($r = .99 ; p < .01$) et pour les soustractions ($r = 1.00 ; p < .01$).

6.2 Fidélité de la cotation instantanée en direct : comparaison des scores attribués pendant la passation et en différé par la même juge

Afin de vérifier la fidélité de la cotation instantanée en direct des stratégies en situation d'interaction avec l'enfant une comparaison des scores a été effectuée entre la cotation immédiate et une cotation en différé via un enregistrement vidéo au moyen d'un calcul des coefficients de corrélation de Pearson. La corrélation entre tous les scores obtenus lors de l'analyse instantanée en direct et de l'analyse réalisée au mois de décembre à l'aide de vidéos est très satisfaisante. En effet, la corrélation est significative et positive pour Dénombrement Production - Combien ? ($r = .95 ; p < .01$), Dénombrement Production En mouvement ($r = 1.00 ; p < .01$), Fluence arithmétique Addition ($r = .99 ; p < .01$) et Fluence arithmétique Soustraction ($r = .99 ; p < .01$).

6.3 Analyse des différences entre les deux juges suivant deux modalités différentes

Afin de vérifier la fidélité de la cotation instantanée en direct des stratégies en situation d'interaction avec l'enfant, une comparaison des scores a été effectuée entre la cotation immédiate réalisée par la juge 1 et une cotation en différé via un enregistrement vidéo réalisée par la juge 2 au moyen d'un calcul des coefficients de corrélation de Pearson. La corrélation entre tous les scores obtenus lors de l'analyse instantanée en direct et de l'analyse différée à l'aide de vidéos est très satisfaisante. En effet, la corrélation entre la cotation pendant l'analyse instantanée en direct et l'analyse à l'aide de vidéo est significative et positive pour Dénombrement Production - Combien ? ($r = .96 ; p < .01$), Dénombrement Production en mouvement ($r = .85 ; p < .01$), Dénombrement Production score total ($r = .997 ; p < .01$), Fluence Arithmétique Addition ($r = .99 ; p < .01$) et Fluence Arithmétique Soustraction ($r = .99 ; p < .01$), Fluence Arithmétique et Stratégies score total ($r = .996 ; p < .01$).

6.4 Analyses des stratégies à l'aide de la grille d'analyse des stratégies

Afin de vérifier que les grilles permettent de mettre en évidence des différences de stratégies entre les niveaux de classe, les proportions des types de stratégies utilisées par les enfants ont été calculées pour chaque niveau de classe. Des histogrammes ont été réalisés afin de mener une inspection visuelle et de comparer qualitativement les trois cotations. Les histogrammes pour l'ensemble des principes, stratégies et procédures sont disponibles en Annexe 8. Les enfants en GSM n'ont pas été intégrés pour les différentes analyses statistiques mais nous avons choisi de les intégrer dans cette partie puisque la présente étude permet de réaliser une étude pilote exploratoire. En outre, il est pertinent de comparer les différentes utilisations de stratégies et procédures pour les enfants de CP à ceux d'enfants en GSM afin d'identifier des repères cliniques.

Par exemple, les Figures 1, 2 et 3 illustrent les stratégies d'utilisation et l'intégrité de la comptine numérique pour chaque niveau de classe selon la cotation effectuée par la première juge (autrice de ce mémoire) en direct lors de la passation de l'épreuve Dénombrement Combien (Figure 1), selon la cotation effectuée en différé (sur format vidéo) par la première juge (Figure 2) et selon la cotation effectuée en différé (sur format vidéo) par une seconde juge (Figure 3). L'inspection visuelle au sein de chaque figure montre 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). La comparaison de la Figure 1 et la Figure 3 montre un pattern de cotation similaire entre les juges, excepté que la juge 2 repère moins souvent de comptine chuchotée que la juge 1 (qui a vu les enfants en présentiel), suggérant une fidélité inter-juges acceptable. La comparaison de la Figure 1 et la Figure 2 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 1 : Cotation instantanée en direct juge 1

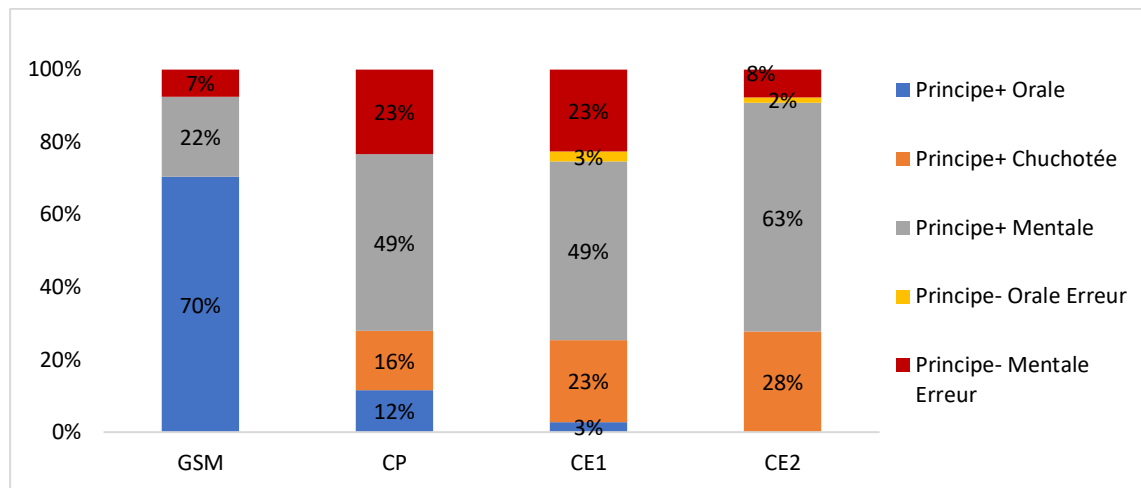


Figure 2 : Cotation sur vidéos juge 1

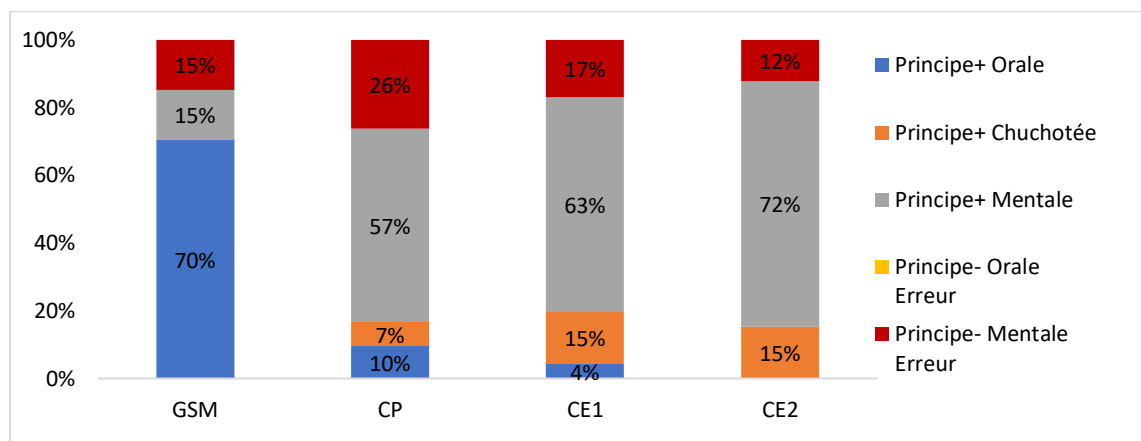
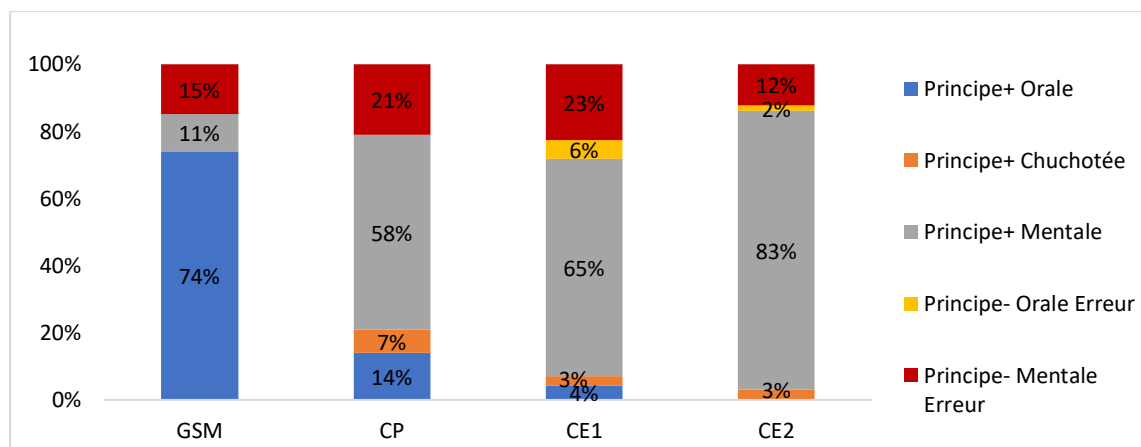


Figure 3 : Cotation sur vidéos juge 2



Un tableau (tableau 15) a été réalisé afin de faciliter la compréhension des données issues de l'ensemble des histogrammes. Une différence de 20 % entre deux patterns issus des différentes cotations, représentant une différence de cotation pour deux enfants, est

considérée comme trop élevée. Le tableau 15 résume le résultat des inspections visuelles concernant les analyses comparatives des patterns effectués grâce aux cotations effectuées lors de l'analyse vidéo par les deux juges ainsi que les analyses comparatives des patterns effectués grâce aux cotations effectuées lors de l'analyse instantanée en direct et lors de l'analyse vidéo par la première juge. Ce tableau 15 permet de mettre en évidence que les patterns sont globalement identiques pour toutes les données sauf pour le critère organisation de l'ordre du dénombrement.

Tableau 15. Comparaison qualitative des patterns

| Épreuves | | Comparaison inter-juges : vidéo juge 1 – vidéo juge 2 | Comparaison modalité : cotation instantanée en directe juge 1 - cotation différée juge 1 |
|--|------------------------------|--|---|
| Dénombrement | Comptine numérique | + / - | + / - |
| | Correspondance terme à terme | + | + |
| | Cardinalité | + | + |
| | Abstraction | + | + |
| | Organisation de l'ordre | - | - |
| Dénombrement | Pointage | + | + |
| en mouvement | Comptine numérique | +/- | +/- |
| | Rétention sur les doigts | + | + |
| Fluence Arithmétique et Stratégies | Stratégie addition | +/- | +/- |
| | Procédure addition | +/- | +/- |
| | Stratégie soustraction | +/- | +/- |
| | Procédure soustraction | +/- | +/- |

Notes : + : les patterns sont identiques - : d'importantes différences entre les patterns sont notées. +/- : les patterns sont globalement similaires mais quelques différences sont notées.

Les tableaux 16 et 17 résument l'ensemble des comparaisons effectuées à partir des patterns obtenus grâce aux différentes cotations réalisées à partir de la cotation instantanée en direct et à partir de vidéos pour les deux juges. Ces tableaux permettent de mettre en évidence les différences d'utilisation des différentes stratégies en fonction de la classe de l'enfant. Ces différences permettront dans la discussion d'établir des repères cliniques pour les futurs utilisateurs de la batterie Examath 5-8. Les classes indiquées dans le tableau sont les

niveaux scolaires réels de l'enfant. Par conséquent, dans ce tableau quand nous parlons des GSM, CP, CE1 ou CE2, il s'agit du niveau scolaire réel de l'enfant.

Tableau 16. Commentaires qualitatifs sur l'utilisation des différents principes de dénombrement selon la cotation instantanée en direct effectuée par la juge 1 pour l'épreuve Dénombrement

| Épreuves | | Commentaires |
|---------------------------|------------------------------|---|
| Dénombrement | Comptine numérique | La comptine numérique orale est utilisée par les CP et CE1 tandis que les CE2 utilisent préférentiellement la comptine numérique mentale. Des difficultés à utiliser cette comptine sont notées pour les trois classes d'âges. En effet, 23% des enfants ne maîtrisent pas la comptine numérique en CP et en CE1 et 8 % en CE2. |
| | Correspondance terme à terme | Le pointage digital est principalement utilisé par les GSM pour disparaître totalement en CE1. Les CE2 utilisent majoritairement un pointage visuel. |
| | Cardinalité | Le principe de cardinalité est maîtrisé par tous les enfants. Seul un enfant de CP ne le maîtrise pas selon la juge 1 lors de la cotation instantanée en direct. |
| | Abstraction | Le principe d'abstraction est maîtrisé par tous les enfants sauf par un enfant en CE1. |
| | Organisation de l'ordre | Tous les enfants de CP, CE1 et CE2 ont une organisation fonctionnelle pour le dénombrement. |
| Dénombrement en mouvement | Pointage | Les enfants utilisent principalement un pointage visuel, seul un enfant en CE2 utilise le pointage digital. |
| | Comptine numérique | Les enfants de CP utilisent la comptine numérique orale tandis que les enfants de CE2 utilisent principalement la comptine mentale. La comptine chuchotée n'est pas observée lors de la cotation instantanée en direct. |
| | Rétention sur les doigts | Aucun enfant n'utilise ses doigts, excepté un enfant de CE2. |

Tableau 17. Commentaires qualitatifs sur l'utilisation des différentes stratégies et procédures selon la cotation instantanée en direct effectuée par la juge 1 pour l'épreuve Fluence

Arithmétiques et Stratégies

| | | |
|--|------------------------|--|
| Fluence Arithmétique et Stratégies | Stratégie addition | La stratégie mentale est utilisée principalement par les CE2, tandis que des enfants de CP (23%) et CE1 (12%) utilisent une stratégie verbale ou digitale. |
| | Procédure addition | Les enfants de GSM se servent de la procédure Premier, tandis que les enfants de CP utilisent la procédure Tout, Premier et Min. Les enfants de CE1 ne se servent plus de la procédure Premier et utilisent préférentiellement la procédure Min. Les enfants de CE2 n'utilisent pas de procédure identifiable (récupération en mémoire ou réalisation des différentes procédures mentalement). |
| | Stratégie soustraction | Les enfants utilisent une stratégie mentale ou digitale. Elles ne sont pas efficaces pour la plupart des enfants de CP. |
| | Procédure soustraction | Les enfants de CP utilisent une procédure descendante ou une procédure non observable. À partir du CE1, les enfants utilisent une procédure ascendante. En CE2, les enfants utilisent une procédure mentale, ascendante ou descendante. |

DISCUSSION

L'objectif de cette étude était la pré-validation d'épreuves contenues dans le module Dénombrement, dans le module Arithmétique ainsi que dans le module Raisonnement Numérique afin de vérifier la validité convergente des épreuves issues du module Arithmétique ainsi que l'épreuve Opérations Analogiques avec le TTR, la cohérence interne de chaque épreuve et module ainsi que la validité de construit en lien avec les caractéristiques niveau scolaire et de l'appartenance ou non au groupe AR-TSAM.

Notre second objectif était la mise en place d'une grille d'analyse des stratégies et procédures utilisées par l'enfant et de vérifier la faisabilité et la fiabilité de la cotation qualitative instantanée en direct par les utilisateurs de la batterie au moyen de cette grille. Ainsi, nous avons évalué si la standardisation des grilles d'analyse des stratégies était suffisante, c'est-à-dire vérifier que la fidélité inter-juges sur les critères quantitatifs et qualitatifs était satisfaisante, si l'utilisation en était suffisamment facile et fiable en temps réel au cours de la passation et nous avons aussi vérifié si ces grilles permettaient de mettre en évidence des profils cognitifs différents.

La discussion suivante permettra d'analyser et d'interpréter les résultats obtenus, de valider ou invalider les hypothèses émises ainsi que de poser un regard critique sur l'étude menée puis d'ouvrir sur des perspectives cliniques pour la pratique orthophonique et de recherche afin de permettre d'améliorer la batterie et poursuivre des recherches sur celle-ci.

1. *Interprétation des résultats*

1.1 Hypothèse 1 : Les épreuves comprises dans les modules Dénombrement, Arithmétique ainsi que l'épreuve Opérations Analogiques présentent de bonnes propriétés psychométriques

L'hypothèse principale émise était que les épreuves comprises dans les modules Dénombrement, Arithmétique ainsi que l'épreuve Opérations Analogiques présenteraient de bonnes propriétés psychométriques. Nous supposons donc que les épreuves présenteraient une bonne validité convergente avec le test de référence externe qui est le TTR, que les épreuves ainsi que les modules présenteraient une bonne cohérence interne. Nous supposons aussi que les épreuves permettraient de montrer une différence de performance en fonction de la classe de l'enfant et en fonction de leur appartenance au groupe CTRL ou au

groupe AR-TSAM. Les analyses statistiques permettent de confirmer ou d'infirmes certaines hypothèses.

1.1.1 Les épreuves contenues dans le module Arithmétique ainsi que l'épreuve Opérations Analogiques présentent une validité convergente correcte avec le TTR

Nous présumons que les résultats au TTR seraient significativement corrélés aux résultats aux différentes épreuves contenues dans le module Arithmétique ainsi que l'épreuve Opérations Analogiques issues d'Examath 5-8. Cette hypothèse est partiellement confirmée par les analyses statistiques. En effet, les résultats de toutes les épreuves sont corrélés aux résultats obtenus au TTR sauf les résultats obtenus à la sous-épreuve Réponse Analogique. Cette absence de corrélation peut s'expliquer. Les enfants peuvent avoir saisi le sens intuitif des opérations, suffisant pour réussir la sous-épreuve Réponse Analogique, sans être pour autant capable de répondre à des items mettant en jeu les différentes connaissances nécessaires à la résolution rapide de calcul via un code symbolique (comme dans le TTR). Ces connaissances sont les connaissances procédurales, déclaratives et conceptuelles (Goldam et Hasselbring, 1997).

1.1.2 Les épreuves présentent une bonne cohérence interne

Nous présumons que la cohérence interne des épreuves serait bonne, soit la corrélation entre les items entre eux d'une part et entre chaque item et le score total d'autre part. Cette hypothèse est partiellement confirmée par les analyses statistiques. En effet, seules les épreuves Fluence Arithmétique Addition et Soustraction, Compléments à 10, Concept présentent une bonne cohérence interne.

Tous les items au sein des épreuves de Fluence Arithmétique et Stratégies, Compléments à 10 mais aussi Concept testent respectivement les mêmes compétences à savoir celles de réaliser des calculs simples, de même ordre de grandeur, trouver les compléments à 10 et connaître les règles opératoires.

Concernant l'épreuve de Dénombrement Production, elle possède deux sous-épreuves qui sont différentes puisqu'une évalue l'utilisation des principes de dénombrement face à une collection figée tandis que l'autre évalue l'utilisation des principes face à une collection en mouvement. Ainsi, il est pertinent que l'épreuve Dénombrement Production dans son ensemble ne présente pas une bonne cohérence interne, puisqu'un enfant peut

réussir à utiliser les principes de dénombrement lorsque la collection est fixe mais ne pas réussir lorsque la collection est en mouvement du fait d'une maîtrise encore trop fragile des différents principes énoncés par Gelman et Gallistel (1978), et inversement.

L'épreuve de Dénombrement Compréhension ne présente pas une bonne cohérence interne. Cela peut premièrement s'expliquer par le fait que deux types d'items sont présents dans cette épreuve de jugement, des items où le personnage utilise correctement les principes régissant le dénombrement et d'autres items où le personnage n'utilise pas correctement ces différents principes. L'enfant peut donc être capable de confirmer que le personnage a bien utilisé les principes mais ne pas être capable de juger qu'il les a mal utilisés, du fait que la situation soit nouvelle pour lui (Van Nieuwenhoven et al., 2019). De plus, le choix dans cette épreuve est de tester différents principes du dénombrement qui ne sont pas nécessairement maîtrisés simultanément (Van de Rijt et Van Luit, 1998).

Pour l'épreuve Opérations Analogiques, deux sous-épreuves sont aussi présentes : Réponse Analogique et Réponse Orale. L'enfant peut donc être capable de répondre aux différents items avec Réponse Analogique permettant une manipulation et une visualisation de la collection-réponse sans pour autant être capable d'attribuer un mot-nombre ou encore de résoudre mentalement le calcul analogique proposé. En effet, pour la sous-épreuve Réponse Orale, il est nécessaire que l'enfant fasse des liens entre le dénombrement des collections d'objets qui entrent ou qui sortent du chapiteau, réalise l'opération sans support de manipulation et propose un mot-nombre réponse. En outre, les items présentent une progression de la difficulté au sein de l'épreuve ce qui minore la possibilité d'une cohérence interne.

1.1.3 Les modules présentent une bonne cohérence interne

Nous présumons que les épreuves au sein d'un même module seraient corrélées entre elles. Cette hypothèse est partiellement confirmée par les analyses statistiques. En effet, la sous-épreuve de Dénombrement Production - Combien ? est corrélée avec l'épreuve de Dénombrement Production total mais la sous-épreuve de Dénombrement en mouvement ne traduit pas assez de variabilité des scores pour réaliser une analyse de corrélation. Toutes les épreuves au sein du module Arithmétique sont corrélées entre elles sauf la sous-épreuve Équation qui n'est pas significativement corrélée avec l'épreuve Compléments à 10.

