UNIVERSITÉ DE LORRAINE

AVERTISSEMENT

Ce document est le fruit d'un long travail approuvé par le jury de soutenance et mis à disposition de l'ensemble de la communauté universitaire élargie.

Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur. Ceci implique une obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document.

D'autre part, toute contrefaçon, plagiat, reproduction illicite encourt une poursuite pénale.

Contact : ddoc-theses-contact@univ-lorraine.fr

LIENS

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 122. 4
Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 335.2- L 335.10
http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg_droi.php
http://www.culture.gouv.fr/culture/infos-pratiques/droits/protection.htm

Université CLAUDE BERNARD LYON1
INSTITUT DES SCIENCES et TECHNIQUES DE READAPTATION **N° 1593**

MEMOIRE présenté pour l'obtention du

CERTIFICAT DE CAPACITE D'ORTHOPHONISTE

Par

DACLIN Anne-Hélène
LALLEMAND Régine

PREDIRE LES PERFORMANCES ARITHMETIQUES DE 4 A 6 ANS :

Poids des compétences verbales et non-verbales

Maître de Mémoire

FAYOL Michel

Membres du Jury

DI QUAL Myriam
GONZALEZ Sibylle
OLLAGNON Pascale

Date de Soutenance

30 juin 2011

© Université Claude Bernard Lyon1 - ISTR - Orthophonie.

ORGANIGRAMMES

1. Université Claude Bernard Lyon1

Président
Pr. BONMARTIN Alain

Vice-président DEVU
Pr. SIMON Daniel

Vice-président CA
Pr. ANNAT Guy

Vice-président CS
Pr. MORNEX Jean-François

Directeur Général des Services
M. GAY Gilles

1.1 Secteur Santé :

U.F.R. de Médecine Lyon Est
Directeur **Pr. ETIENNE Jérôme**

U.F.R de Médecine Lyon-Sud Charles Mérieux
Directeur **Pr. GILLY François Noël**

Comité de Coordination des Etudes Médicales (C.C.E.M.)
Pr. GILLY François Noël

U.F.R d'Odontologie
Directeur **Pr. BOURGEOIS Denis**

Institut des Sciences Pharmaceutiques et Biologiques
Directeur **Pr. LOCHER François**

Institut des Sciences et Techniques de Réadaptation
Directeur **Pr. MATILLON Yves**

Département de Formation et Centre de Recherche en Biologie Humaine
Directeur **Pr. FARGE Pierre**

1.2 Secteur Sciences et Technologies :

U.F.R. de Sciences et Technologies
Directeur **Pr GIERES François**

U.F.R. de Sciences et Techniques des Activités Physiques et Sportives (S.T.A.P.S.)
Directeur **Pr. COLLIGNON Claude**

Institut des Sciences Financières et d'Assurance (I.S.F.A.)
Directeur **Pr. AUGROS Jean-Claude**

Observatoire Astronomique de Lyon **M. GUIDERDONI Bruno**

IUFM
Directeur **M. BERNARD Régis**

Ecole Polytechnique Universitaire de Lyon (EPUL)
Directeur **M. FOURNIER Pascal**

Ecole Supérieure de Chimie Physique Electronique de Lyon (CPE)
Directeur **M. PIGNAULT Gérard**

IUT LYON 1
Directeurs **M. COULET Christian et Pr. LAMARTINE Roger**

2. Institut Sciences et Techniques de Réadaptation FORMATION ORTHOPHONIE

Directeur ISTR
Pr. MATILLON Yves

Directeur des études
BO Agnès

Directeur de la formation
Pr. TRUY Eric

Directeur de la recherche
Dr. WITKO Agnès

Responsables de la formation clinique
THEROND Béatrice
GUILLON Fanny

Chargée du concours d'entrée
PEILLON Anne

Secrétariat de direction et de scolarité
BADIOU Stéphanie
CLERGET Corinne

REMERCIEMENTS

Nous remercions particulièrement...

Le professeur Michel Fayol, notre maître de mémoire, pour nous avoir proposé ce sujet, et pour sa disponibilité et ses précieux conseils.

Mesdemoiselles Moutote et De Lajudie pour nous avoir proposé et donné les moyens de poursuivre leur étude.

L'équipe de direction et les enseignants de l'Ecole d'orthophonie de Lyon, ainsi que nos maîtres de stage pour la formation dispensée durant ces quatre années.

Le groupe scolaire Anatole France, Monsieur la Directrice de l'école maternelle, Monsieur le Directeur de l'école élémentaire, les enseignants et toute l'équipe éducative pour leur accueil.

Les enfants et leurs parents sans lesquels cette étude n'aurait pas pu être réalisée.

Nos familles qui nous ont soutenues tout au long de nos études.

Sans oublier nos amies et futures collègues pour leurs conseils et leur sympathie

SOMMAIRE

INTRODUCTION

Les acquisitions logico-mathématiques suscitent un intérêt croissant auprès des professionnels de l'enfance tant dans les milieux scolaires que médicaux et paramédicaux. Depuis ces vingt dernières années les recherches se sont multipliées afin de définir les mécanismes du développement du nombre et de l'arithmétique chez les enfants d'âges pré-scolaire et scolaire.

Notre étude propose d'évaluer le poids des compétences verbales et non verbales dans l'acquisition de l'arithmétique. Notre travail s'inscrit dans la continuité du Mémoire de Recherche soutenu par mesdemoiselles De Lajudie et Moutote en 2010. Il s'agit d'une étude longitudinale qui a permis de suivre l'évolution d'un échantillon d'enfants de la Moyenne Section de Maternelle au Cours Préparatoire.

Nous partons du constat que la maîtrise du nombre et de son sens est un pré-requis indispensable à l'acquisition de l'arithmétique. Le modèle du triple code de Dehaene (1992) sert de fondement à nos recherches. Il décrit trois formes de représentation du nombre, l'une est dite analogique et correspond à une estimation mentale de la quantité, et les deux autres sont symboliques, il s'agit du code verbal et du code arabe.

Ainsi, nous présenterons les connaissances actuelles concernant les habiletés arithmétiques. Puis, nous décrirons les compétences verbales et non verbales qui sous-tendent les acquisitions arithmétiques telles qu'elles sont décrites dans la littérature.

Suite aux premiers résultats de cette étude longitudinale nous serons amenées à proposer de nouvelles hypothèses et à élargir le champ de notre recherche.

Pour ce faire, nous mesurerons les capacités à trois épreuves verbales (comptine, empan, et une évaluation des empans endroit et envers que nous avons ajoutée au protocole chez les enfants de CP) et deux épreuves non-verbales (gnosies digitales et estimation de la quantité). Ces résultats seront mis en relation avec les performances en arithmétique ici résumées à une tâche de résolution d'opérations, ainsi qu'à une épreuve de problèmes simples que nous avons introduite à partir de la fin de la Grande Section de Maternelle.

Nous exploiterons ensuite les données recueillies en fin de GSM et en début de CP et établirons des comparaisons entre les différents niveaux. Puis, nous décrirons qualitativement les stratégies de résolution des opérations et la réussite aux problèmes.

Enfin nous discuterons les résultats obtenus et les intérêts de notre recherche sur les plans pédagogiques et cliniques.

Chapitre I

PARTIE THEORIQUE

I. Les représentations du nombre

Il n'existe pas à l'heure actuelle de consensus quant à la façon dont sont représentés les nombres dans le système cognitif. Toutefois, les auteurs s'accordent sur l'existence de représentations internes des nombres (Fayol & Seron, 2005).

1. Les principaux modèles de représentation du nombre et de la quantité

Le modèle de Power et Longuet-Higgins (1978) rend compte des transcodages. C'est un modèle sémantique verbal où les nombres sont représentés sous formes de sommes et de produits (*huit cents* est la multiplication des valeurs « 8 » et « 100 » et *cent huit* correspond à leur addition). Il s'agit d'une représentation sémantique des quantités, précise et non unitaire.

McCloskey, Caramazza et Basili (1985) proposent un modèle à représentation sémantique unique. Cette représentation est activée lors du transcodage et dans les activités de calcul.