Les deux épreuves de Dénombrement ont été construites à partir des mêmes modèles théoriques en production et en compréhension. Cependant, nous pouvons voir d'après nos différentes analyses statistiques que ces deux épreuves ne sont pas corrélées significativement. En effet, il est possible que l'enfant ait compris les différents principes régissant le dénombrement mais ne soit pas capable de les appliquer.

En outre, pour le module Arithmétique, l'épreuve de Compléments à 10 et la sous-épreuve Équation ne sont pas corrélées mais elles ne testent pas les mêmes connaissances, la première épreuve étant centrée de façon prégnante sur des connaissances déclaratives, alors que la deuxième est davantage contrainte par des connaissances conceptuelles.

1.1.4 Les épreuves permettent de montrer des différences de performance en fonction de la classe de l'enfant contribuant à une bonne validité de construit

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. En effet, pour les épreuves issues du module Dénombrement et la sous-épreuve Réponse Orale d'Opérations Analogiques, aucune analyse ne permet de montrer de différence de performance en fonction de la classe de l'enfant. Cependant, les épreuves Fluence Arithmétique et Stratégies, Compléments à 10 Opérations Analogiques et sa sous-épreuve Réponse analogique mettent en évidence des différences significatives ce qui permet de valider notre hypothèse.

Concernant les épreuves du module Dénombrement, 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), il est par conséquent normal que ces épreuves ne montrent pas de différences en fonction de la classe des enfants. Ces épreuves dans cette tranche d'âge visent l'identification de difficultés pour les enfants AR-TSAM afin de pouvoir objectiver un diagnostic pour des enfants qui ne respectent pas une trajectoire développementale attendue.

La sous-épreuve Réponse Orale d'Opérations Analogiques ne montre qu'une différence marginale en fonction de la classe des enfants, ceci peut s'expliquer par le fait que cette épreuve bénéficie d'une cotation particulière. En effet, lorsque l'enfant se trompe mais que la réponse respecte le sens de l'opération alors il obtient néanmoins 1 point (au lieu de

2). Les enfants en CP obtiennent souvent 1 point tandis que les enfants de CE1 obtiennent 2 points mais commettent plus d'erreurs ne respectant pas le sens de l'opération. Concernant les enfants de CE2, bien que la différence de score ne soit pas significative entre les groupes, sur un plan qualitatif, ils commettent moins d'erreurs et obtiennent pour la plupart 2 points à l'ensemble des items.

1.1.5 Les épreuves permettent de montrer des différences de performance en fonction de l'appartenance au groupe CTRL ou au groupe AR-TSAM, contribuant à une bonne validité de construit

Nous présumons que le groupe CTRL aurait des résultats significativement supérieurs à ceux du groupe AR-TSAM. Cette première hypothèse est partiellement confirmée par les analyses statistiques. En effet, au sein du module Dénombrement, l'épreuve de Dénombrement Production ne permet pas de montrer de différence de performance. Les épreuves concernant l'arithmétique, montrent des différences de performances sauf l'épreuve Concepts

Il est possible que ces deux épreuves (Dénombrement Production et Concepts) ne montrent pas de différences de performance du fait de la composition de nos deux groupes. En effet, les analyses ont été menées sur les groupes composés d'enfants en CE1 et en CE2 puisque nous n'avions qu'un enfant en CP qui répondait à tous nos critères d'inclusion pour le groupe AR-TSAM. En outre, l'épreuve Concepts, n'a été proposée qu'au CE2, c'est une épreuve difficile pour les enfants des deux cohortes, avec encore une grande variabilité de maîtrise chez les enfants CTRL ; ainsi, les différences de performance peuvent être trop faibles pour que le test statistique les estime significatives dans ces conditions. C'est pourquoi l'analyse qualitative issue de cette épreuve est importante.

1.1.6 Synthèse

En conclusion pour la première hypothèse énonçant que les épreuves comprises dans les modules Dénombrement, Arithmétique ainsi que l'épreuve Opérations Analogiques présentent de bonnes propriétés psychométriques, nous pouvons affirmer que la quasi-totalité des épreuves ou sous-épreuves d'Arithmétique sont corrélées avec le TTR. En outre, nous pouvons affirmer que les épreuves de Fluence Arithmétique et Stratégies, Compléments à 10 et Concepts présentent une bonne cohérence interne, le module Arithmétique présente

une bonne cohérence interne ainsi que le module Dénombrement. Les épreuves issues du module Arithmétique et l'épreuve Opérations Analogiques permettent de montrer une différence significative en fonction du niveau scolaire de l'enfant tout-venant, au contraire des épreuves issues du module Dénombrement, les résultats étant déjà élevés dès le premier niveau. Pour les différences de performances en fonction de l'appartenance au groupe CTRL ou au groupe AR-TSAM, une seule des deux épreuves de dénombrement permet de montrer une différence de performance. Pour le module Arithmétique, toutes les épreuves, sauf Concepts permettent de montrer une différence significative de performance. Les limites méthodologiques et de recrutement que nous développerons ensuite (Voir infra 2.1 et 2.2) peuvent aussi expliquer les résultats que nous avons obtenus.

1.2. Hypothèse 2 : Les grilles d'analyses permettent d'affiner objectivement le diagnostic

La seconde hypothèse émise suggérait que les grilles d'analyses co-construites avec les autrices de la batterie pour l'épreuve de Dénombrement Production et pour l'épreuve de Fluence Arithmétique et Stratégies permettaient d'affiner le diagnostic. Nous supposons que les grilles permettraient d'analyser les stratégies et procédures des enfants en cotant directement la grille pendant la passation de l'épreuve.

Pour cette hypothèse, les analyses des enfants scolarisés en grande section de maternelle ont été inclus dans les histogrammes afin de pouvoir fournir une analyse développementale plus complète des compétences des enfants.

1.2.1 *L'accord inter-juges est satisfaisant pour les épreuves comportant une analyse qualitative standardisée*

Au regard des trois croisements de cotation qui ont été proposés, qui sont pour rappel, cotation instantanée en direct vs cotation différée sur vidéo par la même juge, cotation vidéo différée pour les deux juges et cotation instantanée en direct pour la première juge vs cotation sur vidéo pour la seconde juge, nous pouvons valider notre hypothèse. En effet, les coefficients de Pearson permettant d'évaluer la corrélation entre les différentes cotations montrent qu'elles sont corrélées. 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 et réduit ainsi la charge mentale de l'utilisateur.

La mise à disposition d'un guide d'aide à la cotation, ainsi que de vidéos 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.

1.2.2 La grille d'analyse des stratégies pour l'épreuve Dénombrement Production permet d'analyser de façon fiable les stratégies de l'enfant

Nous présumons que les patterns des stratégies identifiées par les deux juges d'après l'analyse vidéo seraient identiques. D'après l'analyse qualitative, issue de la comparaison des patterns, nous pouvons dire que la grille permet d'analyser de façon fiable les stratégies de l'enfant puisque les patterns identifiés sont globalement similaires avec cependant quelques nuances à apporter.

En effet, pour le critère d'utilisation de la comptine numérique, nous pouvons noter que les patterns ne sont pas similaires. La première juge n'identifie pas de principe erroné pour la comptine numérique orale pour les CE1 et les CE2 tandis que la seconde juge estime que des enfants ne maîtrisent pas l'utilisation de la comptine (6%). Cette différence d'interprétation peut s'expliquer par la double cotation de la première juge, en effet, un biais peut être relevé, la première juge ayant déjà vu les enfants pour la cotation instantanée en direct, il est possible qu'elle ait sur-interprété les productions des enfants lors de sa deuxième cotation. De plus, la seconde juge estime qu'il y a plus d'enfants qui utilisent la comptine numérique chuchotée que la première juge. Il est possible que l'interprétation orale – chuchotée soit difficile sur une analyse vidéo ; en effet, la seconde juge n'avait pas accès au réglage du son puisque les vidéos étaient diffusées via l'application ZOOM en partageant l'écran de la première juge. Ainsi, il est possible que le son ait été trop bas pour qu'elle puisse distinguer que l'enfant utilise une comptine numérique chuchotée ou que le son soit trop fort et qu'elle le cote en comptine numérique oralisée. En outre, des enfants portaient un masque, (du fait de la situation sanitaire due à la Covid-19) ce qui rend difficile l'identification d'une utilisation de comptine numérique chuchotée.

Pour le critère cardinalité, une consigne utilisateur a été ajoutée suite à la présente étude permettant de s'assurer que l'enfant ait bien acquis le principe. En effet, lorsqu'il dénombre en utilisant une comptine verbale, 1, 2, 3, 4 sans accentuer le 4 ou sans le répéter à la fin de son énumération alors il faut lui redemander « combien y'a-t'il de ... ? ». Cette consigne a été ajoutée puisqu'il y avait des différences d'interprétation entre les deux juges dans la présente étude.

Concernant, le critère organisation de l'ordre, d'importantes différences ont été relevées. Lors de la cotation des vidéos, le critère initial était la non-pertinence de l'ordre de pointage puisque la grille s'appuyait sur les différents principes tels qu'énoncés par Gelman et Gallistel (1978). Or il s'est avéré que ce principe était difficile à observer dans la tâche en production telle qu'elle était conçue (il est par contre observable dans l'épreuve de Dénombrement Compréhension) : les différences de cotation entre les deux juges peuvent s'expliquer par l'interprétation propre à chacune de ce critère peu adapté à la modalité de l'épreuve. Ainsi, nous pouvons noter que la seconde juge estime que le principe n'est pas observable pour beaucoup d'enfants (33 %, 83 %, 92 %, 100 % pour les GSM, CP, CE1 et CE2 respectivement) tandis que la première juge estime qu'il n'y a pas de principe observable pour seulement 6 %, 26%, 39%, 42% des GSM, CP, CE1 et CE2 respectivement. De plus, la cotation sur vidéo ne permet pas de voir l'enfant comme lors de la cotation instantanée en direct puisque l'examineur ne peut pas changer de point de vue. A la suite de la présente étude et suite à des échanges avec les autrices du programme, le critère a été modifié pour devenir désormais, dans une approche plus fonctionnelle, « organisation de l'ordre de pointage » : organisation fonctionnelle vs pas d'organisation Afin de standardiser l'utilisation de la grille, une vidéo a été réalisée pour illustrer ce critère modifié et en limiter la variabilité d'interprétation par tous les examinateurs.

Concernant la grille pour l'épreuve Dénombrement en mouvement, des différences entre la cotation de la première juge et la cotation de la seconde juge sont à noter. Nous retrouvons les mêmes différences que pour la cotation des productions de l'enfant sur l'épreuve Dénombrement Combien ; en effet, la comptine numérique chuchotée n'est pas identifiée par la seconde juge, pour les mêmes raisons inhérentes à la qualité de la captation vidéo. Pour les GSM, nous ne notons par contre pas de différences puisqu'ils utilisent tous une comptine numérique oralisée, plus aisément perceptible en vidéo.

Pour conclure, la grille permet d'analyser de manière fiable les critères, avec cependant deux réserves : une première qui n'est pas inhérente à la grille elle-même mais qui est davantage attachée à la modalité d'observation vidéo pour le critère d'utilisation de la comptine verbale chuchotée, difficilement perceptible en vidéo ou encore par extension en pratique clinique actuelle lorsque l'enfant porte un masque ; une deuxième sur l'inadaptation du critère initial de non pertinence de l'ordre, qui a par conséquent été modifié en « organisation de l'ordre de pointage ». De plus, afin de renforcer la standardisation de cotation, des vidéos d'illustration ainsi qu'un guide d'aide à la cotation sont disponibles

1.2.3 L'analyse instantanée des stratégies utilisées par l'enfant dans l'épreuve Dénombrement Production est réalisable de façon fiable à l'aide de la grille

Nous présumons que les patterns des stratégies identifiées par la première juge lors de la cotation instantanée en direct et par la seconde juge lors de l'analyse sur vidéos seraient identiques. Nous avons choisi de comparer ces deux cotations puisque lors de la cotation en vidéo, il a été possible pour la seconde juge de revenir en arrière, de ralentir les mouvements des enfants mais aussi de mettre pause afin de bien remplir la grille. En comparant les deux cotations, nous espérons pouvoir évaluer si la cotation instantanée en direct est fiable malgré l'impossibilité de ralentir ou de revenir sur les productions de l'enfant. D'après l'analyse qualitative, issue de la comparaison des patterns, nous pouvons dire que la grille permet d'analyser instantanément de façon fiable les stratégies de l'enfant avec cependant quelques nuances à apporter pour certains items.

En effet, pour le critère « utilisation de la comptine numérique » ainsi que pour le critère « organisation de l'ordre », les deux juges interprètent différemment les productions des enfants pour les raisons déjà évoquées et analysées dans le paragraphe précédent. L'analyse qualitative *a posteriori* permet de montrer que la cotation instantanée en direct permet d'analyser plus finement les productions de l'enfant puisqu'elle permet de ne pas avoir de biais de son, de positionnement spatial par rapport aux mouvements de l'enfant. De plus, pour l'épreuve de dénombrement en mouvement, de par l'organisation de l'épreuve, il est aisé de coter en direct puisque les éléments composant la collection arrivent au fur et à mesure. Pour l'épreuve de dénombrement combien, l'épreuve est plus rapide mais il est tout de même facile de coter en direct. Pour le critère rétention sur les doigts, il n'y a pas de différence pour les CP et les GSM puisqu'aucun enfant ne se sert de ses doigts pour s'aider.

Concernant les CE1, ainsi que les CE2, des différences sont notées, nous pouvons supposer que certains enfants utilisent la rétention sur les doigts seulement très partiellement et qu'une juge ait coté cette ébauche comme de la rétention sur les doigts tandis que l'autre ne l'a pas fait.

Ainsi, nous pouvons conclure pour cette hypothèse que l'analyse qualitative instantanée des stratégies de l'enfant lors de l'épreuve Dénombrement Production est fiable puisque le juge n'est pas contraint par le son, le positionnement spatial par rapport aux mouvements des enfants.

1.2.4 La grille d'analyse des stratégies pour l'épreuve Fluence Arithmétique et Stratégies permet d'analyser de façon fiable les stratégies de l'enfant

Nous présumons que les patterns des stratégies identifiées par les deux juges d'après l'analyse vidéo seraient identiques. D'après l'analyse qualitative, issue de la comparaison des patterns, nous pouvons dire que la grille permet d'analyser de façon fiable les stratégies de l'enfant avec cependant des différences modérées inter-juges. En effet, lors de la comparaison visuelle des histogrammes, nous pouvons voir qu'ils présentent tous des différences sans que celles-ci soient trop importantes. Les causes des différences de cotation sont multiples.

Les différentes stratégies décrites par Baroody et Ginsburg (1986) sont définies précisément. Il est toutefois possible que l'enfant utilise une stratégie qui ne rentre strictement dans aucune de celles-ci ou que certains enfants changent de stratégie pendant la résolution des différents items (par exemple, commencer en utilisant une stratégie verbale pour finir par utiliser une stratégie digitale), ce qui peut engendrer une différence de cotation par indécision sur la stratégie utilisée ou approximation.

Les différences de cotation peuvent aussi s'expliquer par des difficultés pour l'examineur de coter en direct les différentes stratégies par manque d'automatisation de l'identification des stratégies. Le guide d'aide à la cotation ainsi que les différentes vidéos aideront, en amont des passations, à mieux identifier les différences entre les stratégies. En outre, pour certaines opérations, il n'est pas possible de classer, avec certitude, les stratégies qu'utilisent l'enfant, par exemple pour l'opération $3+2$ si l'enfant utilise une stratégie verbale en énonçant oralement 3, 4, 5 il est possible qu'il ait utilisé une stratégie verbale « premier » car il commence par le premier opérande ou verbale « min » puisqu'il commence par le plus grand des deux opérandes. Ainsi, les items de type $a+b$ avec $a>b$ ne permettent pas de

déterminer si l'enfant peut utiliser la stratégie « min ». Suivant les deux juges, elles peuvent avoir classé dans l'une ou l'autre procédure entraînant par conséquent des différences de patterns.

Les différences inter-juges peuvent aussi s'expliquer par les différentes limites de cotation liées au visionnage des vidéos que nous avons évoquées pour l'analyse de l'utilisation des différents principes de dénombrement, notamment à cause du son pour les enfants qui utilisent une stratégie verbale chuchotée ou oralisée. Certains enfants utilisaient une stratégie digitale en commençant avec les doigts sur la table mais ensuite les mettaient sous la table. Il est donc possible que les juges n'aient pas coté en stratégie digitale sur vidéo.

Lors des différentes passations, le résultat attendu de l'opération n'était pas indiqué sur la grille, ce qui nécessitait donc que le juge se concentre sur la vérification du résultat mais aussi sur les stratégies de l'enfant. Les réponses ont été ajoutées afin de diminuer la charge cognitive du juge. Il est possible de noter la stratégie utilisée par l'enfant même s'il se trompe ce qui permet de comprendre pourquoi il se trompe. S'il se trompe parce qu'il ne maîtrise pas encore l'utilisation de telle ou telle différente stratégie, il sera nécessaire qu'il ait recours à une stratégie différente avant de pouvoir l'abandonner pour une stratégie moins coûteuse (Carpenter et Moser, 1984).

1.2.5 L'analyse instantanée des stratégies utilisées par l'enfant dans l'épreuve de Fluence Arithmétique et Stratégies est réalisable de façon fiable à l'aide de la grille

Nous présumons que les patterns des stratégies identifiées par la première juge lors de la cotation instantanée en direct et par la seconde juge lors de l'analyse sur vidéos seraient identiques. Nous avons choisi de comparer ces deux cotations puisque lors de la cotation en vidéo, il a été possible pour la seconde juge de revenir en arrière, de ralentir les mouvements des enfants mais aussi de mettre en pause afin de bien remplir la grille. En comparant les deux cotations, nous espérons pouvoir montrer que la cotation instantanée en direct est fiable malgré l'impossibilité de ralentir les productions de l'enfant. D'après l'analyse qualitative, issue de la comparaison des patterns, nous pouvons dire que la grille permet d'analyser instantanément de façon fiable les stratégies de l'enfant avec cependant quelques nuances à apporter. Des différences sont à noter sur les patterns issus des cotations effectuées par les deux juges ; cependant toutes les différences sont acceptables d'après la limite que nous avons établie, qui est pour rappel une différence maximum de 20 points. Les causes des

différences inter-juges sont les mêmes que pour les différences inter-juges entre les deux analyses d'après les vidéos. On notera en particulier que pour les enfants utilisant leurs doigts sous la table, il n'est pas possible pour la seconde juge qui analyse les productions des enfants d'après des vidéos de les voir, ainsi les différences de cotations peuvent être exacerbées par le changement de modalité.

1.2.6 Synthèse

Pour conclure, l'utilisation des différentes grilles dans le cadre de l'épreuve Dénombrement et Fluence Arithmétique et Stratégies est pertinente puisque celles-ci permettent d'analyser de façon fiable et en direct l'utilisation des différents principes de dénombrement et les différentes stratégies utilisées par l'enfant pour résoudre les opérations. Des différences d'analyses inter-juges ou intermodalités sont relevées pour les deux épreuves mais elles sont d'une part peu importantes d'après la méthode d'analyse que nous avons fixée, d'autre part explicables et résolubles, lorsque la cotation a lieu en direct, ce qui est leur visée première. L'utilisation du guide d'aide à la cotation ainsi que les vidéos permettent de mieux standardiser ces grilles ; en effet, toutes les personnes utilisant ces grilles ont ainsi les mêmes notions sur les modalités de cotation (Lafay et Cattini, 2018). Pour la grille d'analyse des stratégies de résolution des différents calculs pour l'épreuve Fluence Arithmétique et Stratégies, il semble pertinent de préciser pour les futurs utilisateurs de coter la stratégie principalement utilisée par l'enfant afin de limiter les variations d'interprétation, permettant ainsi de standardiser la grille.

2. Limites de l'étude

2.1 Modalités de passation et méthodologies

La validité convergente avec des épreuves de référence externe n'a pas pu être testée pour toutes les épreuves puisque qu'aucun test se basant sur les mêmes construits n'a été proposé aux enfants. En effet, aucune épreuve ne répondait à tous nos critères pour pouvoir le faire (Lafay et Cattini, 2018). Nos critères étaient que ce soit un test adapté à notre tranche d'âge, rapide et basé sur les mêmes construits théoriques. Cette donnée manquante constitue une limite à la présente étude. De plus, lors de la passation des épreuves, certaines n'étaient pas encore disponibles sur le logiciel. L'épreuve Opérations Analogiques a donc été proposée

via une maquette PowerPoint. La maquette PowerPoint était, cependant, fidèle à ce que l'épreuve est désormais au sein du logiciel. Ceci peut cependant constituer une limite lors de l'analyse des différents résultats. Les passations ont toutes été réalisées en début d'année, ainsi nous avons considéré que le niveau scolaire de l'enfant était celui de la classe inférieure à la sienne. Cependant, il est possible que ce choix entraîne un léger biais dans les performances de nos deux groupes composant la cohorte.

2.2 Modalités de recrutement

Afin de pré-valider les épreuves nous avons constitué deux groupes, un groupe d'enfants CTRL et un groupe d'enfants AR-TSAM. Pour constituer le groupe AR-TSAM, nous avons utilisé deux épreuves de référence externe mais aussi un critère d'inclusion qui était un suivi orthophonique déjà en cours pour trouble de la cognition mathématique ou pour trouble du langage oral ou alors une plainte dans un de ces domaines, en attente de bilan orthophonique. Nous n'avons pas pris connaissance en détail des bilans orthophoniques initiaux ayant permis de justifier la prise en soins pour les enfants déjà suivis et pour les enfants en attente de suivi, à risque, nous ne disposons pas d'éléments autres que notre évaluation pour objectiver les difficultés. 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. Nous n'avons pas différencié dans le groupe AR-TSAM les enfants ayant un TLO avéré ou sans TLO identifié. Ainsi, une évaluation plus poussée pour chaque enfant du langage oral mais aussi des capacités en cognition mathématique aurait pu être pertinente afin de mieux les classer.