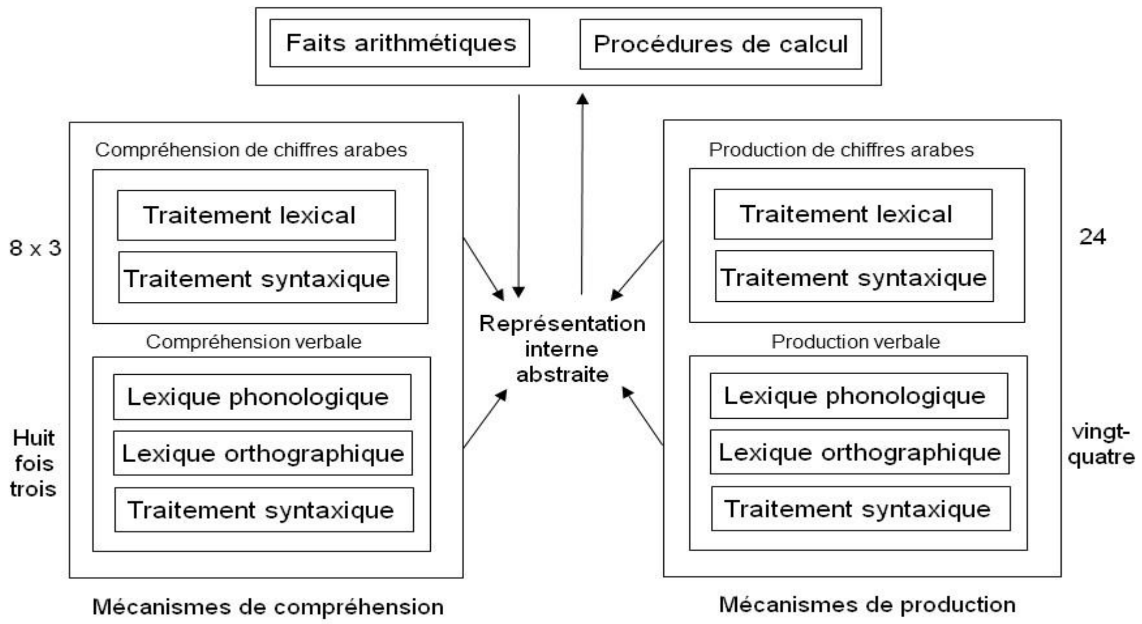


Figure 1. Modèle de McCloskey, Caramazza et Basili (1985)

L'architecture du modèle de McCloskey et al. comporte plusieurs composantes :

- Deux mécanismes de compréhension : la compréhension des chiffres arabes (avec un traitement lexical et un traitement syntaxique) et la compréhension des mots-nombres (avec un lexique phonologique, un lexique orthographique et un traitement syntaxique).

- Deux mécanismes de production : une production des chiffres arabes et une production des mots-nombres.
- Une représentation interne abstraite, qui est centrale et interagit avec toutes les autres composantes, avec les faits arithmétiques et les procédures de calcul stockés en mémoire.

Dans ce modèle, la représentation des nombres est indépendante de la notation (verbale ou arabe) et de la modalité (orale ou écrite). Les représentations (chiffres ou mots-nombres), servent de voie d'entrée pour les mécanismes de compréhension et de voie de sortie pour les mécanismes de production.

Campbell et Clark (1992) proposent le seul modèle à représentations multiples, construit en opposition au modèle de McCloskey. Ils considèrent que les concepts numériques reposent sur des représentations multiples qui varient selon les modalités. L'activation des représentations est déterminée par des patterns d'association et d'inhibition selon la tâche, les modalités de présentation des nombres et les systèmes de notation utilisés.

Selon Brissiaud (2003), il est possible de communiquer à propos des quantités par différents moyens: les représentations analogiques (collections-témoins) et les représentations verbales (les mots-nombres). En représentation analogique, la quantité est représentée par l'ensemble des éléments qui la constituent. Par exemple, on peut représenter la quantité « trois » par trois doigts. En représentation numérique (verbales ou arabe), elle est représentée par le dernier élément de la collection (correspondance terme à terme avec les éléments du système de représentation concerné). Ainsi le dernier mot prononcé lors du dénombrement représente la quantité de la collection.

2. Le modèle du triple code de Dehaene et Cohen

En 1992, Dehaene propose le modèle du triple code :

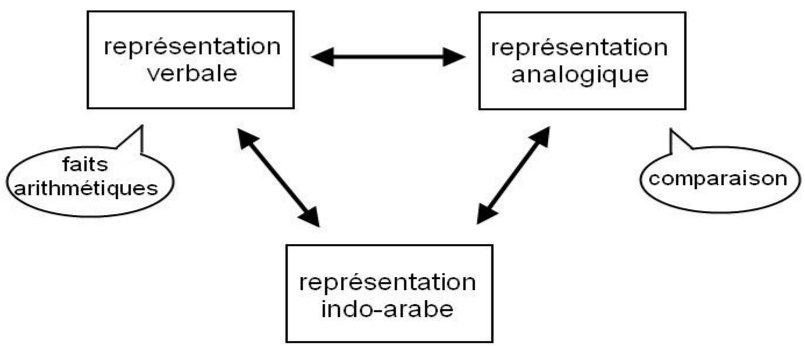


Figure 2. Modèle du triple code de Dehaene et Cohen (1995)

Selon ce modèle, notre cerveau utilise trois formes de représentation du nombre :

- Analogique
- Verbale
- Visuelle indo-arabe

Ces trois formes de traitement du nombre font appel à des zones cérébrales distinctes mais connectées entre elles. Une opération sur les nombres peut donc impliquer une ou plusieurs de ces trois représentations. Les transcodages sont possibles et directs entre chacune des représentations y compris entre le code verbal et le code visuel arabe sans passer par le sens. Un traitement sur le nombre implique un même code d'entrée et de sortie. Selon les stratégies individuelles, les représentations utilisées sont variables dans une même situation de manipulation du nombre.

La représentation analogique du nombre est innée, universelle, non-symbolique et donc non-verbale. Elle correspond à une estimation de la quantité et est à l'origine du « Sens du Nombre ». La représentation analogique permet les calculs approximatifs et les comparaisons numériques.

La représentation verbale est précise. Elle est symbolique car la quantité est codée par l'ordre des mots dans la chaîne numérique verbale. Les nombres sont construits à partir d'un lexique et d'une syntaxe sur la base dix. Or dans la langue française, cette base dix n'est pas transparente et les mots-nombres comportent souvent plusieurs syllabes ou encore de mots complexes, l'acquisition de la chaîne numérique verbale est alors retardée. D'autre part, les faits numériques sont stockés en mémoire à long terme sous forme verbale.

La représentation indo-arabe est symbolique, précise et non verbale. Elle est visuelle et utilise un codage spatial de la puissance, en base 10, à partir de dix chiffres de 0 à 9. Elle est impliquée dans la résolution des opérations à plus de deux chiffres.

3. Développement des représentations du nombre analogiques et symboliques.

Le nouveau-né compare avec précision des quantités comprises entre 1 et 3 (Antell et Keating, 1983). Au-delà il procède à une évaluation approximative de la quantité. McCrink et Wynn ont montré en 2004 que des bébés de neuf mois jugent le caractère réaliste ou non de petites additions et soustractions présentées non verbalement dont le résultat est inférieur à cinq.

Ainsi les enfants ont accès à une représentation analogique de la quantité avant d'entrer dans le verbal. Par la suite, l'apprentissage et la mise en lien avec les représentations symboliques, auditives verbales, et visuelles arabes, affine cette estimation analogique des quantités qui devient plus précise. L'enfant passerait de la représentation analogique à la représentation verbale en comptant sur ses doigts. Les doigts constitueraient alors une représentation pré-symbolique. (Mirassou, 2010, in Chokron & Démonet, 2010).

La comparaison de nombres fait appel aux capacités de représentation analogique des nombres. Elle est soumise à :

- Un effet de distance (loi de Weber-Fechner), c'est-à-dire que les enfants de 3 mois discriminent 8 de 16 mais pas 8 de 12 (Lipton et Spelke, 2003 ; Xu et Spelke, 2000).
- Un effet de taille, plus les quantités sont grandes, plus les comparaisons ou le placement sur une ligne bornée de 0 à 10 ou 0 à 100 sont imprécis. Cet effet de taille tendrait à diminuer avec l'âge pour aboutir chez les enfants de CE1 à une représentation linéaire des quantités de 0 à 100 (Siegler et Opfer, 2003).

Booth et Siegler (2008) ont montré que dès le CP, la linéarité des estimations numériques est corrélée avec la performance aux opérations arithmétiques et la capacité d'apprentissage de la résolution d'opérations nouvelles. Or, les enfants issus de milieux sociaux défavorisés auraient plus de difficultés à dépasser cet effet de taille que les enfants de milieux sociaux moyens selon Siegler et Ramani (2008). Cependant, l'entraînement ludique à l'estimation linéaire des quantités permet une amélioration des performances arithmétiques de comptage, identification des nombres et comparaisons (Wilson et al, 2009).

En conclusion les enfants possèderaient un « sens du nombre » inné, s'affinant avec l'âge et qui serait en partie influencé par l'environnement socioculturel.

II. Les compétences arithmétiques

Depuis une trentaine d'années, de nombreuses recherches ont montré l'existence de capacités numériques préverbales chez le bébé. En plus des capacités de discrimination de numérosité et de compréhension de relations quantitatives, ces facultés comprendraient, des compétences arithmétiques, c'est-à-dire des aptitudes permettant de comprendre et d'anticiper le résultat d'opérations (Rousselle, 2005).

D'après les travaux de Wynn (1992), les bébés de 10 mois seraient capables de calculer avec précision les résultats d'opérations arithmétiques simples. Canobi et Bethune (2008) ont montré dans deux études que les enfants de maternelle comprennent que l'addition et la soustraction correspondent à une modification du nombre d'objets.

Les capacités arithmétiques de l'enfant s'inscriraient dans la continuité de celles du bébé, mais les études à cet âge, qui permettraient de confirmer cette hypothèse, sont quasiment inexistantes à l'heure actuelle.