Les enfants ont été recrutés via des appels à participation, ce qui engendre deux biais. Les catégories socio-professionnelles ne rendent pas compte de la répartition réelle en France. En outre, les deux groupes ne sont pas homogènes. En effet, d'après le tableau 2, la moyenne d'âge dans les deux groupes est identique puisque la différence d'âge n'est pas significative ($p = .19$). Cependant, la répartition n'est pas identique en fonction du niveau scolaire mais aussi au niveau du nombre d'enfants au sein de chaque groupe, c'est pourquoi les analyses que nous avons réalisées sur le groupe CTRL et sur le groupe AR-TSAM, dans le but de mettre en évidence la validité de construit, n'ont pu être réalisées que sur deux tranches

d'âge (CE1 et CE2). Compte tenu du contexte politico-sanitaire, les passations n'ont pu être toutes effectuées.

De plus, l'étude d'autres propriétés attendues d'un test diagnostique (validité de critère prédictive, fidélité temporelle), n'était pas réalisable dans le cadre de cette étude (ex : validité prédictive, validité de surface) ou doit être traitée ultérieurement car nécessite la version finalisée de la batterie (ex : validité de surface) et les données de la phase d'étalonnage (ex : sensibilité/spécificité).

3. Perspectives cliniques pour la pratique orthophonique

Les études récentes mettent en avant l'importance d'une intervention orthophonique précoce (Barrouillet et al., 2007). L'évaluation des capacités de l'enfant en dénombrement et en arithmétique pour une plainte en mathématiques lors du bilan orthophonique apparaît comme indispensable. La batterie Examath 5-8 propose donc six épreuves permettant d'évaluer les différentes compétences développées dans la partie théorique de ce présent mémoire. Pour les futurs utilisateurs de la batterie Examath 5-8, ces épreuves présentent deux intérêts : elles permettent d'objectiver, en comparant à la norme, les performances de l'enfant, et notamment pour l'épreuve Dénombrement Production - Combien ? et Dénombrement Production en mouvement ainsi que pour l'épreuve Fluence Arithmétique et Stratégies d'analyser les différentes stratégies et procédures utilisées par l'enfant.

Les épreuves pré-validées, dans ce mémoire, pourront être proposées en cas de plainte sur le calcul, sur le dénombrement ou chez un enfant présentant un trouble du langage oral à risque de développer des difficultés dans certaines habiletés mathématiques et doivent permettre d'investiguer plus finement les compétences du patient.

3.1 Liens entre les épreuves

Différents liens peuvent être faits entre toutes les épreuves contenues dans la batterie afin de mieux comprendre le fonctionnement de l'enfant.

3.1.1 Dénombrement Production et Dénombrement Compréhension

Si un enfant réussit à l'épreuve de Dénombrement Compréhension alors qu'il est en difficulté pour le Dénombrement Production, il est capable de comprendre les différents principes qui régissent le dénombrement mais ne peut pas encore les appliquer (Gelman et Meck, 1983). Ainsi, il sera important de chercher la cause des difficultés en s'appuyant notamment sur la grille d'analyse des principes de dénombrement. En effet, un enfant qui utiliserait un comptage digital mais qui commettrait des erreurs peut ne pas encore être capable de coordonner l'utilisation de ses doigts avec l'énonciation de la comptine numérique. Un enfant qui aurait des difficultés pour la correspondance terme à terme peut nous amener à nous questionner sur un potentiel trouble praxique. Un enfant qui aurait des difficultés au niveau de la comptine verbale peut nous amener à nous questionner sur le développement de son langage. En effet, lorsqu'un enfant présente un Trouble Développementale du Langage, il peut aussi être en difficulté pour l'apprentissage et la manipulation de la comptine numérique du fait d'un déficit de la mémoire de travail causé par le TDL par exemple (Barrouillet et al., 2003 ; Gavens et Camos, 2006). Si un enfant est en échec aux deux épreuves de dénombrement alors il n'est pas capable d'appliquer les principes de dénombrement parce qu'il ne les a pas acquis, il est donc nécessaire de les lui enseigner de manière explicite (Jordan et al., 2007).

3.1.2 Fluence Arithmétique et Stratégies et Compléments à 10

Ces deux épreuves permettent d'évaluer la capacité de l'enfant à réaliser des calculs simples. Une grille d'analyse des stratégies et procédures est disponible pour l'épreuve de Fluence Arithmétique et Stratégies. Les enfants peuvent réussir l'épreuve de Compléments à 10 mais échouer l'épreuve de Fluence Arithmétique et Stratégies ; en effet, du fait de la confrontation récurrente à l'école des compléments à 10, ils peuvent les avoir mémorisés sans être capable de mettre en place des stratégies pour résoudre des calculs simples. Inversement, ils peuvent échouer l'épreuve de Compléments à 10, ceux-ci n'ayant pas encore été mémorisés mais réussir l'épreuve de Fluence Arithmétique et Stratégies en utilisant des stratégies de résolution de calcul comme le comptage digital par exemple pour des très petits opérandes. Si l'utilisation de ces différentes stratégies et procédures est encore fragile alors ils peuvent être en difficulté pour les appliquer à des calculs dont le résultat est 10. De plus, l'épreuve de compléments à 10, demande à l'enfant de juger si le résultat fait 10 ou non, or

la capacité de jugement demande une charge cognitive plus importante puisqu'elle demande une capacité d'inhibition importante.

3.1.3 Fluence Arithmétique et Stratégies et Concepts

L'épreuve Fluence Arithmétique et Stratégies évalue la fluence et la précision arithmétique tandis que l'épreuve Concepts évalue la connaissance des règles de calcul. L'épreuve de Concepts est, pour rappel, proposée uniquement au CE2 dans le cadre de la présente étude et ne sera lors de l'étalonnage et pour l'utilisation de la batterie proposée uniquement qu'au CE1.

Un enfant qui réussit l'épreuve de Fluence Arithmétique et Stratégies mais qui échoue l'épreuve de Concepts est un enfant qui connaît les différents principes de base pour réaliser un calcul mais qui ne connaît pas et ne sait pas appliquer les règles de calcul plus élaborées qui lui permettent de réaliser des calculs complexes. Il n'est donc pas encore capable de les expliquer ou de se les approprier pour automatiser la résolution de tous les calculs. Si un enfant réussit l'épreuve de Concepts mais qu'il échoue à l'épreuve de Fluence Arithmétique et Stratégies alors il est possible qu'il ait compris le principe des additions et des soustractions mais qu'il ne soit pas encore capable de les automatiser, d'utiliser rapidement les différents principes dans toutes les situations. Il sera donc nécessaire de renforcer les différents principes afin de permettre à l'enfant de les utiliser dans toutes les situations et de les utiliser rapidement.

3.1.4 Opérations analogiques et Fluence Arithmétique et Stratégies

Un enfant qui réussit l'épreuve Opérations Analogiques mais échoue à l'épreuve Fluence Arithmétique et Stratégies est un enfant qui a saisi intuitivement le sens des opérations mais qui n'est pas encore capable d'appliquer cela à une situation de calcul symbolique avec des nombres. Il est possible qu'il ait encore besoin de manipulation pour pouvoir résoudre des calculs simples. En effet, dans l'épreuve Opérations Analogiques, l'enfant ne voit pas de nombres, ni d'écriture symbolique de l'opération, il doit répondre en plaçant le nombre de d'objets correspondant à la solution ou répondre à l'oral. Si l'enfant échoue à l'épreuve Opérations Analogiques mais qu'il réussit l'épreuve Fluence Arithmétique et Stratégies, alors il est possible qu'il n'ait pas compris la consigne, qu'une fragilité en

mémoire de travail l'empêche de mémoriser un des deux opérandes analogiques qui apparaissent successivement contrairement à Fluence Arithmétique et Stratégies où les deux opérandes sont présents simultanément ou encore qu'il soit capable de récupérer en mémoire les faits arithmétiques sans pour autant avoir compris le principe même des différents calculs qu'il a appris par cœur.

3.2 Créations de repères cliniques

3.2.1 Dénombrement

L'analyse des différents principes de dénombrement énoncés par Gelman et Gallistel (1978), à l'aide des grilles d'analyse qualitative, a permis de faire émerger des repères cliniques utiles pour l'analyse de leur maîtrise par l'enfant. Ces différents repères cliniques sont regroupés dans le tableau 18 (Dénombrement Combien ?) et le tableau 19 (Dénombrement en mouvement). Les enfants de début de GSM, auxquels la batterie Examath 5-8 n'est pas destinée, ont cependant été inclus à ces tableaux afin de pouvoir comparer de manière qualitative leurs compétences à celles des enfants en CP. L'ensemble de ces repères ont été établis à l'aide de la cohorte de la présente étude qui est pour rappel de 38 enfants (voir sections Population et Limites) et à l'aide de la cotation effectuée par la première juge lors de l'analyse instantanée en direct puisqu'elle reflète la procédure la plus proche de celle mise en place par les futurs utilisateurs de la batterie.

Tableau 18. Repères cliniques Dénombrement Combien

| Item de la grille | Début GSM | Début CP | Début CE1 | Début CE2 |
|--------------------|---|--|--|--|
| Dénombrement | | | | |
| Comptine numérique | Utilisation majoritaire de la comptine numérique orale | Utilisation de la comptine numérique chuchotée | Utilisation de la comptine numérique chuchotée | Utilisation majoritaire de la comptine numérique |
| | Absence de l'utilisation de la comptine numérique chuchotée | Utilisation de la comptine numérique mentale | Utilisation majoritaire de la comptine numérique mentale | Utilisation de la comptine numérique mentale |
| | Utilisation de la comptine numérique mentale pour certains | | Utilisation encore de la comptine numérique orale avec des erreurs | Utilisation de la comptine numérique chuchotée |

| | | | | |
|---|---|--|---|--|
| Correspondance terme à terme | Pointage digital ou avec la tête La maîtrise du principe n'est pas acquise par tous les enfants | Pointage digital ou avec la tête Apparition du pointage visuel La maîtrise du principe n'est pas acquise par tous les enfants (26%) | Pointage visuel Plus de pointage digital La maîtrise du principe n'est pas acquise par tous les enfants (27%) | Pointage visuel et avec la tête |
| Cardinalité | Principe maitrisé pour la plupart des enfants Difficultés encore présentes | Principe maitrisé pour la plupart des enfants Difficultés encore présentes | Principe maitrisé pour la plupart des enfants Difficultés encore présentes | Principe maitrisé pour la plupart d'enfants Difficultés encore présentes |
| Abstraction | Principe maitrisé | Principe maitrisé | Principe maitrisé | Principe maitrisé |
| Organisation fonctionnelle de l'ordre | Organisation fonctionnelle pour beaucoup visible grâce au pointage digital | Organisation fonctionnelle pour tous les enfants ou principe non observable puisqu'ils utilisent un pointage visuel | Organisation fonctionnelle pour tous les enfants ou principe non observable puisqu'ils utilisent un pointage visuel | Organisation fonctionnelle pour tous les enfants ou principe non observable puisque'ils utilisent un pointage visuel |

Tableau 19. Repères cliniques Dénombrement Mouvement

| Item de la grille | Début GSM | Début CP | Début CE1 | Début CE2 |
|--------------------------|--|--|---|--|
| Dénombrement mouvement | | | | |
| Pointage | Utilisation du pointage visuel | Utilisation du pointage visuel | Utilisation du pointage visuel | Utilisation du pointage visuel |
| Comptine numérique | Utilisation de la comptine numérique orale | Utilisation de la comptine numérique orale et utilisation de la comptine numérique chuchotée | Utilisation de la comptine numérique orale ou utilisation de la comptine numérique chuchotée apparition de l'utilisation de la comptine numérique mentale | Utilisation de la comptine numérique mentale pour la plupart des enfants Certains enfants utilisent encore la comptine numérique chuchotée ou la comptine numérique orale |
| Rétention sur les doigts | Pas de rétention sur les doigts | Pas de rétention sur les doigts | Pas de rétention sur les doigts | Pas de rétention sur les doigts |

Les différents repères cliniques permettent d'affiner les analyses statistiques sur les scores totaux et sont en accord avec le fait que les enfants utilisent les principes de manière progressive et qu'ils finissent par les utiliser de manière efficace tout en diminuant le coût cognitif (utilisation de la comptine mentale, utilisation du pointage visuel, maîtrise de l'abstraction, de la cardinalité et organisation fonctionnelle du pointage). En effet, on peut noter que certains ont encore des difficultés à utiliser les principes de dénombrement dans toutes les situations (Van Nieuwenhoven, 1999) mais ils sont pour la plupart acquis en GSM ((Van Nieuwenhoven, 1996).

3.2.2 Fluence Arithmétique et Stratégies

L'analyse des grilles a permis de faire émerger des repères cliniques utiles pour l'analyse de l'utilisation par l'enfant des différentes stratégies et procédures pour résoudre

les calculs simples issus de l'épreuve de Fluence Arithmétique et Stratégies. Ces différents repères sont regroupés dans le tableau 20.

Tableau 20. Repères cliniques Fluence Arithmétique et Stratégies

| Item de la grille | Début GSM | Début CP | Début CE1 | Début CE2 |
|--|--|--|---|---|
| Fluence Arithmétique et Stratégies | | | | |
| Addition Stratégie | Utilisation d'une stratégie verbale et digitale Début de l'utilisation d'une stratégie mentale | Utilisation d'une stratégie digitale Utilisation d'une stratégie mentale majoritairement | Utilisation d'une stratégie mentale majoritairement Utilisation d'une stratégie digitale et verbale | Utilisation majoritaire d'une stratégie mentale |
| Addition Procédure | Utilisation de la procédure min et premier Utilisation majoritaire d'une procédure non observable | Utilisation de la procédure min premier Utilisation de la procédure tout Utilisation majoritaire d'une procédure non observable | Utilisation de la procédure min premier Utilisation de la procédure tout Utilisation majoritaire d'une procédure non observable | Utilisation de la procédure min premier Utilisation de la procédure tout Utilisation majoritaire d'une procédure non observable |
| Soustraction Stratégie | Stratégie non observable/ mentale | Utilisation d'une stratégie digitale et d'une stratégie mentale/non observable | Utilisation d'une stratégie digitale et d'une stratégie mentale/non observable | Utilisation d'une stratégie digitale et d'une stratégie mentale/non observable |

| Item de la grille | Début GSM | Début CP | Début CE1 | Début CE2 |
|----------------------------|----------------------------------|---|--|---|
| Fluence | | | | |
| Arithmétique et Stratégies | | | | |
| Soustraction Procédure | Procédure non observable/mentale | Utilisation d'une procédure descendante majoritairement et d'une procédure ascendante | Utilisation d'une procédure descendante | Utilisation d'une procédure descendante et d'une procédure ascendante |
| | | Utilisation d'une procédure non observable/mentale | Utilisation d'une procédure non observable/mentale | Utilisation d'une procédure non observable/mentale |

Les différents repères établis permettent de montrer une différence de compétences entre la GSM et le CE2. Nous pouvons noter que leurs compétences s'améliorent et qu'ils mettent en place des stratégies de résolution rapide pour les soustractions. Pour les GSM, ils sont en difficulté pour répondre aux différents items pour la soustraction, en accord avec la littérature (Barrouillet et al., 2007).

3.3 Perspectives de recherche

La présente étude a permis de valider, en partie, les six épreuves contenues dans Examath 5-8 ; il existe cependant d'autres propriétés psychométriques attendues d'un test diagnostique qui n'ont pas pu être étudiées dans le cadre de cette étude. L'expérimentation pour la validité de critère prédictive et la fidélité temporelle n'ont pas été réalisables dans le cadre de cette étude, la validité de surface et l'analyse de sensibilité/spécificité doivent être traitées ultérieurement car nécessitent respectivement la version finalisée de la batterie et les données de la phase d'étalonnage). L'étude de ces propriétés psychométriques sera insérée dans le manuel disponible avec la batterie permettant ainsi aux utilisateurs de s'assurer de la pertinence de l'utilisation de cet outil de diagnostic dans le cadre d'une prise en soins orthophoniques.

CONCLUSION

Le but de ce mémoire était la pré-validation d'épreuves contenues dans la batterie Examath 5-8 en analysant certaines propriétés psychométriques et en standardisant les grilles d'analyse clinique des stratégies disponible pour les épreuves Dénombrement Production ainsi que pour l'épreuve Fluence Arithmétique et Stratégies. Nous avons fait passer six épreuves issues d'Examath 5-8 à des enfants composant un groupe CTRL et un groupe AR-TSAM. La présente étude a permis de valider certaines hypothèses sur les propriétés psychométriques de l'outil mais d'autres n'ont pas pu l'être du fait de limites notamment dans le recrutement de la population. Cette étude démontre que les grilles d'analyse peuvent être utilisées lors de la cotation instantanée en direct par les orthophonistes afin de permettre une analyse qualitative fiable. Il est ensuite possible pour les orthophonistes de comparer les résultats obtenus aux différents repères cliniques identifiés dans la présente étude. Les différentes épreuves regroupées dans Examath 5-8 permettront d'objectiver lors d'un bilan orthophonique réalisé dans le cadre d'une plainte portant sur les mathématiques des difficultés chez des enfants scolarisés en GSM, CP et CE1, au regard de modèles théoriques récents.

BIBLIOGRAPHIE

- Alibali, M. W., et DiRusso, A. A. (1999). The function of gesture in learning to count: More than keeping track. *Cognitive Development, 14*(1), 37-56
[https://doi.org/10.1016/S0885-2014\(99\)80017-3](https://doi.org/10.1016/S0885-2014(99)80017-3)
- American Psychiatric Association. (2013). Neurodevelopmental disorders. Dans *Diagnostic and statistical manual of mental disorders* (5th ed.). American Psychiatric Publishing
<https://doi.org/10.1176/appi.books.9780890425596.dsm01>
- American Psychiatric Association, Crocq, M.-A., Guelfi, J.-D., Boyer, P., Pull, C.-B., Pull, M.-C. (2015). Troubles neurodéveloppementaux. Dans *Manuel diagnostique et statistique des troubles mentaux* (5ème ed.). Elsevier Masson
- Baddeley, A. D., et Hitch, G. (1974). Working Memory. *Psychology of Learning and Motivation, 8*, 47-89. [https://doi.org/10.1016/S0079-7421\(08\)60452-1](https://doi.org/10.1016/S0079-7421(08)60452-1)
- Baroody, A. J., et Ginsburg, H. P. (1986). The relationship between initial meaningful and mechanical knowledge of arithmetic. Dans J. Hiebert (ed.), *Conceptual and Procedural Knowledge : The Case of Mathematics* (pp. 75-112). Lawrence Erlbaum Associates. <https://doi.org/10.4324/9780203063538>
- Barrocas, R., Roesch, S., Gawrilow, C., et Moeller, K. (2020). Putting a Finger on Numerical Development – Reviewing the Contributions of Kindergarten Finger Gnosis and Fine Motor Skills to Numerical Abilities. *Frontiers in Psychology, 11*, 1-18
<https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.01012>
- Barrouillet, P., et Camos, V. (2003). Savoirs, savoir-faire arithmétiques et leurs déficiences. Dans M. Kail, M. Fayol, *Les sciences cognitives et l'école* (pp. 305-351). Presses Universitaires de France. <https://www.cairn.info/les-sciences-cognitives-et-l-ecole--9782130534976-page-305.htm>

- 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>
- Bertrand, R., et Camos, V. (2011). Impact des troubles langagiers et visuo-moteurs sur les capacités numériques : Emergence de patterns distincts au TEDI-MATH. *Développements*, 7(1), 5-18. <https://www.cairn.info/revue-developpements-2011-1-page-5.htm>
- Booth, J. L., et Siegler, R. S. (2008). Numerical magnitude representations influence arithmetic learning. *Child development*, 79(4), 1016-1031. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8624.2008.01173.x>
- Briars, D., et Siegler, R.S. (1984). A feature analysis of preschooler's counting knowledge. *Developmental Psychology*, 20(4), 607-618. <https://doi.org/10.1037/0012-1649.20.4.607>
- Bull, R., et Scerif, G. (2001). Executive functioning as a predictor of children's mathematics ability: inhibition, switching, and working memory. *Developmental Neuropsychology*, 19(3), 273-293. https://doi.org/10.1207/S15326942DN1903_3
- Butterworth, B. (2005). The development of arithmetical abilities. *Journal of Child Psychology and Psychiatry, and Allied Disciplines*, 46(1), 3-18. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7610.2004.00374.x>

- Camos, V. (2003). Counting strategies from 5 years to adulthood: Adaptation to structural features. *European Journal of Psychology of Education, 18*(3), 251-265.
<https://doi.org/10.1007/BF03173247>
- Campbell, J.I. et Xue, Q. (2001). Cognitive arithmetic across culture. *Journal of experimental psychology: General, 130* (2), 299-315. <https://doi.org/10.1037/0096-3445.130.2.299>
- 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>
- Carr, M., Steiner, H., Kyser, B., et Biddlecomb, B. (2008). A comparison of predictors of early emerging gender differences in mathematics competency. *Learning and Individual Differences, 18*(1), 61-75. <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2007.04.005>
- Carr, M., et Alexeev, N. (2011). Fluency, accuracy, and gender predict developmental trajectories of arithmetic strategies. *Journal of Educational Psychology, 103*(3), 617-631. <https://doi.org/10.1037/a0023864>
- 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>
- Crahay, M., Verschaffel, L., De Corte, E., et Grégoire, J. (2008). Introduction. Dans *Enseignement et apprentissage des mathématiques* (pp. 11-23). De Boeck Supérieur.
<https://www.cairn.info/enseignement-et-apprentissage-des-mathematiques--9782804158675-page-11.htm>
- De Corte, E., et Verschaffel, L. (1987). The effect of semantic structure on first graders' strategies for solving addition and subtraction word problems. *Journal for Research in Mathematics Education, 18*(5), 363-381. <https://doi.org/10.2307/749085>

De Vos, T. (1992). Tempo Test Rekenen (TTR). Berkhout

Dehaene, S. (2008). *Les fondements cognitifs de l'arithmétique élémentaire*. Collège de France. https://www.college-de-france.fr/media/stanislas-dehaene/UPL22033_dehaene_res0708.pdf

Deloche, G., et Seron, X. (1987). Numerical transcoding : A general production model. Dans *Mathematical disabilities : A cognitive neuropsychological perspective* (pp. 137-170). Lawrence Erlbaum Associates, Inc.