Afin d'évaluer les performances arithmétiques des enfants, nous nous intéressons ici à la résolution de petites opérations (additions et soustractions) et de problèmes simples (la résolution de problèmes est en effet, une épreuve très utilisée dans le cadre scolaire).

1. Résolution mentale d'additions et de soustraction

Les stratégies utilisées pour réaliser une addition, de la plus élémentaire à la plus sophistiquée sont les suivantes (Carpenter et Moser, 1983):

- Comptage des objets
- Comptage sur les doigts
- Comptage verbal sans support concret
- Décomposition (exemple: 5+9= (9+1)+(5-1)=10+4) et récupération des faits arithmétiques en mémoire à long terme.

La stratégie du comptage verbal sans support concret comporte elle-même trois niveaux de complexité croissante:

- Compter à partir de 1 c'est-à-dire commencer le comptage à partir de 1 en incrémentant par pas de un la valeur du premier puis du second opérande.
- Surcompter, l'enfant commence le comptage à partir de la valeur du premier opérande et compte en incrémentant par pas de un la valeur du second opérande.
- Utiliser la stratégie du minimum (Groen, Parkman, 1972), il s'agit de « commencer le comptage à partir de la valeur de l'opérande le plus grand et compter en incrémentant par pas de un la valeur du second opérande » (Noël, 2005).

Pour résoudre une opération arithmétique mentalement, un enfant dispose de plusieurs stratégies simultanément. De plus, plusieurs stratégies peuvent être utilisées pour résoudre une même opération, par exemple, l'enfant peut surcompter en utilisant ses doigts. Ces stratégies ne sont pas enseignées explicitement mais découvertes par l'enfant avec la multiplication des expériences arithmétiques. La fréquence d'utilisation des stratégies varie avec l'âge comme l'explique la théorie de « chevauchement des vagues » (Siegler, 1996) :

Niveaux scolaires	Récupération	Minimum	Décomposition	Compter à partir de 1	Devinette
Maternelle	16	30	2	22	30
CP	44	38	9	1	5
CE1	45	40	11	0	5

Tableau 1. Pourcentage d'utilisation de chaque stratégie par les enfants d'âge préscolaire et scolaire (Siegler, 1987).

Enfin, les stratégies employées pour résoudre une soustraction sont identiques à celle utilisées pour les additions mais comportent en plus la stratégie d'addition indirecte correspondante qui consiste à calculer 5 + ? = 8 pour résoudre 8-5 (Baroody, 1984).

Nous réaliserons une analyse des différentes stratégies employées pas les enfants dans l'épreuve de résolution de petites opérations.

2. Résolution mentale d'additions et de soustraction

Selon Fayol, Thevenot et Devidal (2005), les enfants, comme les adultes, rencontrent dans leur vie quotidienne des situations-problèmes (ex : achats, échanges, mesures, comparaison). Les confrontations à ces situations-problèmes amènent les enfants à développer des représentations et des procédures de traitement qui sont peu à peu intériorisées si elles sont suffisamment sollicitées.

2.1. Les différents types de problèmes

Il est admis que le niveau de difficulté des problèmes ne peut se déterminer seulement par la nature des opérations requises (addition ou soustraction). La prise en compte des caractéristiques sémantiques a conduit à distinguer trois types de problèmes (Riley, Greeno & Heller, 1983) :

- Problèmes de Changement qui impliquent au moins une transformation. (Jean a X bonbons. Pierre lui donne Y bonbons. Combien de bonbons a-t-il maintenant ?)
  On distingue 6 sous-types de changement en fonction de la nature de la transformation, positive (addition) ou négative (soustraction) et de la recherche de l'inconnue portant sur l'état initial, sur la transformation ou sur l'état final.
- Problèmes de Combinaison qui impliquent des situations statiques (Jean a X bonbons dans une main et Y bonbons dans l'autre. Combien a-t-il de bonbons en tout ?)
- Problèmes de Comparaison qui mettent en œuvre des quantités statiques et une mise en relation avec des expressions telles que « plus que » ou « moins que ».

2.2. L'impact de la présentation des énoncés

Des études ont mis en évidence une hiérarchie de difficulté des problèmes arithmétiques en fonction du type (caractéristiques sémantiques) des problèmes et de la nature de l'inconnue (état initial, état final ou transformation). Cependant, d'autres travaux ont montré que l'impact des dimensions sémantiques se révélait parfois plus faible que celui de la formulation de l'énoncé du problème.

Les énoncés des problèmes sont souvent épurés : ne sont retenues que les informations indispensables pour la résolution du problème. Les erreurs d'interprétations sont ainsi limitées. Chez les enfants les plus jeunes, il existe des incompréhensions et des présuppositions (De Corte & Verschaffel, 1985). En effet, la formulation épurée des énoncés laisse souvent des informations implicites. La modification de la formulation, en explicitant les présupposés par exemple, permet une amélioration des performances.

D'autre part, Stern et Lehrndorfer (1992) ont montré que les enfants comprenaient mieux les énoncés quand ceux-ci faisaient référence à des situations familières et significatives. Ces caractères, familiarité et significativité, facilitent l'élaboration du modèle mental.

2.3. La résolution des problèmes

Pour résoudre un problème arithmétique, quatre phases sont nécessaires (Mayer, 1985) :

- La traduction du problème qui dépend de la présentation de l'énoncé (orale, écrite, manipulation) et des chiffres (verbale ou arabe). Cette phase nécessite des connaissances linguistiques et factuelles.
- L'intégration du problème, dépendant du type de problème (Changement, Combinaison, Comparaison).
- La planification qui nécessite de faire des essais, des hypothèses et de sélectionner les informations pertinentes. Elle dépend de la place de la question dans l'énoncé (la planification est plus facile quand la question est au début).
- L'exécution des calculs.

III. Les capacités sous-jacentes au développement arithmétique

Selon Brissiaud (1991), les enfants ont de meilleures performances en utilisant une représentation analogique plutôt qu'une représentation verbale du nombre. De plus, des études montrent que les jeunes enfants peuvent résoudre plus précocement des petites opérations (Huttenlocher, Jordan & Levine, 1994) et des problèmes simples (Jordan & al., 1995) quand ils sont présentés de façon non verbale.

D'autres études montrent que les mots-nombres permettent la résolution précise des soustractions. En effet, Donlan et al. (2007) avancent que les concepts arithmétiques se développent sans rapport avec la comptine numérique, contrairement à leur développement procédural qui est soumis à la maîtrise de celle-ci.

Au vu de ces différents résultats, nous cherchons à établir le poids des capacités verbales et non verbales dans le développement arithmétique de l'enfant. Nous proposons ci-après des rappels théoriques sur les épreuves proposées dans notre étude.

1. Les capacités verbales sous-jacentes

1.1. Comptine numérique

La comptine numérique est acquise précocement dans le développement.

Selon Baruk (1997), pour comprendre les nombres, il faut comprendre la « langue des nombres », à partir de son écoute. Elle propose d'apprendre la comptine numérique française dans un ordre non conventionnel, en commençant par les mots-nombres réguliers et transparents (les nombres « de 1 à 9 » ainsi que « trente, quarante…»), puis les mots-nombres réguliers et non transparents (comme « vingt » qui n'a pas de phonème commun avec « deux ») et enfin les mots-nombres irréguliers et opaques (« de 11 à 16 »).

Brissiaud (2003) parle de verbalisme en ce qui concerne les propositions de Baruk car elles s'appuient trop sur la langue des nombres. En effet, il s'agit d'apprendre par cœur des règles ou des systèmes qui reposent sur la langue, sans comprendre ce qui ce passe sur le plan analogique.

Fuson, Richards et Briars (1982) proposent un enseignement s'appuyant sur une suite régularisée « à l'asiatique ». Par exemple, 42 se lit « quatre dix deux » dans les langues asiatiques. Les constructivistes (tels que Brissiaud) proposent plutôt de croiser les différentes représentations possibles de la quantité pour aider l'enfant à construire le nombre et la numération.

La comptine numérique est construite en deux étapes, de 3 à 6 ans.

Durant la *phase d'acquisition*, l'enfant apprend qu'il existe une série de mots qui représentent des nombres. Cette acquisition se fait en rencontrant ces mots et en les répétant dans différents contextes. Pendant l'acquisition, la chaîne numérique est un tout indissociable pour l'enfant.

Les productions d'enfants à qui l'on demande de compter le plus loin possible sont constituées de plusieurs parties :

- Une partie conventionnelle et stable (suite correcte des nombres sur plusieurs essais). Une partie non conventionnelle mais stable (suite incorrecte de quelques nombres, avec oubli ou inversion, mais répétée de manière constante d'un essai à l'autre).
- Une partie ni stable ni conventionnelle (différente d'un essai à l'autre et ne respectant pas l'ordre conventionnel).

Durant *la phase d'élaboration*, la chaîne numérique est décomposée en éléments (les nombres). Les rapports entre les nombres apparaissent progressivement. Fuson, Richards et Briars (1982) décrivent cinq niveaux :

- Le niveau chapelet : les mots ne sont pas isolables et n'ont de sens que dans la suite (la chaîne numérique n'est utilisable qu'en partant du début).
- Le niveau de la chaîne insécable : les mots sont perçus comme des éléments séparés mais la chaîne n'est utilisable que dans son intégralité (l'enfant peut effectuer des tâches simples telles que des correspondances terme à terme ou de petites additions et soustractions).
- Le niveau de la chaîne sécable : l'enfant manipule plus facilement la chaîne grâce à l'émergence des liaisons entre les éléments (il peut compter à partir de … ou jusqu'à …, donner l'élément juste avant/après).
- Le niveau de la chaîne numérale : les mots sont individualisés, leur sens numérique est acquis et ils sont mis en relation avec les opérations arithmétiques (les réalisations de tâches à rebours sont encore très difficiles).
- Le niveau chaîne bidirectionnelle : la chaîne numérique est totalement maîtrisée dans les deux sens.

Pesenti (1995) note que les nombres de 1 à 16 sont mémorisés par cœur, car l'étiquette verbale qui leur est attribuée est totalement arbitraire en français, alors qu'au-delà, des règles de construction peuvent être perçues et appliquées. Les études interculturelles menées dans les années 1990-2000 ont montré qu'il existait un effet de régularité et un effet de longueur dans l'apprentissage et la mémorisation de la comptine numérique. Les enfants asiatiques apprennent donc plus facilement la leur que les enfants occidentaux car elle est régulière avec des noms de nombres courts (Fayol, 2005).

Pesenti et Rousselle (2001) ont défini la comptine numérique comme une des composantes de base du dénombrement (avec le pointage) et un précurseur cognitif et linguistique fondamental pour le développement des habiletés arithmétiques. Selon eux, la chaîne numérique influence l'acquisition des principes numériques de base de l'arithmétique comme la correspondance, la cardinalité et la conservation. Elle influerait également la façon dont l'enfant effectue différentes tâches arithmétiques, telles que l'addition (Fuson, 1982) et la soustraction (Carpenter, Moser & Romberg, 1982).

1.2. Empans

1.2.1. La mémoire de travail

Baddeley (1974 ; 2000) propose un modèle du fonctionnement cognitif de la mémoire de travail comprenant quatre composantes :

- La boucle phonologique
- Le calepin visuo-spatial
- L'administrateur central
- Le buffer épisodique

La boucle phonologique permet le maintien pendant une à deux minutes des informations verbales. Elle est divisée en deux sous-composantes, le stock-phonologique où les informations sont maintenues une à deux secondes, et la répétition subvocale qui permet le « rafraichissement » des informations afin de retarder leur oubli. L'empan endroit est mesuré avec la tâche de rappel sériel de chiffres dans l'ordre de présentation. Il dépend des capacités de la boucle phonologique qui sont variables d'un individu à l'autre et croissent avec l'âge. Chez l'adulte, on considère que l'empan numérique, ou quantité maximale de chiffres retenus temporairement, est de sept plus ou moins un.

Le calepin visuo-spatial permet, comme son nom l'indique, le maintien temporaire d'informations visuelles et spatiales.

La boucle phonologique et le calepin visuo-spatial agissent sous le contrôle de l'administrateur central, on parle de systèmes-esclaves. L'administrateur central remplit des fonctions exécutives, il module l'attention entre ses deux systèmes-esclaves, sélectionne et inhibe les informations, planifie les actions volontaires en lien avec les autres fonctions cognitives. L'empan envers dépend de la boucle phonologique pour la mémorisation des chiffres mais également de l'administrateur central pour la manipulation et restitution des chiffres dans l'ordre inverse. Il est mesuré avec la tâche de rappel sériel de chiffres dans l'ordre inverse de présentation. Les capacités de l'administrateur central sont limitées, variables et croissantes avec l'âge durant l'enfance.

Enfin, Baddeley ajoute en 2000 à son modèle de la mémoire de travail un quatrième composant, le buffer épisodique, aussi appelé mémoire tampon. L'information y serait stockée temporairement quelle que soit la modalité (verbale, visuelle) et intégrée afin d'être mise en lien avec la mémoire à long terme épisodique. Le buffer épisodique est également sous le contrôle de l'administrateur central.

1.2.2. La mémoire à long terme

Pour Squire (1987), cité dans Soprano, A.M., Narbona, J. (2009) la mémoire à long terme peut être divisée en deux grandes catégories, la mémoire déclarative et la mémoire procédurale.

D'une part, la mémoire déclarative rassemble les informations qui peuvent être verbalisées (déclarées). Elle est elle-même composée de la mémoire épisodique et de la mémoire sémantique (Tulving, 1972, cité dans Soprano, A.M., Narbona, J. (2009)). La mémoire épisodique est celle des souvenirs d'évènements, d'épisodes personnels, elle est fortement ancrée dans le temps et l'espace. Au contraire, les informations universelles, les savoirs, sont stockés en mémoire sémantique. Ainsi le souvenir de la situation d'apprentissage des tables de multiplication relève de la mémoire épisodique tandis que les faits arithmétiques en eux-mêmes tels que 3×3 = 9 ainsi que la chaîne numérique verbale sont conservés en mémoire sémantique.

D'autre part, Barrouillet, Fayol et Roussel, (2002) soulignent l'importance du traitement procédural dans la résolution des additions chez l'adulte. En effet, si certaines connaissances déclaratives (les faits arithmétiques) sont recherchées en mémoire à long terme, la résolution des additions fait particulièrement appel à l'activation de capacités procédurales. En 2003, Lépine, Fayol et Barrouillet confirme ces conclusions chez l'enfant de 10 ans et supposent que plus l'enfant est jeune, plus il fera appel à des techniques de résolution procédurales, manquant encore d'expérience pour avoir stocké suffisamment de faits arithmétiques en mémoire à long terme déclarative. La mémoire procédurale est donc impliquée dans la résolution de petites opérations simples puisqu'elle permet le développement et l'utilisation de stratégies de résolution telles que la décomposition par exemple.

1.2.3. Mémoire et acquisitions arithmétiques

La mémoire de travail est un système de maintien temporaire et de manipulation des informations verbales et visuelles au service de toutes les autres tâches cognitives et donc des activités arithmétiques. Elle est en lien avec la mémoire à long terme.

La mémoire de travail joue un rôle primordial dans la mémorisation des faits arithmétiques. En effet, un déficit de la mémoire de travail entraîne des erreurs de calcul et des oublis des opérandes en cours de traitement de l'opération, ce qui ne permet pas une association correcte des opérandes et du résultat (Thevenot et al, 2001).

En 1993, Geary a montré un lien entre de faibles capacités en mémoire de travail et des procédures de calculs immatures. « Plus généralement, les faibles capacités de mémoire de travail auraient un impact négatif, en cascade, non seulement sur les procédures de calcul mais aussi sur les activités de transcodage et sur la résolution de problèmes. » (Noël, 2009).

Les épreuves que nous utilisons font appel à différentes formes de mémoire.

D'une part, l'empan endroit et l'empan envers dépendent tous deux de la boucle phonologique de la mémoire de travail. Cependant, l'empan envers impliquerait une forte composante attentionnelle et exécutive via l'administrateur central.

D'autre part, la maîtrise de la comptine numérique fait état des capacités numériques verbales en mémoire à long terme.

Enfin, l'épreuve de rappel sériel de chiffres dans l'ordre canonique et non canonique donne une mesure des facilités de récupération en mémoire à long terme de la comptine numérique.

2. Les capacités non verbales sous-jacentes

2.1. Gnosies digitales

Les gnosies digitales correspondent à une capacité perceptivo-tactile, c'est-à-dire, à la perception et à la discrimination des doigts (sous stimuli tactile).

2.1.1. Les collections de doigts dans le développement arithmétique

Selon Brissiaud (2003), l'utilisation des collections-témoins de doigts joue un rôle important chez l'enfant car elles lui permettent de communiquer à propos des quantités et de calculer.

La capacité à représenter les petites quantités par une collection de doigts apparait très tôt dans le développement de l'enfant (Descoeudres, 1921). En effet, les collections-témoins, représentations analogiques de la quantité, sont plus facilement accessibles pour les enfants que des signes arbitraires, représentations symboliques, comme les chiffres arabes ou leur pendant verbal. Les représentations analogiques expriment la taille de la collection par des correspondances terme à terme entre les objets et leurs représentations (traits, bâtons ou points). Ces correspondances permettent à l'enfant de construire la signification du nombre. Une exposition répétée aux collections-témoins permet à l'enfant d'assimiler et de retenir les correspondances entre les configurations de doigts et les mots-nombres.

Contrairement aux autres collection-témoins où seule la vue entre en jeu, les configurations de doigts font aussi appel à des sensations somesthésiques et à la motricité. L'enfant peut donc avoir accès à la quantité sans avoir recours à sa vision. L'enfant se construit une représentation mentale et/ou proprioceptive des collections-témoins. Ces représentations l'aideraient à calculer dans sa tête, sans réalisation physique.

Ainsi, les collections-témoins de doigts sont impliquées dans l'accès à la signification des mots-nombres et de la quantité. La mise en relation des collections-témoins de doigts et le mot-nombre correspondant permet un accès à la signification quantitative de ce mot-nombre.