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>

Dupont, J. (2019). *Le rôle du comptage sur les doigts dans le développement des habiletés arithmétiques* [Thèse de doctorat, Université de Genève] <https://archive-ouverte.unige.ch/unige:120899>

Fayol, M. (2008). L'acquisition de l'arithmétique élémentaire. *médecine/sciences*, 24(1), 87-90. <https://doi.org/10.1051/medsci/200824187>

Fayol, M. (2018). *L'acquisition du nombre*. Presses Universitaires de France

Fuson, K. C., Richards, J., et Briars, D. J. (1982). The Acquisition and Elaboration of the Number Word Sequence. Dans C. J. Brainerd (Éd.), *Children's Logical and Mathematical Cognition : Progress in Cognitive Development Research* (pp. 33-92). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4613-9466-2_2

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)

Gavens, N., et Camos, V. (2006). La mémoire de travail : Une place centrale dans les apprentissages scolaires fondamentaux. Dans E. Gentaz, P. Dessus (ed.), *Apprentissages et enseignement : Sciences cognitive et éducation* (pp. 91-106). Dunod.

<https://www.unige.ch/fapse/logopedie/files/9214/1285/1086/article2-camos.pdf>

Geary, D. C., et Burlingham-Dubree, M. (1989). External validation of the strategy choice model for addition. *Journal of Experimental Child Psychology*, 47(2), 175-192.

[https://doi.org/10.1016/0022-0965\(89\)90028-3](https://doi.org/10.1016/0022-0965(89)90028-3)

Geary, D. (1994). Developing Arithmetical skills. Dans *Children's Mathematical Development : Research and Practical Applications*. American Psychology Association. (pp. 37-94). <https://doi.org/10.1037/10163-000>

Gelman, R., et Gallistel, C. R. (1978). *The child's understanding of number*. Harvard University Press.

Gelman, R., et Meck, E. (1983). Preschoolers' counting : Principles before skill. *Cognition*, 13(3), 343-359. [https://doi.org/10.1016/0010-0277\(83\)90014-8](https://doi.org/10.1016/0010-0277(83)90014-8)

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>

Gray, S. A., et Reeve, R. A. (2014). Preschoolers' dot enumeration abilities are markers of their arithmetic competence. *Public Library of Science One*, 9(4), e94428. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0094428>

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>

- Grégoire, J., et Laveault, D. (2014). *Introduction aux théories des tests en psychologie et en sciences de l'éducation* (3^{ème} ed.). De Boeck supérieur.
- Habermann, S., Donlan, C., Göbel, S. M., et Hulme, C. (2020). The critical role of Arabic numeral knowledge as a longitudinal predictor of arithmetic development. *Journal of Experimental Child Psychology*, 193. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2019.104794>
- Huttenlocher, J., Jordan, N. C., et Levine, S. C. (1994). A mental model for early arithmetic. *Journal of Experimental Psychology : General*, 123(3), 284-296. <https://doi.org/10.1037//0096-3445.123.3.284>
- INSEE, (2017). *Evolution et structure de la population en 2017*. <https://www.insee.fr/fr/statistiques/2011101?geo=METRO-1>
- Jordan, N. C., Kaplan, D., Locuniak, M. N., et Ramineni, C. (2007). Predicting First-Grade Math Achievement from Developmental Number Sense Trajectories. *Learning Disabilities Research and Practice*, 22(1), 36-46. <https://doi.org/10.1111/j.1540-5826.2007.00229.x>
- Kaufmann, L., et Von Aster, M. (2012). The diagnosis and management of dyscalculia. *Deutsches Arzteblatt International*, 109(45), 767-777. <https://doi.org/10.3238/arztebl.2012.0767>
- Lafay, A., Saint-Pierre, M.-C. et Macoir J. (2014). L'évaluation des habiletés mathématiques de l'enfant : inventaire critique des outils disponibles. *Glossa*, 116, 33-58. <https://www.glossa.fr/index.php/glossa/article/view/599>
- Lafay, A., et Helloin, M.-C. (2016). Examath 8-15, batterie informatisée d'examen des habiletés mathématiques. HappyNeuron.

- Lafay, A., Macoir, J., et St-Pierre, M.-C. (2018a). Impairment of Arabic- and Spoken-Number Processing in Children With Mathematical Learning Disability. *Journal of Numerical Cognition*, 3(3), 620-641. <https://doi.org/10.5964/jnc.v3i3.123>
- Lafay, A., Archambault, S., Vigneron, M., et Nosworthy, N. (2018b). 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.glossa.fr/index.php/glossa/article/view/620>
- 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_1129.pdf
- Lafay, A., Osana, H. P., Michaud, S., et Nosworthy, N. (2020). Dépistage des difficultés mathématiques : validation et normalisation franco-québécoise 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 Helloin, M.-C. (en cours de développement). Examath 5-8, batterie informatisée d'examen des habiletés mathématiques. HappyNeuron.
- Larousse. (2020). *Arithmétique*. Dans *Le dictionnaire de français Larousse*.
- 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.
- Marin-Curtoud, S., Rousseau, T., et Gatignol, P. (2010). Etat des lieux sur « le test »
Qu'appelle-t-on un test ? Qu'est-ce qu'évaluer ? Du test au testeur... Comment franchir le pas ? *L'orthophoniste*, 296, 19-26.

- McCrink, K., et Wynn, K. (2004). Large-number addition and subtraction by 9-month-old infants. *Psychological science*, 15(11), 776-781. <https://doi.org/10.1111/j.0956-7976.2004.00755.x>
- Noël, M.-P., et Grégoire, J. (2015). TEDI-MATH GRANDS - Test diagnostique des compétences de base en mathématiques. Pearson.
- 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. *Public Library of Science*, 8(7), e67918. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0067918>
- Saxe, G. B., et Kaplan, R. (1981). Gesture in early counting: A developmental analysis. *Perceptual and Motor Skills*, 53(3), 851-854. <https://doi.org/10.2466/pms.1981.53.3.851>
- Shrager, J., et Siegler, R. S. (1998). SCADS : A Model of Children's Strategy Choices and Strategy Discoveries. *Psychological Science*, 9(5), 405-410. <https://doi.org/10.1111/1467-9280.00076>
- Siegler, R., et Shrager, J. (1984). Strategy choices in addition and subtraction: How do children know what to do? Dans C. Sophian, *Origins of Cognitive Skills* (pp229-292). 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—Approche Neuropsychologique des Apprentissages de l'Enfant*, 156, 1-7. https://www.researchgate.net/profile/Catherine-Thevenot/publication/332567758_La_resolution_d%27additions_simples_par_proce

dures_de_comptage_automatisees/links/5cc2eca44585156cd7b21b16/La-resolution-dadditions-simples-par-procedures-de-comptage-automatisees.pdf

UNCAM. (2005). *Nomenclature Générale des Actes Professionnels (NGAP)*.

https://www.ameli.fr/sites/default/files/Documents/655198/document/ngap_fevrier_2020_assurance_maladie.pdf

Van de Rijt, B. A. M., et Van Luit, J. E. H. (1998). Effectiveness of the Additional Early Mathematics program for teaching children early mathematics. *Instructional Science*, 26(5), 337-358. <https://doi.org/10.1023/A:1003180411209>

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. (1999). *Le comptage vers la construction du nombre*.

De Boeck Université.

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.

Vasilyeva, M., Laski, E.V., et Shen, C. (2015). Computational Fluency and Strategy Choice

Predict Individual and Cross-National Differences in Complex Arithmetic.

Developmental psychology, 51(10), 1489-1500. <https://doi.org/10.1037/dev0000045>

Wilson, A. J., et Dehaene, S. (2007). Number sense and developmental dyscalculia. Dans D.

Coch, G. Dawson, et K. W Fischer (Eds.), *Human behavior, learning, and the*

developing brain: Atypical development (pp. 212–238). The Guilford Press.

https://www.unicog.org/publications/WilsonDehaene_inPress_Final_HBDB.pdf

Wynn, K. (1992). Addition and subtraction by human Infants. *Nature*, 358, 749-750.

<https://doi.org/10.1038/358749a0>

Xenidou-Dervou, I., Van Luit, J. E. H., Kroesbergen, E. H., Friso-van den Bos, I., Jonkman, L. M., Van der Schoot, M., et Van Lieshout, E. C. D. M. (2018). Cognitive predictors of children's development in mathematics achievement: A latent growth modeling approach. *Developmental Science*, 21(6), 1-14. <https://doi.org/10.1111/desc.12671>

ANNEXES

Annexe 1. Décharge sanitaire de la COVID-19

Je soussigné responsable légal de atteste par la présente être conscient des risques sanitaires liés à la COVID 19 que j'encoure en recevantà mon domicile.

Date :

Lieu :

Signature du responsable légal précédé de la mention lu et approuvé

Annexe 2. Autorisation parentale pour la captation vidéo

Je soussigné(e)

.....

Responsable légal de

.....

Demeurant à

.....

autorise

à capter des fichiers sonores et vidéos nécessaires à la pré-validation de deux modules (Arithmétique et Dénombrement) contenus dans la batterie d'évaluation des troubles de la cognition mathématique EXAMATH 5-8.

En conséquence, j'autorise l'éditeur et le capteur à utiliser ses vidéos et ses fichiers sonores pour l'étalonnage de la batterie d'évaluation des troubles de la cognition mathématique EXAMATH 5-8. Ces données serviront à une analyse de la passation et des données issues de celle-ci.

Le bénéficiaire de l'autorisation s'interdit expressément de procéder à une exploitation des vidéos et fichiers sonores susceptibles de porter atteinte à ma vie privée, ni d'utiliser les vidéos et les fichiers sonores de la présente dans tout support à caractère pornographique, raciste, xénophobe ou tout autre exploitation préjudiciable. Le contenu des captations ne sera pas diffusé.

En conséquence de quoi, je reconnais être entièrement informé des droits de mon enfant et je ne pourrai prétendre à aucune rémunération pour l'exploitation des droits visés aux présentes. Je garantis que mon enfant n'est pas lié par un contrat exclusif relatif à l'utilisation de son image.

Je suis informé(e) des droits de mon enfant et ne pourrai prétendre à aucune rémunération pour leur exploitation.

L'autorisation est valable un an après la signature de celle-ci.

Fait à, le, en deux exemplaires et

de bonne foi

Signature du capteur

Signature du responsable légal de la
personne qui est filmée

Annexe 3. Grille d'analyse des principes de dénombrement pour l'épreuve Dénombrement Production - Combien ?

Examath 5-8 - Cahier de passation
M.-C. Helloin - A. Lafay - 2021



épreuve chronométrée

AA arrêt automatique

MODULE : Dénombrement

Dénombrement : production **AA**

Combien ?

| | R é p o n s e | Comptine | | Correspondance terme à terme | | Cardinalité | Abstrac tion De la propriété physique des objets | Organisation |
|----|---------------------------------|---|---|--|--|--|--|--|
| | | Stratégie | Principe <i>(non observable, si stratégie mentale)</i> | Stratégie | Principe <i>(non observable si stratégie mentale)</i> | | | |
| 4 | | Orale Chuchotée Mentale / non observable | Efficient Non efficient Non observable | Pointage digital Pointage par tête Pointage visuel / non observable | Efficient Non efficient | Efficient Non efficient Non Observable | NSAP | Organisé Non organisé Non Observable |
| 6 | | Orale Chuchotée Mentale / non observable | Efficient Non efficient Non observable | Pointage digital Pointage par tête Pointage visuel / non observable | Efficient Non efficient | Efficient Non efficient Non Observable | NSAP | Organisé Non organisé Non Observable |
| 8 | | Orale Chuchotée Mentale / non observable | Efficient Non efficient Non observable | Pointage digital Pointage par tête Pointage visuel / non observable | Efficient Non efficient | Efficient Non efficient Non Observable | NSAP | Organisé Non organisé Non Observable |
| 9 | | Orale chuchotée mentale / non observable | Efficient Non efficient Non observable | Pointage digital Pointage par tête Pointage visuel / non observable | Efficient Non efficient | Efficient Non efficient Non Observable | | Organisé Non organisé Non Observable |
| 11 | | Orale Chuchotée Mentale / non observable | Efficient Non efficient Non observable | Pointage digital Pointage par tête Pointage visuel / non observable | Efficient Non efficient | Efficient Non efficient Non Observable | | Organisé Non organisé Non Observable |
| 13 | | Orale Chuchotée Mentale / non observable | Efficient Non efficient Non observable | Pointage digital Pointage par tête Pointage visuel / non observable | Efficient Non efficient | Efficient Non efficient Non Observable | | Organisé Non organisé Non Observable |

NB. NSAP = Ne s'applique pas.

Annexe 4. Grille d'analyse des principes de dénombrement pour l'épreuve Dénombrement
Production en mouvement

Examath 5-8 - Cahier de passation
M.-C. Helloin - A. Lafay - 2021



épreuve chronométrée

AA arrêt automatique

Mouvement

| | Réponse | Stratégie : pointage | Stratégie : comptine numérique | Stratégie : rétention du nombre sur les doigts | Commentaires |
|----|---------|--|--|--|--------------|
| 3 | | <input type="checkbox"/> visuel <input type="checkbox"/> tête <input type="checkbox"/> digital | <input type="checkbox"/> orale <input type="checkbox"/> chuchotée <input type="checkbox"/> mentale | <input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non | |
| 5 | | <input type="checkbox"/> visuel <input type="checkbox"/> tête <input type="checkbox"/> digital | <input type="checkbox"/> orale <input type="checkbox"/> chuchotée <input type="checkbox"/> mentale | <input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non | |
| 6 | | <input type="checkbox"/> visuel <input type="checkbox"/> tête <input type="checkbox"/> digital | <input type="checkbox"/> orale <input type="checkbox"/> chuchotée <input type="checkbox"/> mentale | <input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non | |
| 7 | | <input type="checkbox"/> visuel <input type="checkbox"/> tête <input type="checkbox"/> digital | <input type="checkbox"/> orale <input type="checkbox"/> chuchotée <input type="checkbox"/> mentale | <input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non | |
| 8 | | <input type="checkbox"/> visuel <input type="checkbox"/> tête <input type="checkbox"/> digital | <input type="checkbox"/> orale <input type="checkbox"/> chuchotée <input type="checkbox"/> mentale | <input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non | |
| 11 | | <input type="checkbox"/> visuel <input type="checkbox"/> tête <input type="checkbox"/> digital | <input type="checkbox"/> orale <input type="checkbox"/> chuchotée <input type="checkbox"/> mentale | <input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non | |

Annexe 5. Grille d'analyse des stratégies et procédures pour l'épreuve Fluence Arithmétique et Stratégies Addition

Examath 5-8 - Cahier de passation
M.-C. Helloin - A. Lafay - 2021



épreuve chronométrée

AA arrêt automatique

MODULE : Arithmétique

Fluence arithmétique et stratégies AA

Addition

| Item | Réponse | Stratégie | Procédure si Dig ou V |
|------|---------|-----------------|-----------------------|
| 1+1 | 2 | * Den Dig V Dec | Tout Premier Min |
| 2+2 | 4 | * Den Dig V Dec | Tout Premier Min |
| 2+1 | 3 | * Den Dig V Dec | Tout Premier Min |
| 3+2 | 5 | * Den Dig V Dec | Tout Premier Min |
| 1+3 | 4 | * Den Dig V Dec | Tout Premier Min |
| 2+3 | 5 | * Den Dig V Dec | Tout Premier Min |
| 1+2 | 3 | * Den Dig V Dec | Tout Premier Min |
| 4+4 | 8 | * Den Dig V Dec | Tout Premier Min |
| 7+2 | 9 | * Den Dig V Dec | Tout Premier Min |
| 4+3 | 7 | * Den Dig V Dec | Tout Premier Min |
| 6+3 | 9 | * Den Dig V Dec | Tout Premier Min |
| 5+2 | 7 | * Den Dig V Dec | Tout Premier Min |
| 3+3 | 6 | * Den Dig V Dec | Tout Premier Min |
| 4+2 | 6 | * Den Dig V Dec | Tout Premier Min |
| 5+3 | 8 | * Den Dig V Dec | Tout Premier Min |
| 2+4 | 6 | * Den Dig V Dec | Tout Premier Min |
| 3+6 | 9 | * Den Dig V Dec | Tout Premier Min |
| 4+5 | 9 | * Den Dig V Dec | Tout Premier Min |
| 3+4 | 7 | * Den Dig V Dec | Tout Premier Min |
| 3+5 | 8 | * Den Dig V Dec | Tout Premier Min |
| 5+5 | 10 | * Den Dig V Dec | Tout Premier Min |
| 8+8 | 16 | * Den Dig V Dec | Tout Premier Min |
| 6+5 | 11 | * Den Dig V Dec | Tout Premier Min |
| 7+4 | 11 | * Den Dig V Dec | Tout Premier Min |
| 9+4 | 13 | * Den Dig V Dec | Tout Premier Min |
| 8+7 | 15 | * Den Dig V Dec | Tout Premier Min |
| 9+9 | 18 | * Den Dig V Dec | Tout Premier Min |
| 4+9 | 13 | * Den Dig V Dec | Tout Premier Min |
| 7+7 | 14 | * Den Dig V Dec | Tout Premier Min |
| 8+4 | 12 | * Den Dig V Dec | Tout Premier Min |

Stratégies :

* : pas de stratégies externes observables
Dec : décomposition des nombres
Dig : utilisation des doigts
V : utilisation du comptage verbal
Den : dénombrement (objets, doigts)

Procédures si stratégie digitale ou verbale :

Tout : compte l'ensemble des deux opérandes
Premier : compte à partir du premier opérande
Min : garde le plus grand opérande en mémoire et compte à partir de celui-ci

NB. Dans le programme, les cases à cocher « procédures » n'apparaissent que si stratégie digitales ou verbales ont été cochées.

Annexe 6. Grille d'analyse des stratégies et procédures pour l'épreuve Fluence Arithmétique et Stratégies Soustraction

Examath 5-8 - Cahier de passation
M.-C. Helloin - A. Lafay - 2021



épreuve chronométrée

AA arrêt automatique

Soustraction

| Item | Réponse | Stratégie | Procédure si Dig ou V |
|------|---------|-----------------|-----------------------|
| 2-1 | 1 | * Den Dig V Dec | Asc Desc |
| 4-2 | 2 | * Den Dig V Dec | Asc Desc |
| 3-2 | 1 | * Den Dig V Dec | Asc Desc |
| 5-3 | 2 | * Den Dig V Dec | Asc Desc |
| 4-1 | 3 | * Den Dig V Dec | Asc Desc |
| 5-2 | 3 | * Den Dig V Dec | Asc Desc |
| 5-1 | 4 | * Den Dig V Dec | Asc Desc |
| 4-3 | 1 | * Den Dig V Dec | Asc Desc |
| 3-1 | 2 | * Den Dig V Dec | Asc Desc |
| 5-4 | 1 | * Den Dig V Dec | Asc Desc |
| 6-3 | 3 | * Den Dig V Dec | Asc Desc |
| 8-2 | 6 | * Den Dig V Dec | Asc Desc |
| 6-2 | 4 | * Den Dig V Dec | Asc Desc |
| 7-4 | 3 | * Den Dig V Dec | Asc Desc |
| 9-4 | 5 | * Den Dig V Dec | Asc Desc |
| 8-5 | 3 | * Den Dig V Dec | Asc Desc |
| 6-1 | 5 | * Den Dig V Dec | Asc Desc |
| 9-7 | 2 | * Den Dig V Dec | Asc Desc |
| 7-1 | 6 | * Den Dig V Dec | Asc Desc |
| 6-4 | 2 | * Den Dig V Dec | Asc Desc |
| 8-4 | 4 | * Den Dig V Dec | Asc Desc |
| 9-5 | 4 | * Den Dig V Dec | Asc Desc |
| 7-5 | 2 | * Den Dig V Dec | Asc Desc |
| 7-3 | 4 | * Den Dig V Dec | Asc Desc |
| 9-2 | 7 | * Den Dig V Dec | Asc Desc |
| 10-7 | 3 | * Den Dig V Dec | Asc Desc |
| 10-5 | 5 | * Den Dig V Dec | Asc Desc |
| 12-3 | 9 | * Den Dig V Dec | Asc Desc |
| 13-6 | 7 | * Den Dig V Dec | Asc Desc |
| 11-9 | 2 | * Den Dig V Dec | Asc Desc |

Stratégies :

* : pas de stratégies externes observables
Dec : décomposition des nombres
Dig : utilisation des doigts
V : utilisation du comptage verbal
Den : dénombrement (objets, doigts)

Procédures si stratégie digitale ou verbale :

Asc : part de l'opérande à soustraire pour se rendre à l'opérande le plus grand
Desc : part de l'opérande le plus grand pour aller à l'opérande à soustraire

NB. Dans le programme, les cases à cocher "procédures" n'apparaissent que si stratégie digitales ou verbales ont été cochées.