2.1.2. Relation entre les gnosies digitales et les performances arithmétiques

Fayol, Barrouillet et Marinthe (2001) ont réalisé plusieurs études longitudinales sur les gnosies digitales chez des enfants.

Dans la première étude (1998), des enfants de GSM et de CP ont été soumis à des tests d'estimation de leur développement intellectuel, des épreuves neuropsychologiques de perceptions (simultagnosies, gnosies digitales, discrimination digitale et graphiesthésie) et des tâches arithmétiques (écriture de nombres, numération, opérations, résolution de problèmes). Ils ont ainsi montré que le quotient de développement de l'enfant était un moins bon prédicteur des performances arithmétiques que les performances aux épreuves neuropsychologiques.

Leur troisième étude (2001) a mis en évidence que le score à 5 ans à des épreuves perceptivo-tactiles était un meilleur prédicteur des performances à 8 ans à des tâches arithmétiques que le quotient de développement de l'enfant (mesuré à 8 ans). Cette étude à également permis de montré une dissociation entre les activités à dominante verbale ou non.

2.2. Estimation globale de la quantité sur une ligne numérique

Le cerveau humain représenterait les quantités sur une ligne numérique mentale orientée de gauche à droite.

2.2.1. Représentation logarithmique de la ligne numérique mentale

La représentation des quantités sur la ligne numérique mentale ne serait pas linéaire mais logarithmique. En effet, les grandes quantités seraient compressées sur la droite de la ligne numérique mentale (Dehaene, 1992).

2.2.2. D'une représentation logarithmique à une représentation linéaire ?

Siegler et Opfer (2003) ont évalué la représentation globale des quantités sur la ligne numérique mentale en proposant à des enfants de primaire d'estimer la quantité en plaçant des repères sur une ligne horizontale orientée de gauche à droite et bornée entre 0 et 10 ; 0 et 100 ; 0 et 1000. Ils ont constaté que la ligne numérique mentale perd son aspect logarithmique et devient linéaire de 0 à 100 au CE1, et de 0 à 1000 au CE2.

2.2.3. Linéarité de la ligne numérique mentale et performances arithmétiques.

Booth & Siegler, (2008) ont montré chez des enfants de CP, une corrélation entre la linéarité des représentations des quantités et les performances aux opérations arithmétiques. Siegler et Ramani (2008) ont entraîné la linéarité des représentations de quantité chez des enfants de façon ludique et ont constaté une amélioration de leurs performances arithmétiques

Chapitre II

PROBLEMATIQUE ET HYPOTHESES

I. Problématique et hypothèse générale

L'acquisition de l'arithmétique est sous-tendue par des capacités analogiques de manipulation du nombre (non verbales) et symboliques (ici verbales). Plusieurs études ont montré l'implication de chacune de ces habiletés sous-jacentes. Nous cherchons à en mesurer les poids respectifs. Ce qui nous amène à proposer la problématique suivante:

Quel est le poids des compétences verbales et non verbales sur les performances arithmétiques de 4 à 6 ans?

Les premiers résultats de cette étude longitudinale obtenus par Mesdemoiselles De Lajudie et Moutote (2010) nous orientent vers l'hypothèse générale suivante:

Le poids des compétences verbales est supérieur à celui des compétences non-verbales sur les performances arithmétiques des enfants de 4 à 6 ans.

II. Hypothèses opérationnelles

Afin d'évaluer les performances arithmétiques, De Lajudie et Moutote (2010) ont proposé aux enfants en MSM et GSM une épreuve de résolution de petites opérations. Nous avons ajouté au protocole dès la fin de GSM et au CP une épreuve de résolution de problèmes impliquant des opérations simples. Ceci afin d'élargir les compétences arithmétiques testées et ainsi d'approcher au mieux la réalité clinique et scolaire.

Les résultats obtenus par De Lajudie et Moutote (2010) nous amènent à émettre les hypothèses opérationnelles suivantes:

L'épreuve de la comptine numérique est très fortement corrélée aux scores obtenus à la résolution d'opérations et de problèmes.

Les performances mesurées à l'épreuve des gnosiques digitales sont faiblement corrélées à la réussite aux opérations et aux problèmes.

Les scores obtenus à l'épreuve de représentation de la quantité sur une ligne numérique orientée bornée de 0 à 10 sont faiblement corrélés aux performances aux épreuves de résolutions d'opérations et de problèmes.

L'empan endroit est faiblement corrélé aux scores de l'épreuve de résolution d'opérations et de problèmes.

Nous avons ajouté pour les enfants en CP, une épreuve d'empan envers, qui donne une mesure des capacités en mémoire de travail verbale sur un support numérique. En effet, la résolution d'opérations et de problèmes impose une rétention et un traitement simultané des données numériques verbales. Les performances mesurées à l'épreuve d'empan envers sont corrélées à la réussite aux opérations et aux problèmes.

La réussite aux opérations est corrélée aux performances aux problèmes.

III. Questionnements

Au travers de cette étude longitudinale nous cherchons également à répondre à plusieurs questions. Les performances aux épreuves sont-elles corrélées de la GSM au CP? Y a-t-il une corrélation inter-épreuves en fin de GSM? Au CP? La résolution d'opérations et de problèmes impliquant des opérations de difficulté comparable sont-elles corrélées aux mêmes capacités verbales et non verbales, ou se distinguent-elles?

D'un point de vue qualitatif, nous nous posons d'autres questions. Quels sont les liens entre la progression des performances aux différentes épreuves proposées et les apprentissages formels et informels ? Comment évoluent les stratégies de résolution des opérations ? Quels sont les types de problèmes les mieux réussis en fonction de l'âge ?

Chapitre III

PARTIE EXPERIMENTALE

I. Population

Cette étude longitudinale a permis le suivi d'enfants du groupe scolaire public Anatole France de Villeurbanne (69) de la MSM au CP.

Mesdemoiselles De Lajudie et Moutote avaient rencontré 34 enfants scolarisés en MSM en juin 2009, et en avaient revu 25 en décembre 2009 en GSM. Nous avons poursuivi leur travail en juin 2010 et en janvier 2011, les enfants étaient alors au nombre de 20 en fin de GSM et au nombre de 17 au début du deuxième trimestre de CP. De ce fait, l'analyse des résultats a porté sur 25 enfants de la MSM à la GSM, et sur 17 enfants de la MSM au CP.

La perte expérimentale est principalement liée à la non remise des autorisations parentales.

Notre population se répartit ainsi :

Date	juin-09	déc-09	juin-10	janv-11
n	34	25	20	17
n sexe masculin	12	10	8	7
n sexe féminin	22	15	12	10
Âge min. (mois)	52	58	64	71
Âge max. (mois)	65	71	77	84
Âge moyen (mois)	58	64	70	77
Ecart-Type (mois)	4	4	4	4

Tableau 2. Répartition de la population de juin 2009 à janvier 2011

Les critères d'inclusion pour cette épreuve longitudinale sont:

- Participation aux quatre sessions, de la MSM au CP.
- Scolarisation en cursus classique, successivement MSM, GSM, CP.
- Autorisation parentale écrite et signée.

Présence pour la passation aux deux séances d'une demi-heure.

II. Epreuves

Nous évaluons individuellement les enfants lors de deux sessions à sept mois d'intervalle. Chaque session est scindée en deux rencontres d'une demi-heure chacune afin de préserver l'attention des participants.

La première demi-heure est consacrée à la passation de quatre épreuves évaluant les compétences verbale et non verbales de traitement du nombre dans l'ordre suivant: empan, estimation de la quantité sur une ligne numérique, gnosies digitales et comptine numérique.

La seconde demi-heure est réservée à la passation des épreuves arithmétiques que sont la résolution d'opérations et de problèmes.

Nous avons ajouté une épreuve verbale supplémentaire en début de deuxième séance au CP: une mesure de l'empan endroit et envers.

Afin de garantir la fidélité de cette étude longitudinale nous avons conservé le protocole de Mlles De Lajudie et Moutote que nous citons ci-dessous.

1. Protocole de l’épreuve de comptine numérique

1.1. Principe

Cette épreuve de la comptine numérique a été proposée par Moutote et De Lajudie (2010) qui se sont inspirées du Tedi-Math (Van Nieuwenhoven, Noël & Grégoire, 2001). Le Tedi-math est un Test Diagnostique des Compétences de Base en Mathématiques. Cet outil a été construit sur des fondements piagétiens, neuropsychologiques et cliniques. Il s’adresse aux enfants de la seconde moitié de MSM au CE2.

1.2. Matériel

Pour cette épreuve, aucun matériel spécifique n’est nécessaire. L’enfant répond oralement aux questions posées.

1.3. Passation

L’épreuve comporte les items suivants :

- Peux-tu compter le plus loin possible (si l’enfant le demande ou s’il s’est montré hésitant, on lui propose un deuxième essai) ?
- Peux-tu compter jusqu’à 9 ?
- Peux-tu compter jusqu’à 20 ?
- Peux-tu compter à partir de 3 ?

- Peux-tu compter à partir de 13 ?
- Peux-tu compter de 5 à 9 ?
- Peux-tu compter 15 à 19 ?
- Peux-tu compter en arrière ?
- Peux-tu compter en arrière à partir de 7 ?
- Peux-tu compter en arrière de 8 à 4 ?
- Peux-tu compter en arrière 18 à 14 ?

1.4. Notation

Pour la première question, nous relèverons le dernier nombre proposé par l'enfant, à condition que la comptine énoncée jusqu'à ce nombre soit correcte (nombres énoncés dans l'ordre). Nous tolérons l'oubli d'un seul nombre si la suite est correcte.

La cotation s'effectue de la façon suivante :

Si le dernier nombre proposé est compris entre 0 et 9 →1 point

- entre 10 à 19→ 2 points
- entre 20 à 29 →3 points
- entre 30 à 39→ 4 points
- entre 40 à 49 →5 points
- entre 50 à 59→6 points
- entre 60 à 69→7 points
- etc.

L'enfant a droit à un deuxième essai, s'il le souhaite, ou nous l'encourageons à réessayer si nous estimons qu'il n'a pu donner le meilleur de lui-même (bruit, timidité,…). En cas de deuxième essai, nous gardons la meilleure des deux performances.

Pour les questions suivantes, nous attribuons un point par question réussie (0 point en cas d'échec à la question). Le total de tous les points obtenus par l'enfant est ensuite analysé.

2. Protocole de l'épreuve d'empan.

2.1. Principe

Cette épreuve est inspirée d'une épreuve de rappel sériel de chiffres issue des travaux de Blanquart (2008) proposée par De Lajudie et Moutote (2010).

Les performances en mémoire de travail dépendent à la fois des capacités de cette dernière et des connaissances disponibles en mémoire à long terme (Fayol & Gaonach, 2007).

En demandant aux enfants un rappel immédiat dans l'ordre de présentation de suites de chiffres en condition canonique (C) d'une part et en condition non canonique (NC) d'autre part, nous pourrons comparer ces deux performances et voir à quel point l'enfant s'appuie sur ses connaissances stockées en MLT pour soulager la MCT lors d'une épreuve d'empan. Pour des enfants de MSM et GSM, on ne retiendra que les suites de petits nombres (de 1 à 9) de trois, puis de quatre et enfin de cinq chiffres.

2.2. Matériel

Aucun matériel spécifique n'est nécessaire car la passation se fait à l'oral.

2.3. Passation

L'expérimentateur et l'enfant sont assis face à face.

Les nombres sont énoncés lentement à raison d'un par seconde. Après chaque suite, nous laissons le temps nécessaire à l'enfant pour restituer la suite entendue. L'évaluateur ne fournit aucune répétition ni correction mais encourage l'enfant à maintenir son attention. En cas de doute, nous proposons à nouveau l'item à l'enfant et nous notons qualitativement sa réponse.

Les suites et l'ordre de présentation, identiques pour tous les enfants, sont extraits de l'étude de Roch (2009) et adaptés pour des enfants de MSM et GSM. Les suites proposées sont les suivantes :

- 234
- 324
- 678
- 786
- 2345
- 4253
- 5678
- 6857
- 12345
- 35241
- 56789
- 75986

2.4. Notation

Nous attribuons 1 point par item réussi (répétition de tous les chiffres, dans l'ordre et sans répétition). Nous établissons ensuite des scores pour chaque type d'items (suite de trois chiffres dans l'ordre canonique ; quatre chiffres dans l'ordre canonique ; cinq chiffres dans l'ordre canonique ; trois chiffres dans l'ordre non canonique ; quatre chiffres dans l'ordre non canonique ; cinq chiffres dans l'ordre non canonique). Nous obtenons 6 scores notés sur 2 à partir desquels nous mènerons notre analyse.

3. Protocole de l'épreuve d'empans endroit et envers

3.1. Principe

Cette épreuve fait appel à l'attention/concentration et à la mémoire de travail auditive verbale. La restitution de chiffres en ordre inverse implique plus largement la mémoire de travail que la restitution de chiffres en ordre direct car elle demande un maintien et un traitement simultané de la suite de chiffres. Nous obtenons ainsi une mesure des empans mnésiques verbaux endroit et envers. Nous avons ajouté cette épreuve au protocole pour les enfants au CP.

3.2. Matériel

Nous utilisons l'épreuve de Mémoire des chiffres en Ordre direct et en Ordre Inverse de l'Echelle de Mémoire pour Enfants (CMS), (M.J. Cohen, 2001).

3.3. Passation

Nous utilisons le protocole de passation de L'échelle de Mémoire pour Enfants (CMS).

Nous lisons les chiffres au rythme de 1 par seconde puis nous demandons au sujet de répéter la séquence. Nous baissons le ton de la voix à chaque dernier chiffre de chaque essai. Il y a deux essais pour chaque item, soit deux séries comportant chacune un même nombre de chiffres, mais des chiffres différents. Nous arrêtons lorsque le sujet échoue aux deux essais d'un même item. Nous passons alors à la répétition en ordre inverse et arrêtons l'épreuve à nouveau lorsque le sujet échoue aux deux essais d'un même item.

Consigne donnée à l'enfant pour la répétition en ordre direct: « Je vais te dire des chiffres. Ecoute attentivement et quand j'aurai fini, redis-les-moi exactement dans le même ordre que tu les as entendus. Par exemple, si je dis 1,2, tu diras 1, 2. ».

Consigne donnée à l'enfant pour la répétition en ordre inverse: « Maintenant, je vais te dire d'autres chiffres, mais cette fois quand j'aurai fini, tu devras me les redire en sens inverse. Par exemple, si je te dis 3, 4, tu dis…. »

Si l'enfant répond correctement: « C'est ça » et nous commençons l'épreuve.

Si l'enfant ne répond pas correctement: « Ce n'est pas exactement ça. Je t'ai dit 3, 4 et tu aurais dû me dire 4,3. Est-ce que tu as compris? ». Nous répétons une fois si nécessaire et commençons l'épreuve.

3.4. Notation

Nous notons le nombre maximal de chiffres répétés en ordre direct puis le nombre maximal de chiffres restitués en ordre inverse. Nous obtenons ainsi une mesure des empans verbaux endroit et envers qui sera analysée.

Les items proposés sont les suivants:

Ordre direct

1. Essai 1 3 - 5

   Essai 2 7 - 2

2. Essai 1 2 - 8 - 6

   Essai 2 6 - 3 - 4

3. Essai 1 6 - 2 - 5 - 8

   Essai 2 2 - 4 - 1 - 7

4. Essai 1 9 - 5 - 1 - 4 - 8

   Essai 2 5 - 8 - 2 - 1 - 6

5. Essai 1 4 - 7 - 8 - 1 - 6 - 3

   Essai 2 7 - 3 - 9 - 6 - 8 - 4

6. Essai 1 6 - 1 - 7 - 4 - 2 - 3 - 8

   Essai 2 9 - 3 - 8 - 6 - 5 - 1 - 2

7. Essai 1 5 - 3 - 8 - 7 - 2 - 1 - 6 – 4

   Essai 2 2 - 4 - 9 - 5 - 7 - 1 - 6 - 3

8. Essai 1 1 - 6 - 4 - 5 - 9 - 7 - 2 - 8 - 3

   Essai 2 4 - 5 - 2 - 3 - 6 - 8 - 9 -7 - 1

Ordre inverse

1. Essai 1 3 - 8

   Essai 2 7 - 4

2. Essai 1 4 - 8 - 3

   Essai 2 3 - 6 - 8

3. Essai 1 5 - 2 - 9 - 6

   Essai 2 8 - 3 - 4 - 9

4. Essai 1 4 - 7 - 1 - 5 - 3

   Essai 2 9 - 2 - 7 - 5 - 8

5. Essai 1 1 - 8 - 6 - 9 - 5 - 2

   Essai 2 3 - 4 - 6 - 9 - 7 - 1

6. Essai 1 8 - 2 - 5 - 4 - 9 - 3 - 2

   Essai 2 4 - 1 - 5 - 8 - 7 - 2 - 9

7. Essai 1 6 - 8 - 9 - 5 - 1 - 2 - 6 - 3

   Essai 2 3 - 2 - 1 - 8 - 7 - 5 - 9 – 4

4. Protocole de l'épreuve de gnosies digitales

4.1. Principe

L'étude de Fayol et al. (1998) proposée à des enfants de GSM est à l'origine de cette épreuve. De Lajudie et Moutote (2010) ont retenu les épreuves de reconnaissance de stimuli suivantes :

- un doigt touché
- deux doigts touchés simultanément
- deux doigts touchés successivement

4.2. Matériel

Nous utilisons un carton opaque placé entre la main et le regard de l'enfant afin que celui-ci ne puisse voir ses mains lorsque les doigts sont stimulés.

4.3. Passation

La main dominante de l'enfant aura été repérée lors de l'épreuve d'estimation de la quantité sur la ligne numérique. Celle-ci sera utilisée dans le test de reconnaissance. Pour les enfants ambidextres ou non encore latéralisés, le test décrit ci-dessous sera réalisé pour les deux mains.