Compléments à 10 AA

Commentaires : _____



Aide* à la cotation pour l'épreuve Dénombrement Production

Pour l'épreuve Dénombrement Production compris dans le module Dénombrement, une grille d'analyse qualitative du dénombrement doit être remplie lors de la phase d'étalonnage.

Cette grille est disponible dans le Cahier de passation. Vous pouvez donc la remplir au fur et à mesure de la passation.

À la fin de l'épreuve, il faut reporter ces données manuellement dans la grille affichée à l'écran immédiatement après la passation avec l'enfant (la version finalisée du programme Examath 5-8 offrira la possibilité d'une cotation en différée).

Afin de vous aider à analyser le plus finement possible les différents principes, vous trouverez ci-dessous une explication et des liens vers des vidéos pour illustrer certains principes.

**Nous remercions Quitterie Lautier-Chevillard, étudiante en orthophonie à l'université de Rouen pour sa contribution à la réalisation de ce guide ainsi que pour les vidéos de démonstration, effectuées dans le cadre de son mémoire de fin d'étude.*

Dénombrement Production – Combien ?

- **Principe d'ordre stable (comptine)** : l'ordre de la chaîne numérique est immuable. L'enfant peut énoncer la comptine numérique verbalement, mentalement ou en chuchotant. Ce principe est considéré comme efficient dès lors que la chaîne numérique est conventionnelle.

https://drive.google.com/file/d/1DEA8DofCZM-DLVL2IrtP_WG08XiSTqSO/view?usp=sharing

- **Principe de correspondance terme à terme** : chaque objet de la collection correspond à un terme de la chaîne numérique. L'enfant peut utiliser un pointage digital, avec la tête ou visuel (non observable). Ce principe est considéré comme efficient quand l'enfant ne commet pas d'erreurs de pointage en correspondance parfaite avec les mots-nombres énoncés.

https://drive.google.com/file/d/1iu0_AsFjEM0JP4mjw290HEvcInPcZGeD/view?usp=sharing

<https://drive.google.com/file/d/1Re7nvd18h53fJBt26hMrQ1KkksxGEdek/view?usp=sharing>

https://drive.google.com/file/d/1xxxf_YmT96u1uXsqJgo8y6As34agsuWY/view?usp=sharing

https://drive.google.com/file/d/1jxozEt2_xEfl8eXaXSAJfByBwgC6Z0NK/view?usp=sharing

- **Principe de cardinalité** : le dernier mot-nombre énoncé donne le nombre d'objets dans la collection. Il peut être difficile d'observer l'intégrité de ce principe dans une épreuve de dénombrement Combien, on peut toutefois repérer facilement l'absence d'accès à ce principe.

Quand l'enfant utilise la comptine numérique orale ou mentale puis peut énoncer le seul cardinal, en réponse à la question « Combien ? », le principe est a priori efficient. (Cependant pour un petit nombre jusqu'à 4, lorsqu'on n'observe pas de pointage et si la réponse de l'enfant est très rapide, il sera difficile de dissocier un subitizing de l'accès au principe de cardinalité).

Le principe n'est pas maîtrisé lorsque l'enfant après avoir dénombré les objets en comptant oralement ou mentalement 1, 2, 3, 4, 5, 6 ne peut pas donner le cardinal 6 et revient systématiquement à la comptine, quand on lui (re)demande combien il y en a et énonce de nouveau 1, 2, 3, 4, 5, 6 sans pouvoir indiquer « 6 ».

Lors de la passation, si l'enfant énumère la comptine numérique oralement, il est donc important de lui redemander « combien d'objets » pour voir s'il peut donner le cardinal et coter l'item comme

réussi.

https://drive.google.com/file/d/1XiFtn1QZ4rKvUOr33wGkw5h-LcoKDmX_/view?usp=sharing

<https://drive.google.com/file/d/1H96viDi49GKEjHsHEOs0tJFuqeS1frcg/view?usp=sharing>

- **Principe d'abstraction** : une collection peut être constituée d'objets différents. L'enfant doit alors faire abstraction des propriétés physiques (type d'objet, taille, couleurs etc.) des objets qu'il compte et concevoir que tous les objets dénombrés font partie du même ensemble. Ce principe s'applique aux items 4, 5 et 6 pour lesquels la case à cocher est active. Ce principe n'est pas efficient si l'enfant n'est pas en mesure de dénombrer ensemble tous les éléments différents de la collection.

https://drive.google.com/file/d/1PxtCUPgf-S1ku1kmLiK7_bFa-uV_HD/view?usp=sharing

- **Principe de non-pertinence de l'ordre** : l'ordre de dénombrement n'a pas d'impact. Il est impossible d'observer l'intégrité de ce principe dans l'épreuve de dénombrement Combien telle qu'elle est proposée. En revanche, on pourra l'observer dans l'épreuve Dénombrement Compréhension qui comprend 2 items dédiés.

- **Organisation du comptage**. Noter dans la colonne si l'enfant a une stratégie d'organisation du comptage.

https://drive.google.com/file/d/1p0Kvt8BLQkrMC_u2g5j-0Fi0pc63dV6d/view?usp=sharing

Dénombrement Production – En mouvement

- **Pointage** : il peut être digital, avec la tête ou visuel (non facilement observable).
- **Comptine numérique** : elle peut être orale, chuchotée ou mentale (non observable).
- **Rétention sur les doigts** : l'enfant s'aide de ses doigts pour maintenir en mémoire le nombre d'éléments déjà dénombrés.
- **Autres observations** : vous pouvez ajouter des commentaires qualitatifs qui vous aideront pour une prise en soins ultérieure si besoin.

Aide à la cotation pour l'épreuve Fluence arithmétique et Stratégies

Pour l'épreuve Fluence arithmétique et Stratégies compris dans le module Arithmétique, une grille d'analyse qualitative des stratégies et des procédures utilisées par l'enfant doit être remplie lors de la phase d'étalonnage.

Cette grille est disponible dans le Cahier de passation. Vous pouvez donc la remplir au fur et à mesure de la passation.

À la fin de l'épreuve, il faut reporter ces données manuellement dans la grille affichée à l'écran immédiatement après la passation avec l'enfant (la version finalisée du programme Examath 5-8 offrira aussi la possibilité d'une cotation en différée).

Afin de vous aider à analyser le plus finement possible les différents principes, vous trouverez ci-dessous une explication et des liens vers des vidéos pour illustrer certains principes.

Additions

* : **pas de stratégies externes observables**. L'enfant n'utilise pas de stratégie externe pour résoudre l'opération. Il est possible qu'il n'utilise aucune stratégie, qu'il utilise la stratégie de récupération mentale à long terme ou une stratégie de calcul mentale extrêmement rapide, ou qu'il utilise les stratégies mentalement décrites ci-dessous.

Den : dénombrement. L'enfant dénombre des objets ou ses doigts pour répondre à l'opération. Par exemple, pour l'opération $2 + 4$, il lève deux doigts de sa main gauche et 4 doigts de sa main droite, et dénombre 1, 2, 3, 4, 5, 6, à savoir chacun des doigts. Il peut dénombrer avec un doigt de l'autre main ou en posant chaque doigt à dénombrer un à un sur son menton ou sur son bras par exemple.

<https://drive.google.com/file/d/1mg00YLkTG4Uc7BecaXGPY8uMbjhuaKZj/view?usp=sharing>

Dig : digital. L'enfant utilise ses doigts pour répondre à l'opération. Il ne dénombre pas ses doigts mais les utilise pour effectuer une procédure de calcul. Si l'enfant utilise la stratégie digitale alors il faut spécifier la procédure qu'il met en place :

- **Procédure « tout »** (souvent aussi appelée « all ») : compter l'ensemble des deux opérandes ; compter 1, 2, 3, 4, 5, 6 ou même 1, 2, 3, 4 puis 1, 2 puis recompter 1, 2, 3, 4, 5, 6 pour résoudre l'opération $2 + 4$.

https://drive.google.com/file/d/1XKSFn1uTR6xcg_zDsOKzfYJhnIknPIFb/view?usp=sharing

- **Procédure « premier »** (souvent aussi appelée « max ») : garder le premier opérande en mémoire (ici, 2) et compter à partir de celui-ci, c'est-à-dire compter 2, 3, 4, 5, 6 pour résoudre l'opération $2 + 4$.

<https://drive.google.com/file/d/1mmWLnymW3xdKfxiUI-5S7eQpSUH8TkY3/view?usp=sharing>

- **Procédure « min »** : garder le plus grand opérande en mémoire (ici, 4) et compter à partir de celui-ci, c'est-à-dire compter 4, 5, 6 pour résoudre l'opération $2 + 4$.

<https://drive.google.com/file/d/1gpWk4lkxePLWNptXrFV4TjWERYoNmy3/view?usp=sharing>

V : verbal. L'enfant utilise le comptage verbal pour répondre à l'opération. Si l'enfant utilise la stratégie verbale alors il faut spécifier la procédure qu'il met en place. Les mêmes procédures que pour la stratégie digitale (paragraphe précédent) peuvent être décrites.

<https://drive.google.com/file/d/1diyf-32TztLeI71L3eoHMRIA9Mz6AJJoq/view?usp=sharing>

https://drive.google.com/file/d/1uC_JJm4lbc7ThfXj-na7uGYHJh_CIa1p/view?usp=sharing

<https://drive.google.com/file/d/15nIO93fYAyixL1gaejbmCG9c4u-qiefB/view?usp=sharing>

Dec : décomposition. L'enfant décompose un des deux opérandes pour résoudre l'opération. Il peut le décomposer verbalement ou digitalement. Il s'agit de se servir d'un autre calcul connu pour réaliser celui qui est à faire. Par exemple, faire $7 + 3$ (étape, 10) + 2 = 12 pour résoudre $7 + 5$ revient à se servir d'une composition de 10. Faire $7 + 7$ (étape, 14) + 1 = 15 pour résoudre $7 + 8$ revient à se servir du double $7 + 7$.

https://drive.google.com/file/d/1IyEvqORwC1V1rj8h_E6OIXFB8u06QfO9/view?usp=sharing

<https://drive.google.com/file/d/1vZwk6WBCwg4-CzEMDWX2MgPkhL7pj3a7/view?usp=sharing>

Soustractions

***** : pas de stratégies externes observables. L'enfant n'utilise pas de stratégie externe pour résoudre l'opération. Il est possible qu'il n'utilise aucune stratégie, qu'il utilise la stratégie de récupération mentale à long terme, un calcul mental extrêmement rapide, ou qu'il utilise les stratégies mentalement décrites ci-dessous.

Den : dénombrement par correspondance terme à terme. L'enfant dénombre des objets ou ses doigts pour répondre à l'opération. Par exemple, pour l'opération $4 - 2$, il lève quatre doigts de sa main gauche et 2 doigts de sa main droite, aligne en correspondance doigt à doigt, et dénombre 1 2, à savoir chacun des doigts de sa main gauche restés sans correspondant sur la main droite.

<https://drive.google.com/file/d/1fSLcFPvcurFLlpzEHb2c3uiGEvn1ExY2/view?usp=sharing>

Dig : digital. L'enfant utilise ses doigts pour répondre à l'opération. Il ne dénombre pas ses doigts mais les utilise pour effectuer une procédure de calcul. Si l'enfant utilise la stratégie digitale alors il faut spécifier la procédure qu'il met en place :

- Procédure « Asc » comptage ascendant (souvent appelé 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.

Exemple : $5 - 3 \rightarrow$ L'enfant affiche 3 doigts, dit/pense 4 en faisant un bond et en levant un premier doigt, dit/pense 5 en faisant un bond et en levant un deuxième doigt \rightarrow 2 bonds / 2 doigts levés. Le résultat est le nombre de bonds / doigts levés.

<https://drive.google.com/file/d/1hKlhQSkTtobMEWWdjY75SI9kqIGTjHfi/view?usp=sharing>

- Procédure « Desc » comptage descendant (souvent appelé counting-down). L'enfant compte à partir de l'opérande le plus grand pour aller à rebours jusqu'au résultat après soustraction de l'opérande à soustraire. Le résultat est donc le nombre atteint à la fin du comptage.

Exemple : $5 - 3 \rightarrow$ L'enfant dit/pense 4 en faisant un bond et en baissant un premier doigt, dit/pense 3 en faisant un bond et en baissant un deuxième doigt, dit/pense 2 en faisant un bond et en baissant un troisième doigt \rightarrow 3 bonds / 3 doigts baissés / nombre verbal 2 atteint. Le résultat est le nombre atteint digitalement par la procédure.

https://drive.google.com/file/d/1fk2IPnhxEM6qqV3fSyXK_GmWmQtiAy5M/view?usp=sharing

V : verbal. L'enfant utilise le comptage verbal pour répondre à l'opération. Les mêmes procédures que pour la stratégie digitale (paragraphe précédent) peuvent être décrites.

<https://drive.google.com/file/d/1uj85lo63Bq4mRI3Cy4BCbX09MUMplymh/view?usp=sharing>

<https://drive.google.com/file/d/1edVjurMfFzZprdQZnOA3yX55iXqbs8fM/view?usp=sharing>

Dec : décomposition. L'enfant décompose un des deux opérandes pour résoudre l'opération. Il s'agit de se servir d'un autre calcul connu pour réaliser celui qui est à faire. Par exemple, faire $12 - 2$ (étape, 10) $- 3 = 7$ pour résoudre $12 - 5$ revient à se servir de la base 10. Faire $14 - 7 =$ (étape 7) $- 2 = 5$ pour résoudre $14 - 9$ revient à se servir du double $7 + 7 = 14$ et son équivalent $14 - 7 = 7$.

<https://drive.google.com/file/d/11i5uDe-3wZBdQpyUy8tVgawAWSS92kvW/view?usp=sharing>

<https://drive.google.com/file/d/1YCRW5edscqg1aTI-iUgN219o2de9kn1W/view?usp=sharing>

Annexe 8. Histogrammes rendant compte en pourcentage de l'utilisation des différentes stratégies, procédures pour les épreuves Dénombrement Production - Combien ? et en mouvement et Fluence Arithmétique et Stratégies

Annexe 8.1 : Pourcentage de principe efficient et non efficient pour la comptine numérique (épreuve Dénombrement Production - Combien ?)

Figure 4. Cotation instantanée en direct juge 1

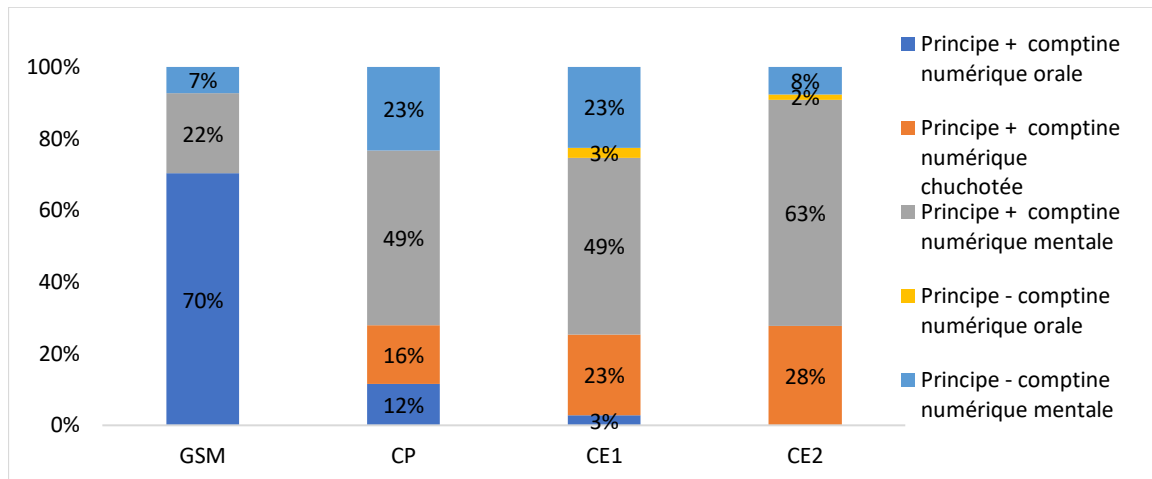


Figure 5. Cotation sur vidéos juge 1

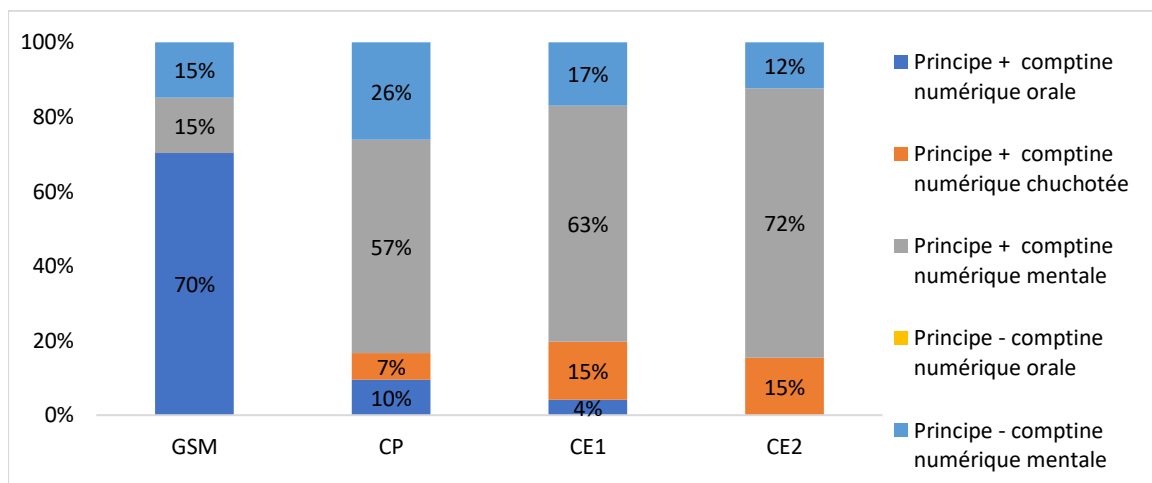
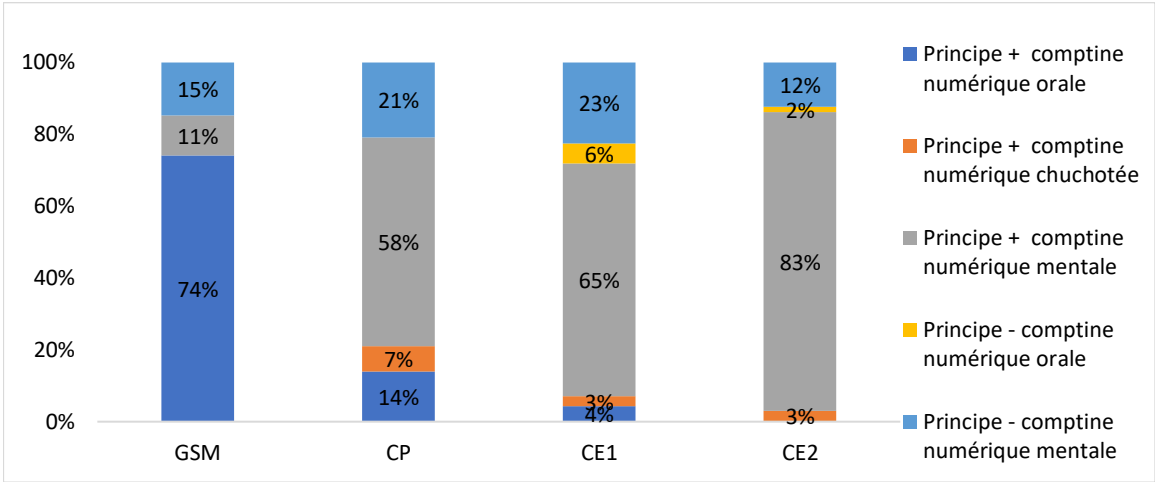


Figure 6. Cotation sur vidéos juge 2



Annexe 8.2 Pourcentage de principe efficient et non efficient pour la correspondance terme à terme (épreuve Dénombrement Production - Combien ?)