Placer la main dominante de l'enfant à plat, la paume posée sur la table. L'évaluateur cache la main aux yeux de l'enfant avec un carton. Après avoir pressé légèrement un ou deux doigts au niveau de l'ongle, l'évaluateur demande à l'enfant de désigner avec l'index de la main controlatérale le ou les doigts touchés. Si l'enfant propose les numéros ou les noms des doigts, nous nous assurons que nous utilisons le même code (ex : pouce = doigt 1, index = doigt 2…) et dans ce cas, nous acceptons ses réponses.

Les stimuli seront présentés dans l'ordre aléatoire ci-dessous. Cet ordre sera le même pour tous les enfants. Chaque doigt est touché deux fois par série.

- Reconnaissance d'un doigt : 3-5-1-4-2-5-2-4-3-1.
- Reconnaissance de 2 doigts touchés simultanément : 1-3 / 2-5 / 3-2 / 4-1 / 5-4.
- Reconnaissance de 2 doigts touchés successivement : 1-3 / 4-2 / 3-4 / 5-2 / 4-5.

4.4. Notation

Nous attribuons un point pour chaque doigt correctement reconnu. Nous obtenons pour chaque série un score sur 10, que nous analyserons ensuite.

5. Protocole de l'épreuve d'estimation de la quantité sur une ligne numérique

5.1. Principe

Cette épreuve est issue de celle de Siegler et Booth (2004) et a été proposée par De Lajudie et Moutote en 2010.

5.2. Matériel

- feuilles de présentation et 18 feuilles de test comportant une ligne bleue non graduée horizontale de 25 cm, et deux nombres inscrits aux extrémités (sur chaque feuille) : 0 à gauche et 10 à droite. Les feuilles sont agrafées sous forme de carnet individuel.
- 1 carnet comportant, dans un ordre aléatoire choisi, les 18 nombres proposés à l'enfant : chacun des nombres de 1 à 9 est proposé deux fois.
- 1 feutre.

5.3. Passation

Nous familiarisons d'abord l'enfant avec notre matériel: nous jouons avec lui le rôle d’une grenouille qui fait des sauts plus ou moins loin sur le sol. Nous faisons ensemble un saut de grenouille jusqu’à 0 (nous restons sur place) et un jusqu’à 10 (nous sautons le plus loin possible), et nous lui demandons de faire tout seul un saut à 4 et un saut à 1. Nous complétons par d’autres sauts (à 2, à 3…) si cela semble nécessaire. Nous marquons à chaque fois le point d’arrivée de « l’enfant grenouille » sur la piste proposée. Lors du travail sur la ligne numérique, l’enfant ne pourra pas se référer aux traces laissées par la phase de familiarisation.

Ensuite nous expliquons à l’enfant que nous allons reproduire cette expérience sur une feuille : nous le laissons choisir un feutre en disant que c’est une petite grenouille qui va sauter dans une mare (la ligne bleue tracée sur la feuille). Nous présentons alors la première feuille de passation à l’enfant et lui demandons de faire un point à l’endroit où la petite grenouille atterrirait si elle sautait à 0, puis à 10 (soit les deux nombres inscrits à chaque extrémité de la ligne). En cas d’échec, nous disposons d’une deuxième feuille de démonstration sur laquelle nous indiquons par un point chaque borne (0 à gauche et 10 à droite).

Nous lui présentons ensuite successivement les deux séries de nombres suivantes :

- les chiffres de 1 à 9 dans un ordre aléatoire : 6, 2, 8, 4, 7, 5, 3, 1, 9.
- les mêmes chiffres dans un autre ordre aléatoire : 4, 6, 9, 2, 5, 1, 3, 8, 7.

Les consignes pour cette épreuve sont les suivantes :

Familiarisation avec l’épreuve : Prendre l’enfant par la main (s’il l’accepte), et lui proposer de faire des sauts de grenouille : « On va faire des sauts de grenouille : si on veut sauter à 0, on va atterrir ici (le faire avec l’enfant et déposer un papier sur le point d’arrivée). Et si on veut sauter à 10, on va atterrir très très loin (on aide l’enfant à sauter loin et on marque le point d’arrivée). Maintenant, est-ce que tu peux me montrer comment tu fais un saut jusqu’à 4 ? et un saut jusqu’à 2 ? » On félicite l’enfant et on marque le résultat sur le sol.

Feuilles de présentation : « Maintenant nous allons refaire la même chose dans un petit carnet. On va dire que ce feutre est une petite grenouille qui va sauter dans une mare (lui montrer la ligne bleue). Si la petite grenouille est assise là et qu’elle saute à 0, montre-moi où elle va atterrir ? et si elle saute à 10 ? » (en cas d’échec on montre à l’enfant sur la deuxième feuille de passation : « Regarde, si elle saute à 0, elle va arriver là. Et si elle saute à 10, elle va aller très loin, jusque là »). A chaque fois, on marque un point au feutre au point ciblé.

Feuilles de tests : « Maintenant, tu vas me montrer tout seul et faire un petit point au feutre là où la petite grenouille va arriver si elle saute à 6 (lui dire le nombre à l’oral en lui montrant le chiffre écrit), et à 2… »

5.4. Notation

Sur chaque ligne numérique, nous mesurons en centimètres la distance entre la borne 0 et le point proposé par l'enfant. Puisque chaque nombre est proposé deux fois, nous faisons la moyenne entre les deux essais : nous obtenons ainsi 9 valeurs pour chaque enfant. Ce sont ces valeurs, ainsi que leurs moyennes, pour chaque enfant, que nous analyserons ensuite.

6. Protocole de l'épreuve de résolution des opérations

6.1. Principe

De Lajudie et Moutote (2010) ont proposé cette épreuve de résolution de petites opérations. Ces opérations sont présentées non verbalement ce qui faciliterait la réussite (Jordan et al, 1995).

6.2. Matériel

Nous utilisons une boîte opaque dont la face antérieure peut se rabattre, de façon à cacher ou laisser voir l'intérieur de la boîte. Celle-ci est séparée de son couvercle. La boîte est peinte en bleu clair de sorte que les figurines soient bien visibles lorsqu'elles sont posées à l'intérieur. Les objets manipulés sont de petits animaux marins en mousse (des dauphins violets, des poissons verts, des baleines bleues, des crabes orange, des étoiles jaunes et des tortues vertes). L'enfant a devant lui le couvercle de la boîte et une petite pile de figurines.

6.3. Passation

L'enfant est assis à une table face à l'expérimentateur. Sur la table, la boîte est posée en position ouverte devant l'examinateur (l'enfant doit pouvoir en voir l'intérieur), et le couvercle devant l'enfant. Avant de commencer l'expérimentation, l'enfant choisit avec quel matériel il veut travailler parmi les six sortes d'animaux proposées. Nous pourrons, au cours de l'expérimentation, changer de matériel pour toujours remobiliser l'attention de l'enfant.

Le protocole comprend deux opérations d'exemple et 24 opérations de test. Il consiste à présenter de manière non verbale des opérations simples. Pour cela, l'examinateur pose le premier opérande (il s'agit du premier terme de l'opération) dans sa propre boîte, ouverte devant l'enfant. Puis il ferme la boîte et ajoute ou enlève les objets correspondant au deuxième opérande. Enfin, il invite l'enfant à mettre « pareil » de figurines dans le couvercle de la boîte posé devant lui (qui correspond au résultat de l'opération).

L'enfant est fortement encouragé à être attentif : « Regarde bien ce que je fais », « Tu as bien vu ce qu'il y a dans ma maison ? », mais on ne lui présente jamais l'opération dans la modalité verbale. L'expérimentateur interagira avec l'enfant et prendra en note ses réponses sur les plans quantitatif et qualitatif.

On propose d'abord les deux opérations d'exemple, puis les petites opérations dans un ordre aléatoire, et enfin les grandes opérations dans un ordre aléatoire. Ces ordres aléatoires seront différents pour chaque enfant.

Les opérations proposées sont les suivantes :

Opération d'exemple	1 + 1 2 − 1		
Petites opérations	3 + 1 3 + 2 3 − 1 3 − 2	4 + 1 4 + 2 4 − 1 4 − 2	5 + 1 5 + 2 5 − 1 5 − 2
Grandes opérations	6 + 1 6 + 2 6 − 1 6 − 2	7 + 1 7 + 2 7 − 1 7 − 2	8 + 1 8 + 2 8 − 1 8 − 2

Tableau 3. Items proposés dans l'épreuve d'opérations

6.4. Notation

Nous attribuons un point par opération réussie et nous obtenons les scores suivants, que nous reprendrons dans notre analyse des résultats :

- Petites additions /6
- Petites soustractions /6
- Grandes additions /6
- Grandes soustractions /6

7. Protocole de l'épreuve de résolution des problèmes

7.1. Principe

La résolution d'opérations dans un problème implique un faisceau de capacités, arithmétiques, verbales, exécutives (attention, planification), mnésiques et représentationnelles notamment. Il sera intéressant d'établir une comparaison avec les résultats obtenus à la réussite aux opérations seules. Nous utilisons l'épreuve « Opérations avec énoncé verbal » issue du Tedi-Math, Test Diagnostique des Compétences de Base en Mathématiques (2001). Nous avons ajouté cette épreuve au protocole de l'étude longitudinale, en fin de GSM et CP.