Figure 7. Cotation instantanée en direct juge 1

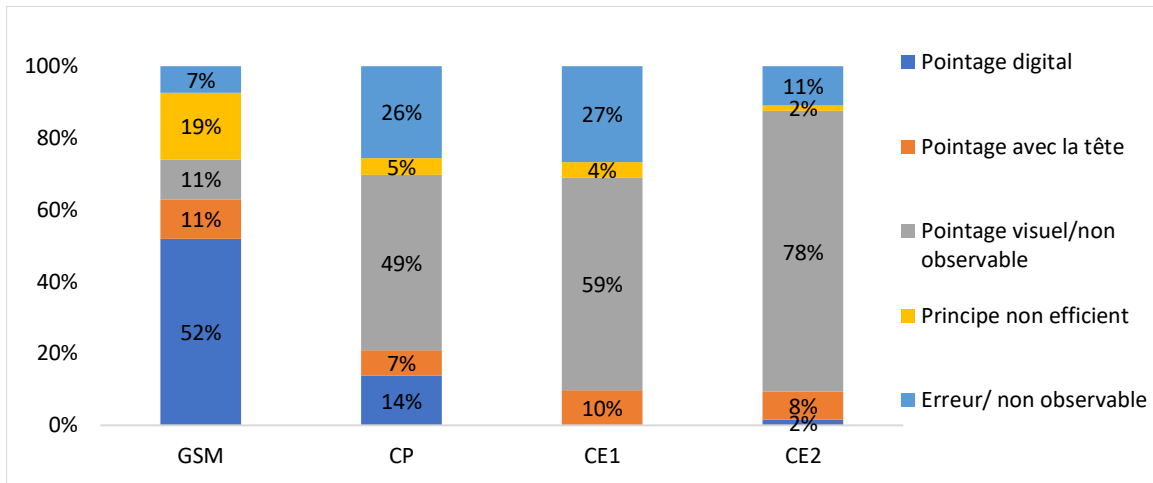


Figure 8. Cotation sur vidéos juge 1

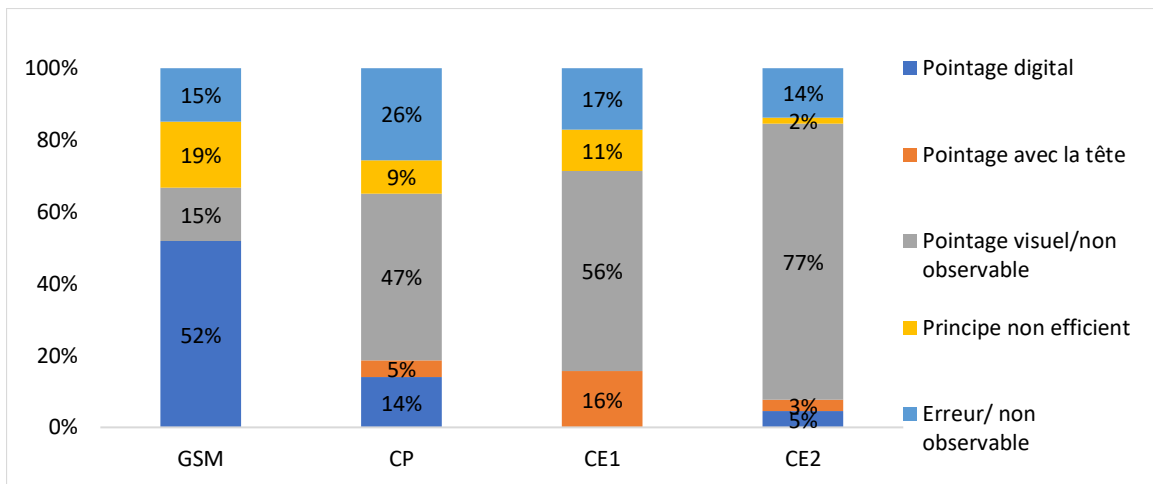
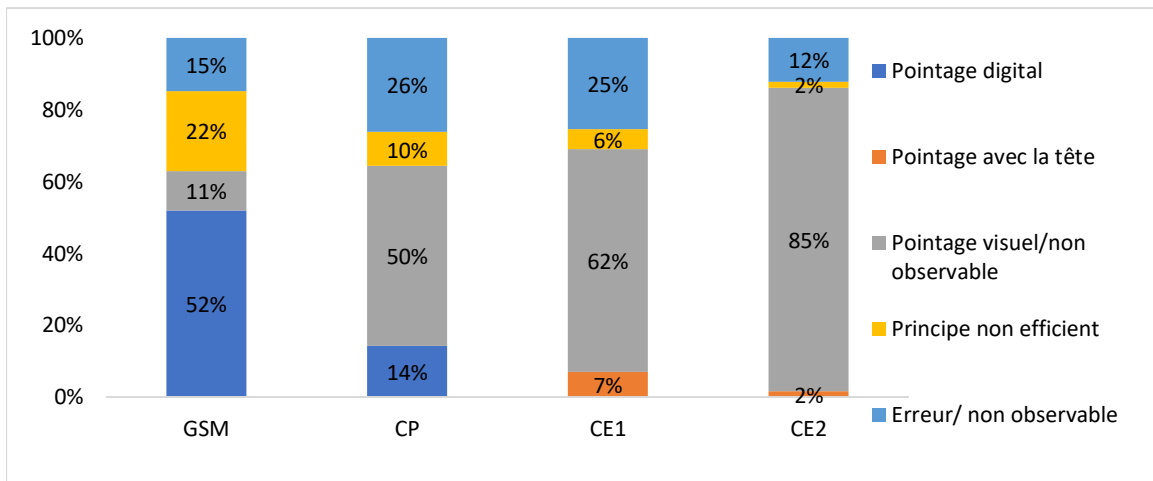


Figure 9. Cotation sur vidéos juge 2



Annexe 8.3 Pourcentage de principe efficient et non efficient pour la cardinalité (épreuve Dénombrement Production - Combien ?)

Figure 10. Cotation instantanée en direct juge 1

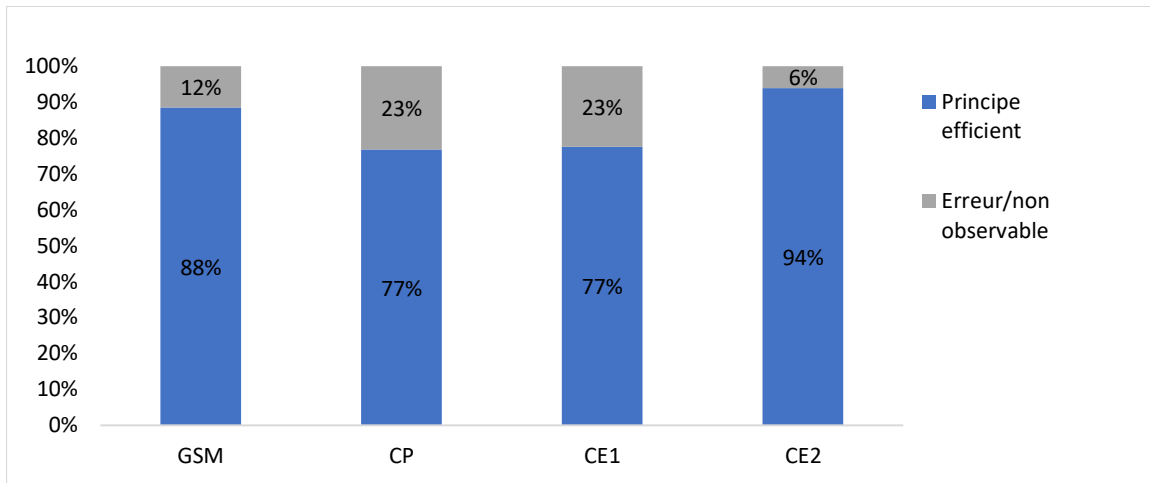


Figure 11. Cotation sur vidéos juge 1

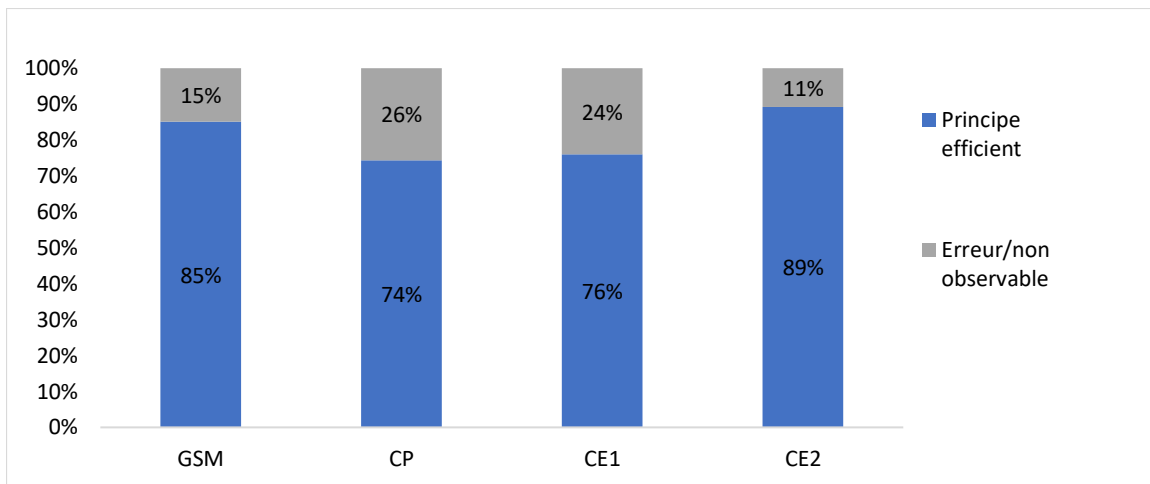
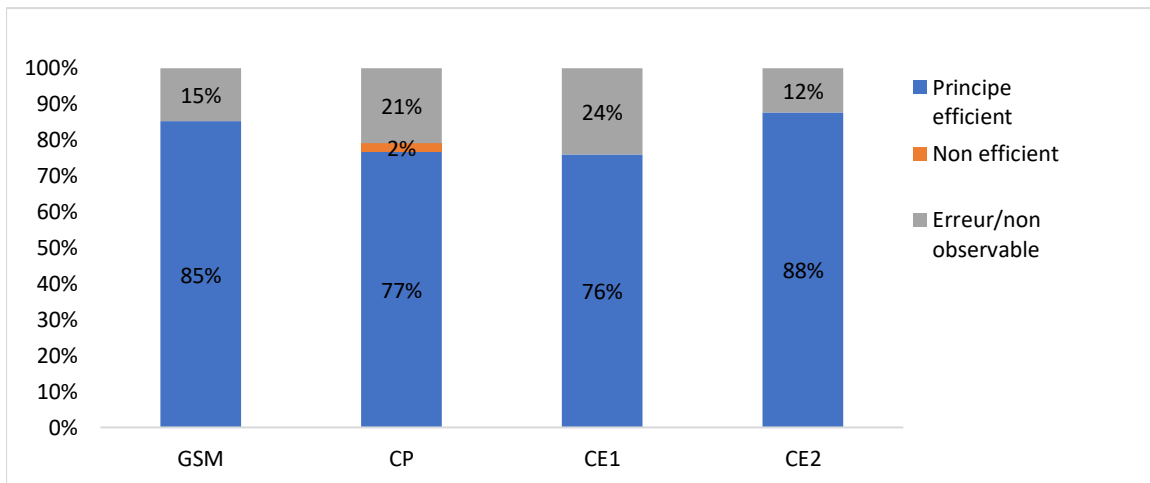


Figure 12. Cotation sur vidéos juge 2



Annexe 8.4 Pourcentage de principe efficient et non efficient pour l'abstraction (épreuve Dénombrement Production - Combien ?)

Figure 13. Cotation instantanée en direct juge 1

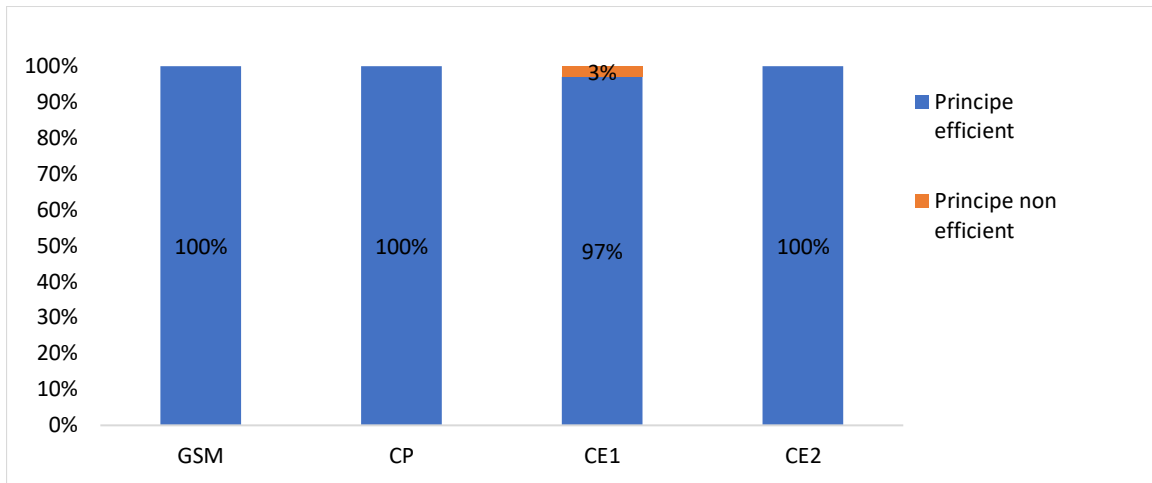


Figure 14. Cotation sur vidéos juge 1

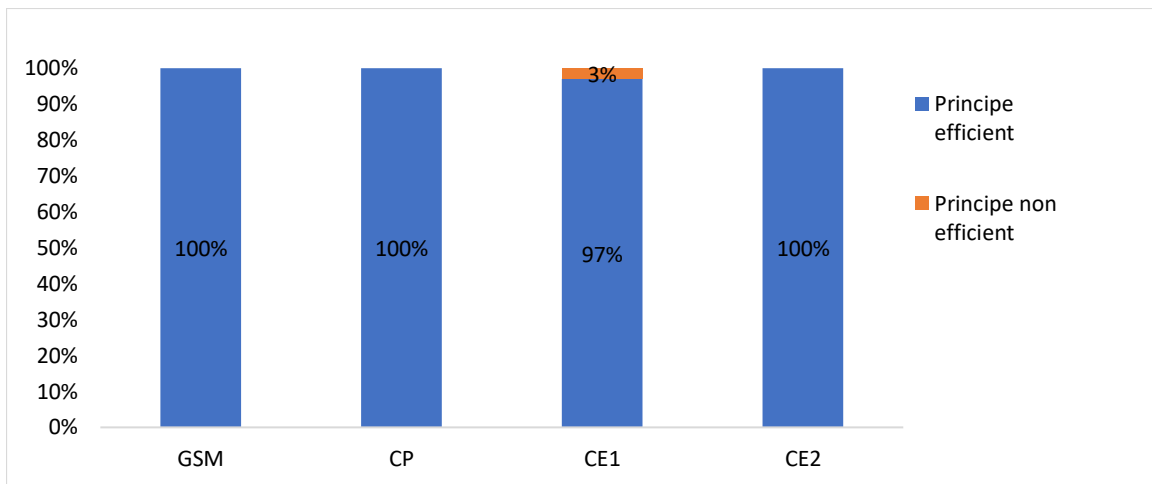
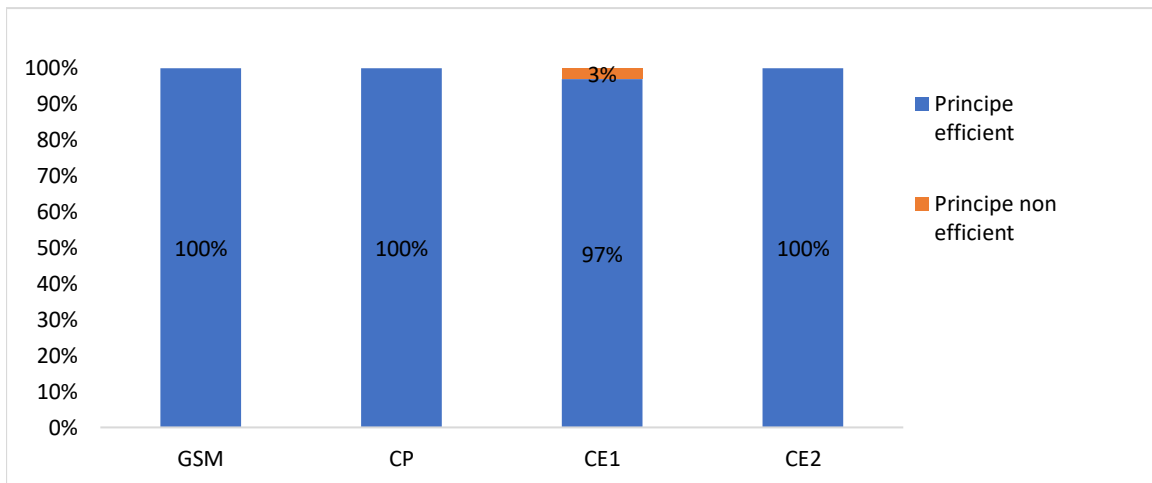


Figure 15. Cotation sur vidéos juge 2



Annexe 8.5 Pourcentage de principe efficient pour l'organisation de l'ordre (épreuve Dénombrement Production - Combien ? ?)

Figure 16. Cotation instantanée en direct juge 1

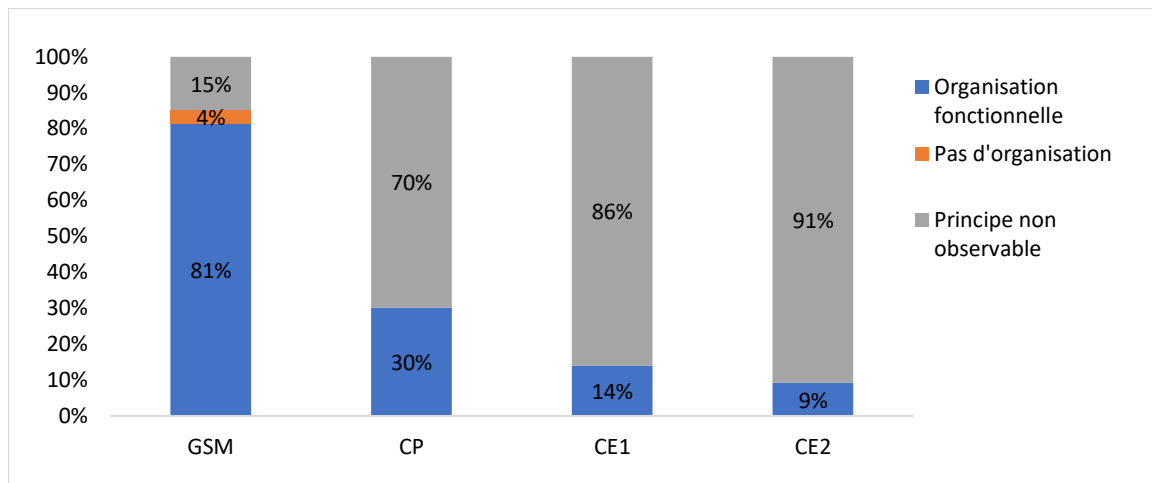


Figure 17. Cotation sur vidéos juge 1

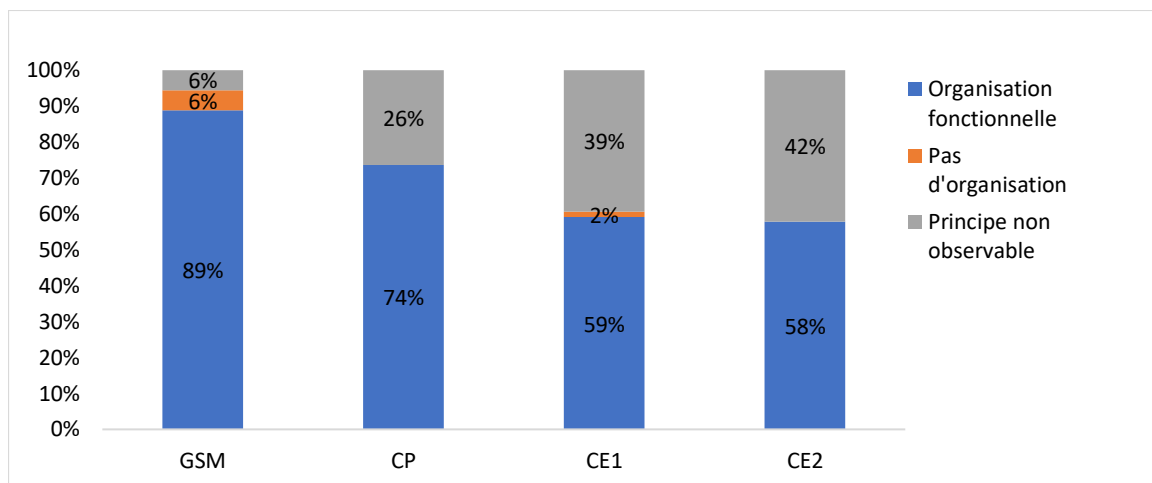
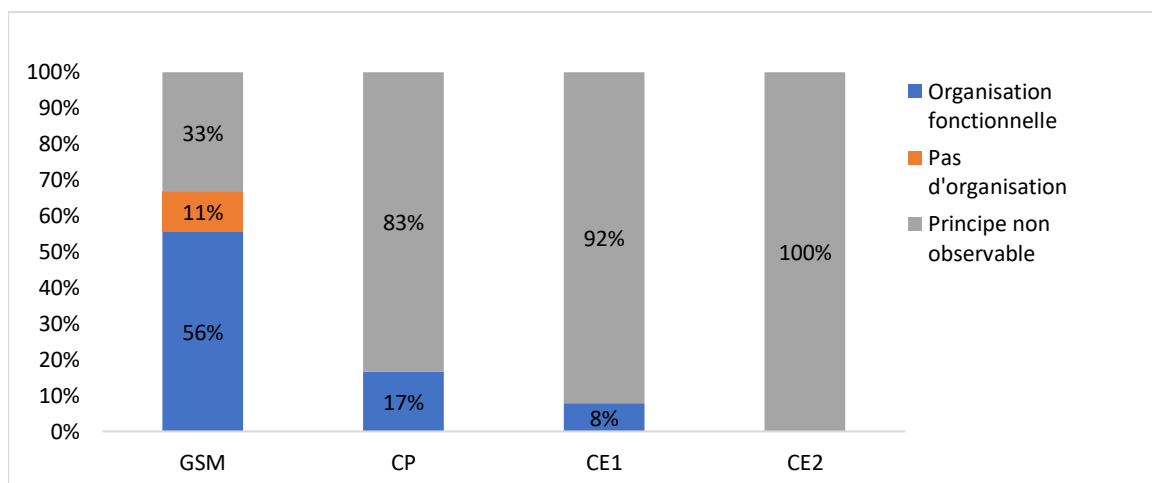


Figure 18. Cotation sur vidéos juge 2



Annexe 8.6 Pourcentage de principe efficient pour le pointage (épreuve Dénombrement Mouvement)

Figure 19. Cotation instantanée en direct juge 1

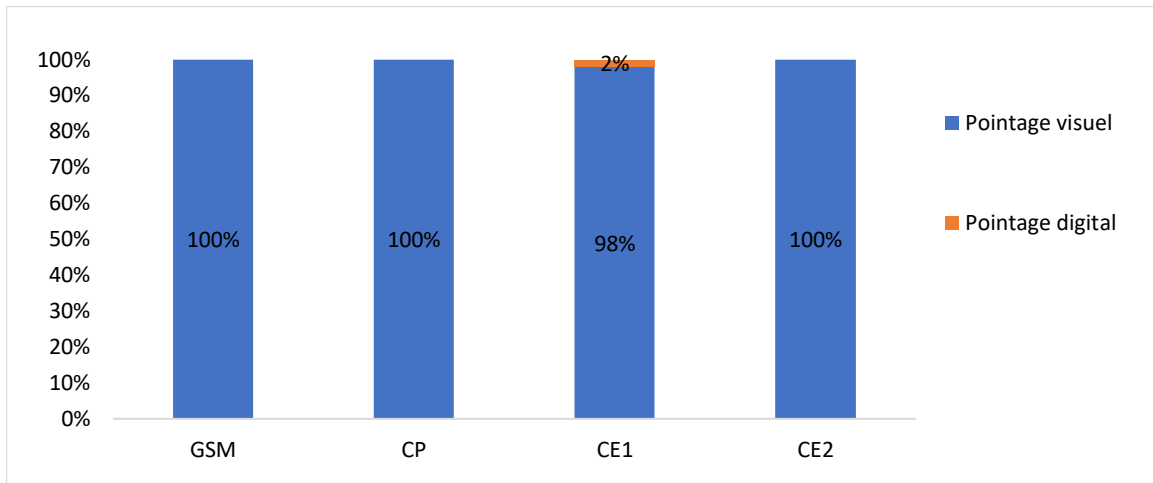


Figure 20. Cotation sur vidéos juge 1

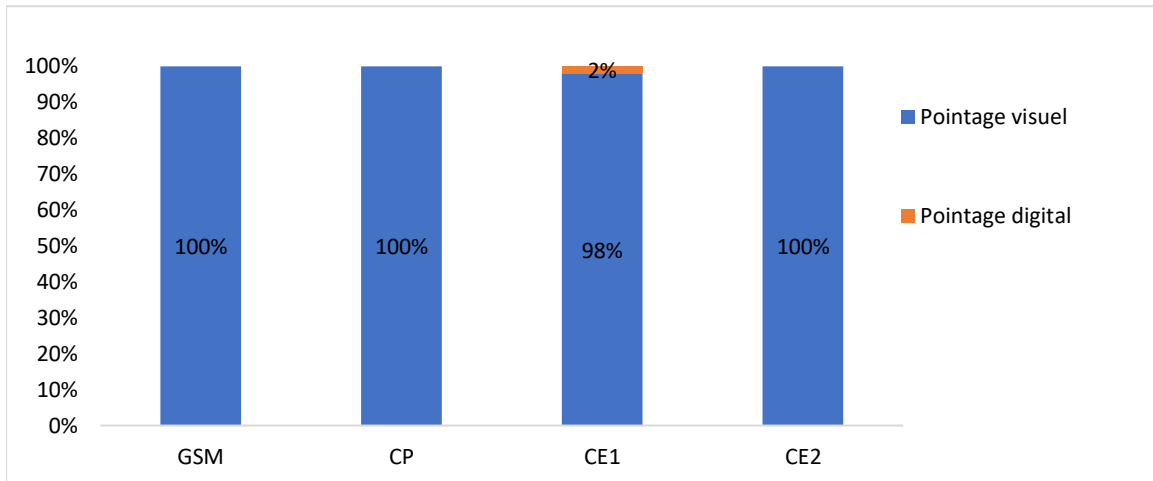
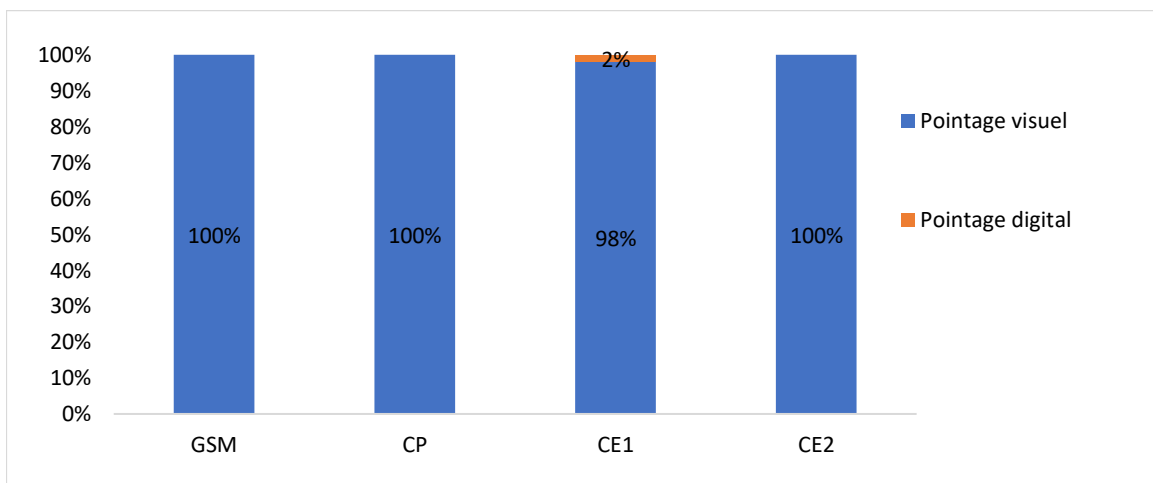


Figure 21. Cotation sur vidéos juge 2



Annexe 8.7 Pourcentage de principe efficient pour la comptine numérique (épreuve Dénombrement Mouvement)

Figure 22. Cotation instantanée en direct juge 1

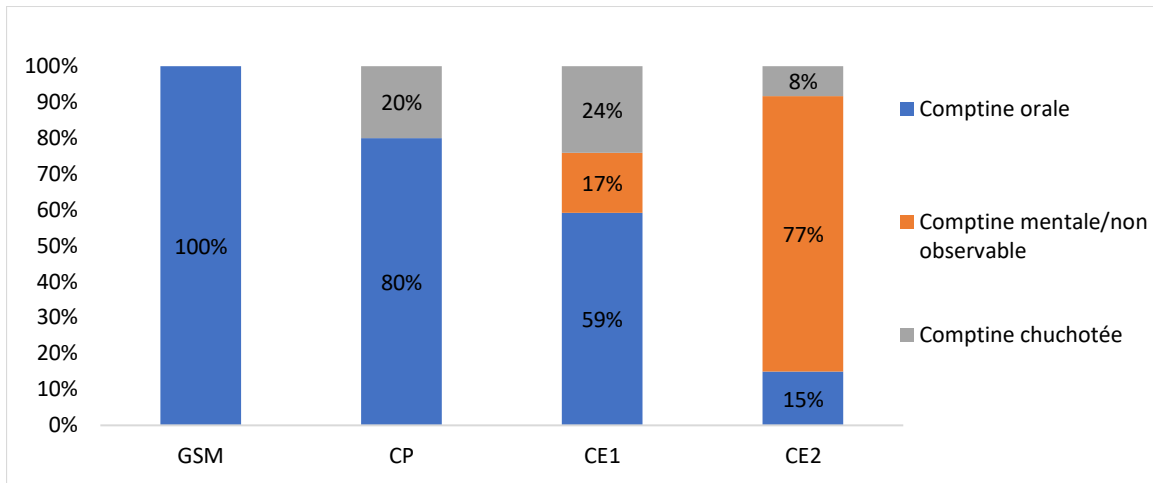


Figure 23. Cotation sur vidéos juge 1

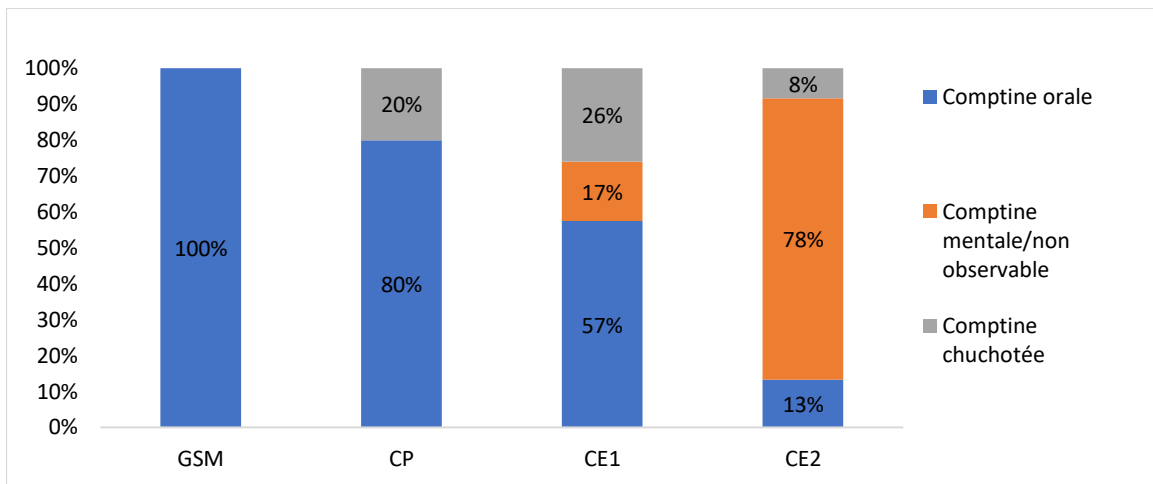
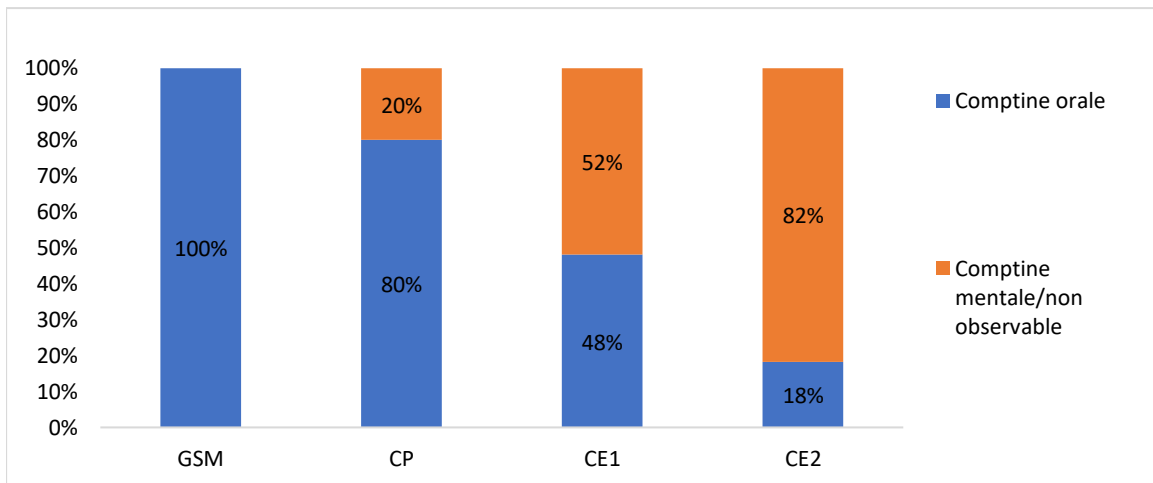


Figure 24. Cotation sur vidéos juge 2



Annexe 8.8 Pourcentage de rétention sur les doigts (épreuve Dénombrement Mouvement)

Figure 25. Cotation instantanée en direct juge 1



Figure 26. Cotation sur vidéos juge 1

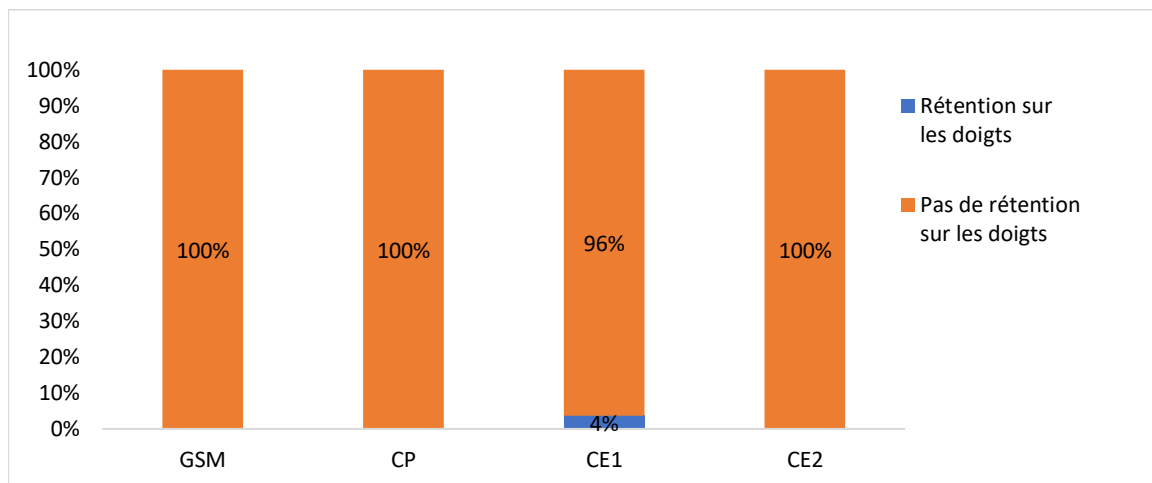
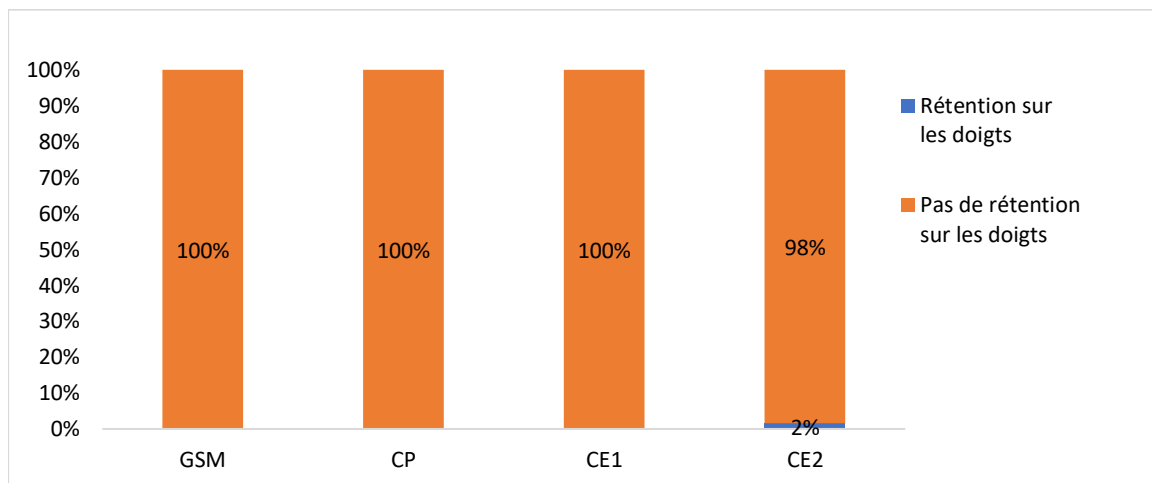


Figure 27. Cotation sur vidéos juge 2



Annexe 8.9 Pourcentage d'utilisation des stratégies de résolution de calculs mentaux simples (épreuve Fluence Arithmétique Addition)

Figure 28. Cotation instantanée en direct juge 1

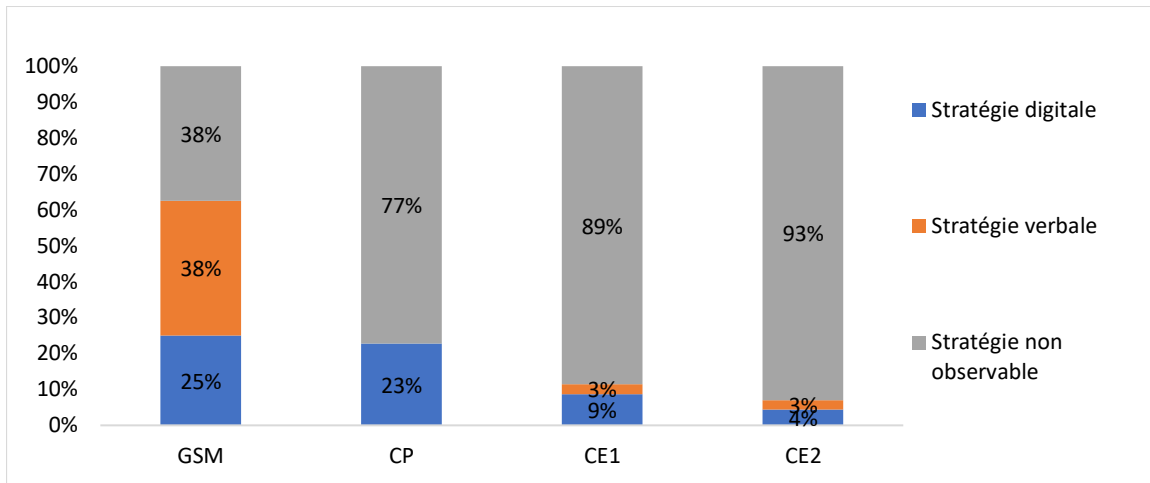


Figure 29. Cotation sur vidéos juge 1

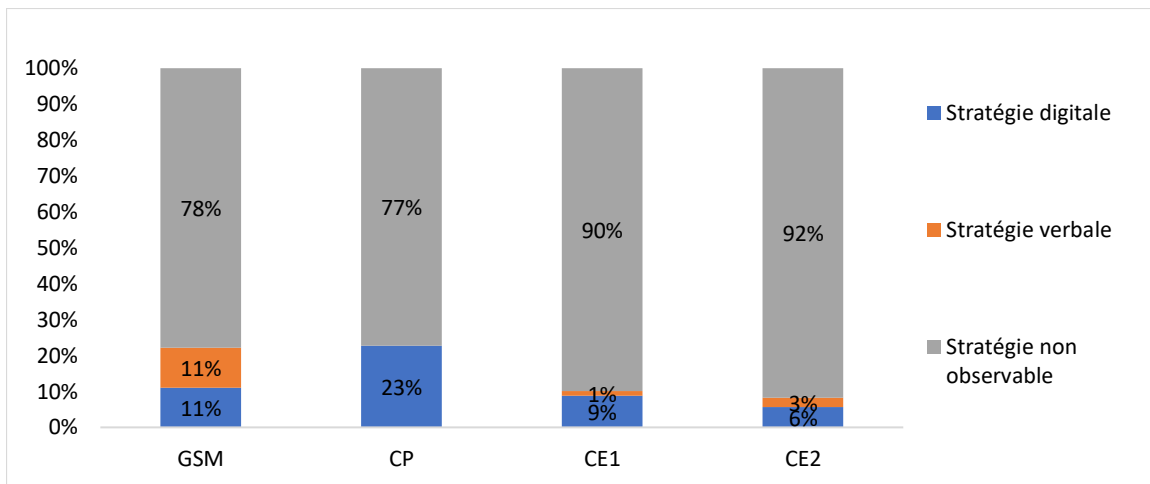
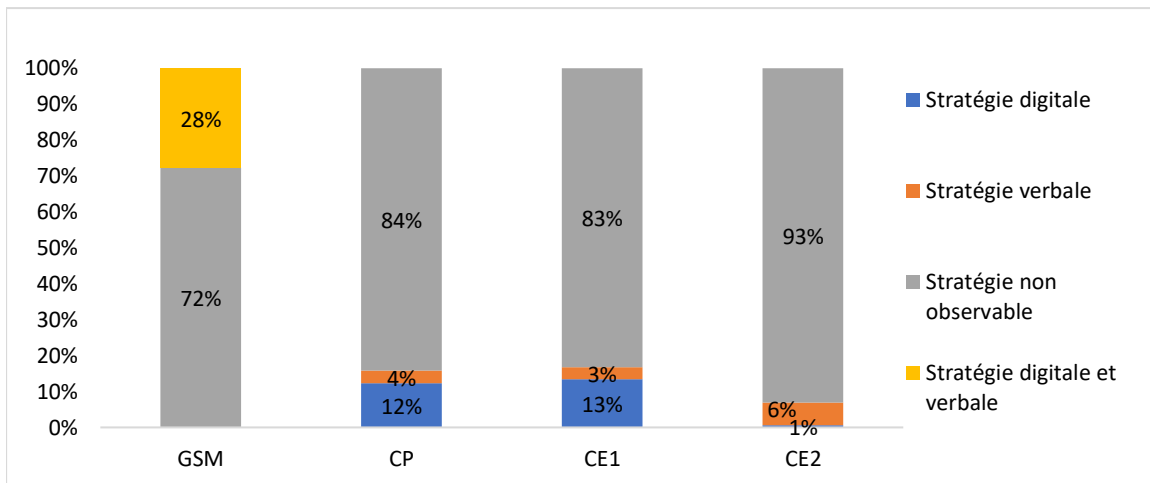


Figure 30. Cotation sur vidéos juge 2



Annexe 8.10 Pourcentage d'utilisation des procédures de résolution de calculs mentaux simples (épreuve Fluence Arithmétique Addition)

Figure 31. Cotation instantanée en direct juge 1

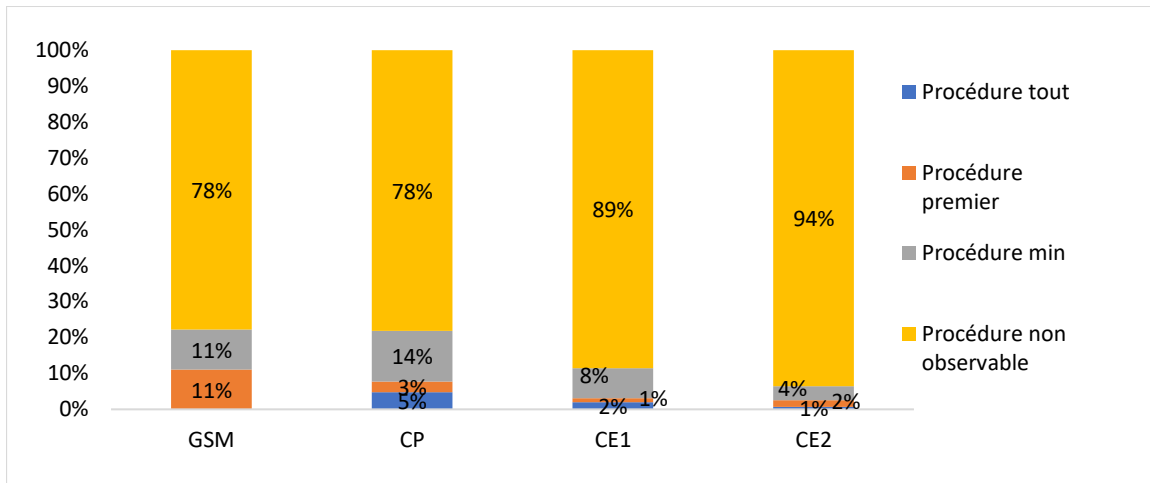


Figure 32. Cotation sur vidéos juge 1

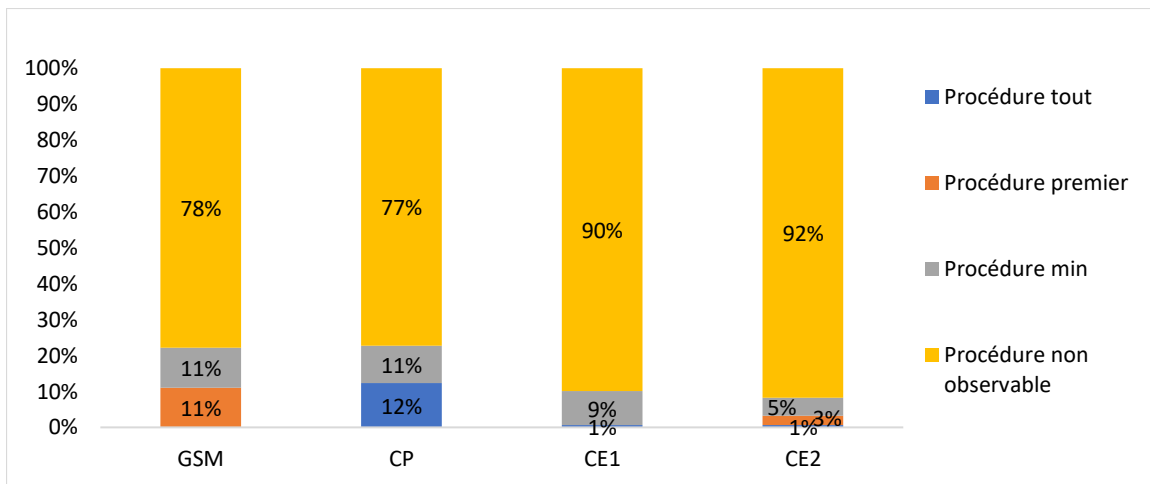
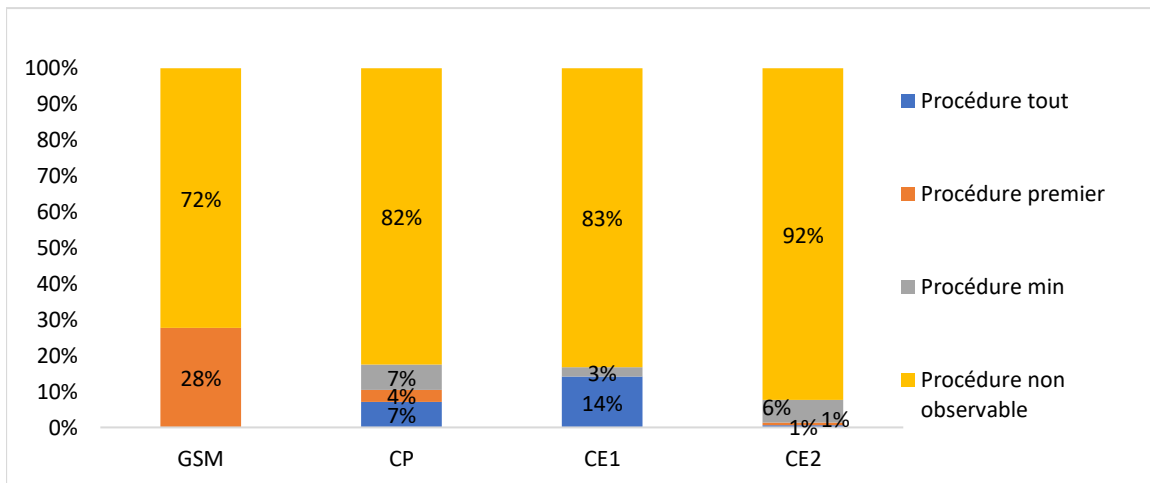


Figure 33. Cotation sur vidéos juge 2



Annexe 8.11 Pourcentage d'utilisation des stratégies de résolution de calculs mentaux simples (épreuve Fluence Arithmétique Soustraction)

Figure 34. Cotation instantanée en direct juge 1

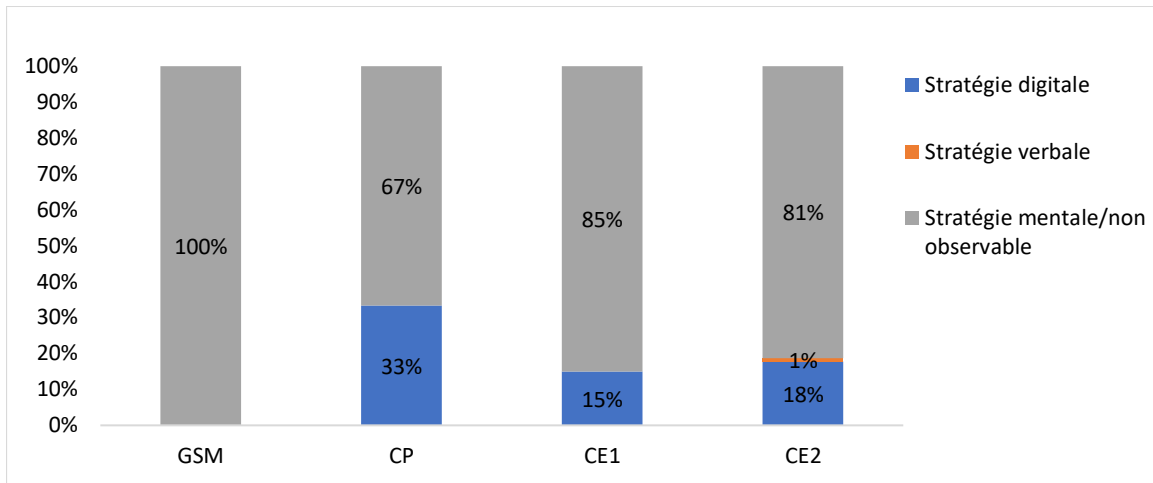


Figure 35. Cotation sur vidéos juge 1

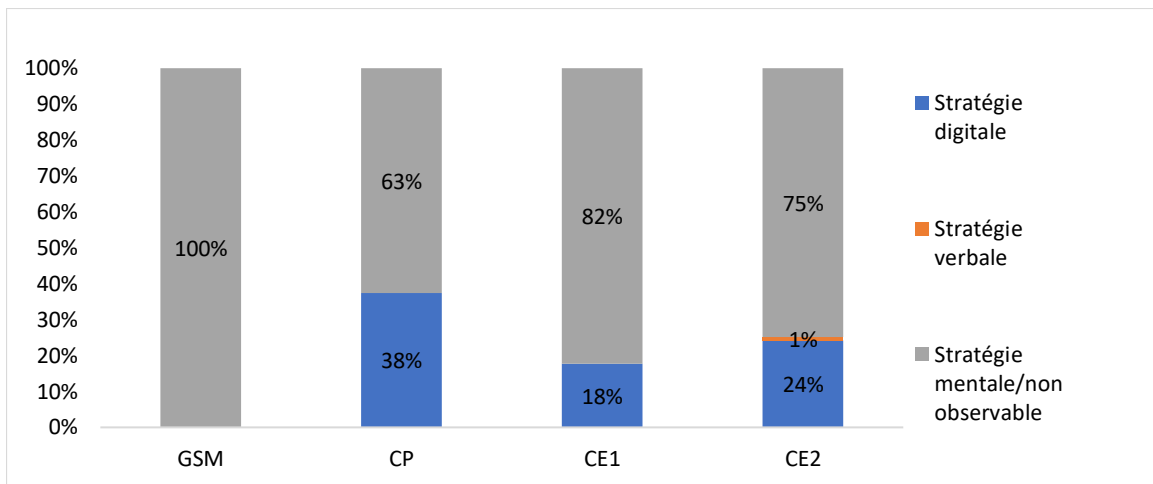
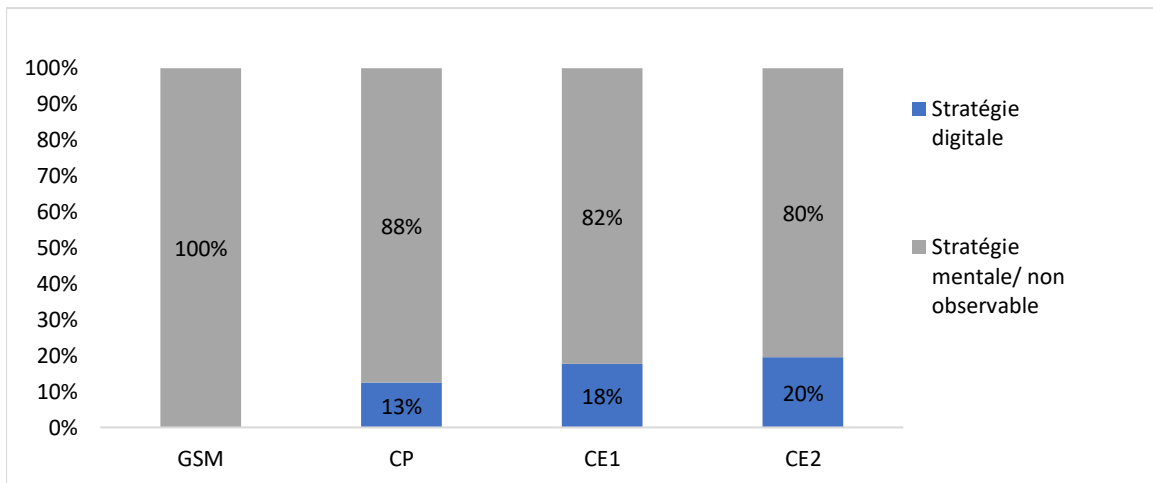


Figure 36. Cotation sur vidéos juge 2



Annexe 8.12 Pourcentage d'utilisation des procédures de résolution de calculs mentaux simples (épreuve Fluence Arithmétique Soustraction)

Figure 37. Cotation instantanée en direct juge 1

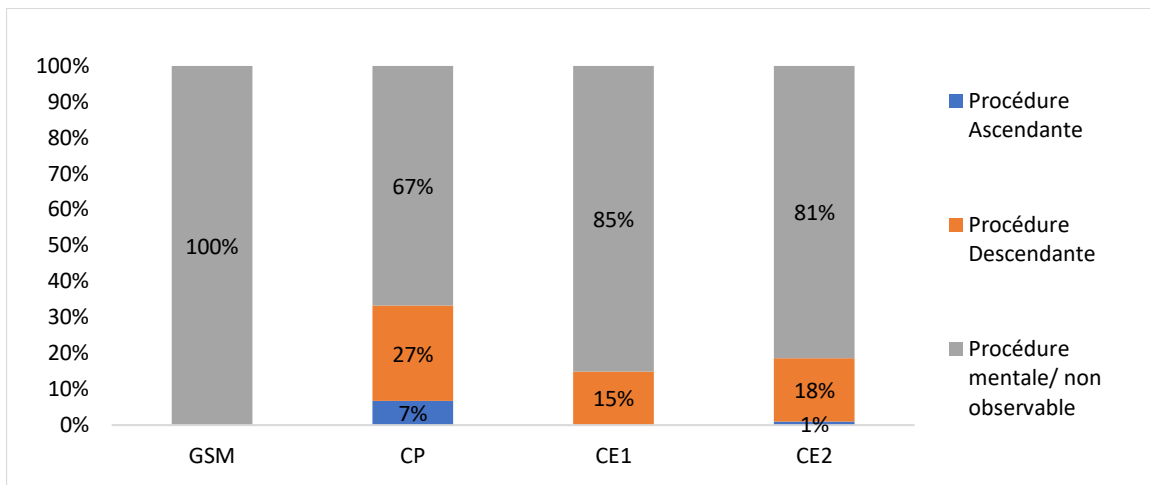


Figure 38. Cotation sur vidéos juge 1

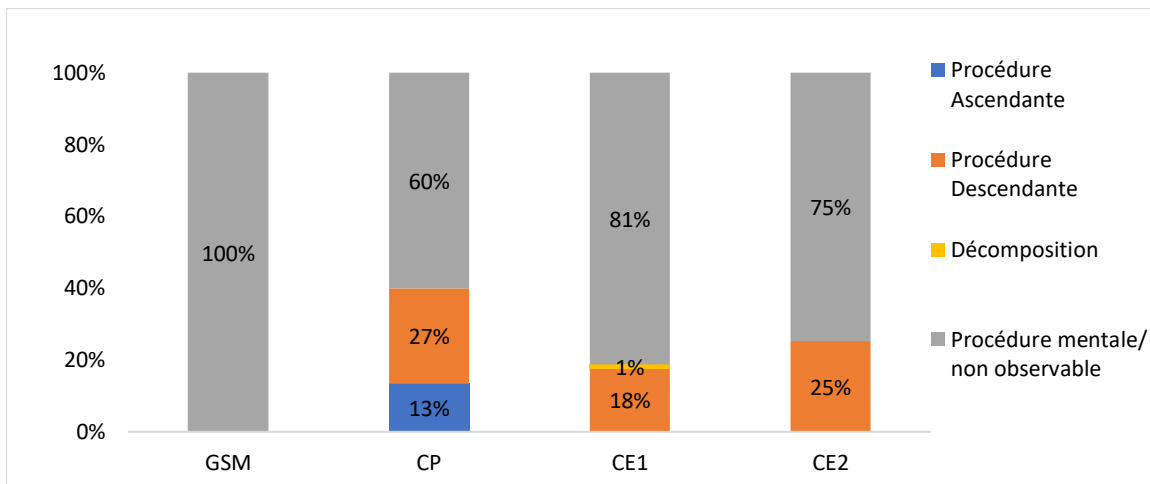
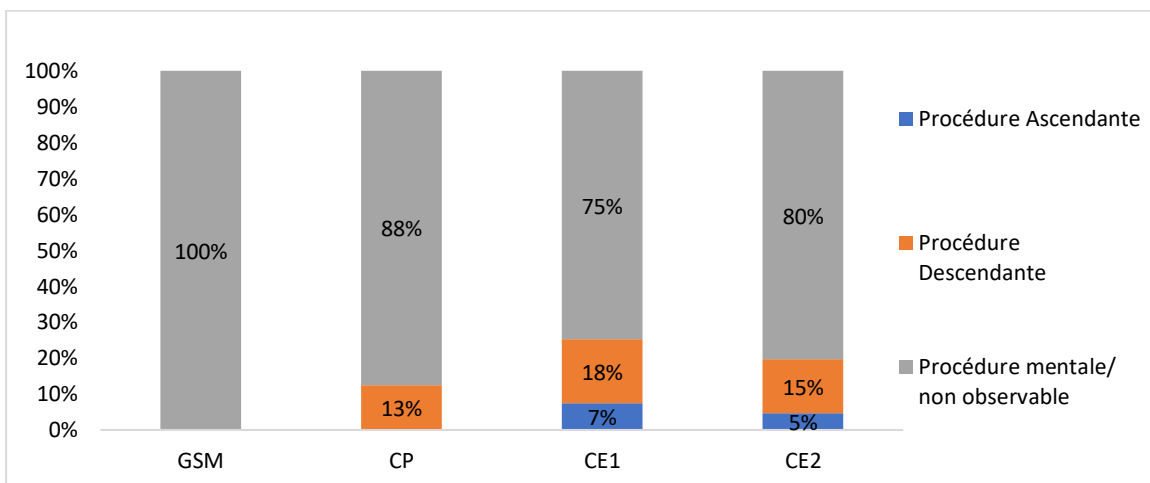


Figure 39. Cotation sur vidéos juge 2



Pré-validation d'épreuves contenues dans la batterie Examath 5-8

Présenté et soutenu par Quitterie Chevillard

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 mathématique. 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 proposera l'évaluation de ces compétences en lien avec des modèles théoriques récents. L'objectif de l'étude est la pré-validation de six épreuves contenues dans trois modules de cette batterie. Les épreuves ont été proposées à deux groupes d'enfants : un groupe à risque de trouble spécifique des apprentissages mathématiques (AR-TSAM) et un groupe contrôle (CTRL). Les résultats obtenus ont montré que les épreuves du module Arithmétique présentent une validité convergente, les modules présentent une cohérence interne acceptable ainsi qu'une validité de construit en lien avec le niveau scolaire et l'appartenance ou non au groupe AR-TSAM acceptable. Les grilles d'analyse qualitative développées pour les épreuves de Dénombrement Production et Fluence Arithmétique et Stratégies montrent une bonne fiabilité et facilité d'utilisation, le guide d'aide à la cotation ainsi que les vidéos 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 mathématiques, bilan orthophonique, pré-validation, arithmétique, dénombrement

Pre-validation of tests in the Examath 5-8 battery

Summary

Arithmetic and counting are two essential skills for learning mathematics. Difficulties in their development are found in children with a specific learning disability in mathematics. Speech and language therapy assessments should evaluate these skills in children enrolled in the first and second grades. The Examath 5-8 battery will propose the assessment of these skills in relation to recent theoretical models. The objective of the study is the pre-validation of six tests contained in three modules of this battery. The tests were proposed to two groups of children: a group at risk of a specific learning disability in mathematics (AR-TSAM) and a control group (CTRL). The results obtained showed that the tests of the Arithmetic module had a convergent validity, the modules had an acceptable internal consistency as well as a construct validity in relation with the school level and whether or not the child belonged to the acceptable AR-TSAM group. The qualitative analysis grids developed for the Production Counting and Arithmetic Fluency and Strategies tests showed good reliability and ease of use, and the scoring guide and videos made it possible to standardize their use. The identification of clinical benchmarks allows the child to be situated in relation to others of the same school level and thus to be able to adapt the treatment.

Key words:

mathematical learning disability, speech-language assessment, pre-validation, arithmetic, enumeration

Mémoire dirigé par

Marie-Christel HELLOIN, orthophoniste

Anne LAFAY, chercheuse postdoctorale, Université Concordia, Montréal, QC, Canada