7.2. Matériel

Le matériel est composé de huit fiches comportant chacune un problème verbal. La moitié des problèmes implique une addition, l'autre moitié une soustraction. Les opérations arithmétiques impliquées sont simples.

7.3. Passation

L'examinateur lit à l'enfant un à un chaque problème et note ses réponses au fur et à mesure. L'énoncé peut être répété si besoin. L'épreuve comporte un critère d'arrêt de 5 échecs consécutifs.

Les problèmes proposés sont les suivants:

- Item 1: Denis a deux billes. Il en gagne deux. Combien de billes a-t-il en tout?
- Item 2: Jean a quatre cerises. Il en mange deux. Combien de cerises lui reste-t-il?
- Item 3: Caroline a trois livres. Son papa lui donne cinq nouveaux livres. Combien de livres a-t-elle en tout ?
- Item 4: Sophie a cinq billes. Elle en perd trois. Combien de billes lui reste-t-il?
- Item 5: Il y a quatre poissons dans le bocal. David ajoute des poissons. Maintenant il y a huit poissons dans le bocal. Combien David a-t-il ajouté de poissons?
- Item 6: Sept oiseaux sont posés sur le mur. Des oiseaux s'envolent et il en reste trois sur le mur. Combien d'oiseaux se sont envolés?
- Item 7: Pierre a des billes. Il en gagne trois à la récréation. Maintenant il en a six. Combien Pierre avait-il de billes avant la récréation?
- Item 8: Julie a des œufs dans son panier. Elle en casse deux. Maintenant, il lui reste trois œufs. Combien Julie avait-elle d'œufs dans son panier avant d'en casser?

7.4. Notation

Nous attribuons 1 point par item réussi. Nous obtenons un total sur 8, que nous analyserons ensuite.

Chapitre IV

PRESENTATION DES RESULTATS

I. Analyse statistique

L'objectif de notre travail, qui fait suite à celui qu'ont conduit Mlles De Lajudie et Moutote, est d'essayer de déterminer quels sont les prédicteurs de la réussite en arithmétique en Cours Préparatoire (CP) – ici assimilée à la réussite en résolution d'opérations (additions et soustractions) et de problèmes – chez des enfants de Grande Section Maternelle (GSM). Dans un précédent travail soutenu en 2010, nos camarades avaient montré que le meilleur prédicteur de la réussite aux opérations en GSM est la maîtrise de la comptine numérique. Leurs résultats avaient également mis en avant une contribution plus modeste de l'empan. Nous allons, nous, étudier comment évoluent les performances au cours de l'année suivante sur un groupe plus réduit d'enfants (n = 17), toujours en vue de rechercher s'il est possible de prédire les performances ultérieures obtenues consécutivement à un enseignement formel (en CP) à partir de performances recueillies sur des enfants n'ayant pas encore, en GSM, reçu un tel enseignement. Pour cela, nous présenterons successivement les résultats des 17 enfants aux épreuves qui leur ont été proposées en GSM ; puis à celles qu'ils ont passées en CP. Nous terminerons par une mise en relations des performances à ces deux niveaux de scolarité.

Les épreuves proposées donnent les valeurs suivantes:

- Score de la comptine verbale sur 30 (noté COMPT)
- Score de l'empan en GSM, sur 12 noté EMPAN
- Score des gnosies digitales noté sur 30 (GNOSIES)
- Score à la ligne numérique ramené à un indice (R2LIN)
- EMPEND et EMPENV, qui correspondent à la mesure des empans endroits et envers en CP respectivement notés sur 8 et 7.
- Score aux opérations, noté OPE sur 24
- Score aux problèmes notés PROB sur 8

Les notations 3 et 4 (COMPT3, COMPT4) correspondent à la troisième et quatrième passation (fin de GSM et CP).

1. Performances en GSM

Les moyennes et dispersions aux différentes épreuves apparaissent dans le tableau 4.

	Min	Max	Mean	Std.Dev.
Variable				
COMPT3 (sur 30)	3.00000	20.00000	10.82353	4.811903
EMPAN3 (sur 12)	5.00000	11.00000	8.35294	2.089892
GNOSIES3 (sur 30)	20.00000	28.00000	23.82353	2.789160
R2LIN	.00280	.95400	.68059	.304900
OPE3 (sur 24)	2.00000	24.00000	14.64706	5.656204
PROB3 (sur 8)	.00000	8.00000	3.41176	2.550951

Tableau 4. Analyse statistique : Moyennes et dispersion pour chaque épreuve en fin de GSM

Les OPErations et le PROBlèmes sont faiblement réussis. Il y a une grande hétérogénéité des résultats pour la COMPTine et les OPErations. Les GNOSIES digitales sont bien réussies.

Les corrélations aux différentes épreuves sont rapportées au tableau 5.

	COMPT3	EMPAN3	GNOSIES3	R2LIN	OPE3	PROB3
COMPT3	1.00000	.35462	.12327	-.27061	**.70025**	**.67839**
EMPAN3	.35462	1.00000	.06496	-.02747	.02177	.13516
GNOSIES3	.12327	.06496	1.00000	-.01082	.09089	.22167
R2LIN	-.27061	-.02747	-.01082	1.00000	-.29191	-.25345
OPE3	**.70025**	.02177	.09089	-.29191	1.00000	**.57382**
PROB3	**.67839**	.13516	.22167	-.25345	**.57382**	1.00000

Tableau 5. Tableau des corrélations entre les épreuves en fin de GSM

La COMPtine numérique est fortement corrélée aux OPErations et aux PROBlèmes. Les OPERations et les PROBlèmes sont corrélés. En revanche l'EMPAN et les GNOSIES sont faiblement corrélés aux opérations et aux PROBlèmes. R2LIN est faiblement corrélé aux OPERations et aux PROBlèmes.

Nous nous interrogeons quant aux variables indépendantes (VI) susceptibles d'expliquer en GSM, les performances aux opérations et en résolution de problèmes. Pour tenter d'apporter une réponse, nous avons réalisé une analyse de régression dite standard en entrant toutes les variables indépendantes (COMPT, EMPAN, GNOSIES, R2LIN) et en prenant successivement les performances aux OPErations et aux PROBlèmes comme variables dépendantes (VD).

Les résultats de l'analyse de régression portant sur la VD OPE font apparaître que le modèle explique 55% de la variance ($p < .05$). Une seconde analyse, ascendante (= Forward), montre que la VI COMPT sort en premier et explique 49% de variance ($p < .002$), suivie de EMPAN, qui ajoute une contribution propre de 6% (ns).

Les résultats de l'analyse de régression portant sur la VD PROB font apparaître que le modèle explique 51% de la variance ($p < .05$) mais n'est pas significatif ($p = .12$). La seconde analyse, ascendante (= Forward), montre que, seule, la VI COMPT contribue de manière significative et explique 46% de variance ($p < .002$).

En résumé, les performances aux opérations comme en résolution de problème en fin de GSM s'expliquent presque uniquement par la composante verbale du Comptage. Seul l'empan apporte une contribution modeste au traitement des opérations.

2. Performances en CP

Nous avons appliqué en CP la même démarche qu'en GSM, à ceci près que nous disposons à ce niveau de deux mesures d'empan : un empan avant (EMPEND) évaluant la MCT et un empan à rebours (EMPENV), généralement considéré comme fournissant une évaluation de la capacité de mémoire de travail. Les performances recueillies aux différentes variables apparaissent au tableau 6.

	Min	Max	Mean	Std.Dev.
Variable				
COMPT4	4.00000	21.00000	15.35294	4.429181
EMPANEND	2.00000	6.00000	4.41176	.939336
EMPANENV	2.00000	4.00000	2.76471	.752447
GNOSIES4	18.00000	30.00000	25.05882	3.111884
R2LIN4	.60175	.95481	.86628	.083098
OPE4	12.00000	24.00000	21.64706	3.040172
PROB4	.00000	8.00000	5.00000	2.121320

Tableau 6. Analyse statistique : Moyennes et dispersions pour chaque épreuve en CP

Les résultats à la COMPTine sont hétérogènes. Les épreuves des gnosies et des opérations sont réussies.

Les corrélations sont rapportées au tableau 7.

	COMPT4	EMPANEND	EMPANENV	GNOSIES4	R2LIN	OPE4	PROB4
COMPT4	1.00000	.15818	.02648	.12537	-.06704	.26975	**.45899**
EMPANEND	.15818	1.00000	-.38492	-.17986	-.01087	-.36176	-.15683
EMPANENV	.02648	-.38492	1.00000	-.07380	*-.42716*	-.25714	.23494
GNOSIES4	.12537	-.17986	-.07380	1.00000	**.48599**	.35247	.32191
R2LIN4	-.06704	-.01087	*-.42716*	**.48599**	1.00000	.08962	-.26539
OPE4	.26975	-.36176	-.25714	.35247	.08962	1.00000	**.59116**
PROB4	*.45899*	-.15683	.23494	.32191	-.26539	**.59116**	1.00000

Tableau 7. Tableau des corrélations entre les épreuves en CP

Les OPERations et les PROBLèmes sont très fortement corrélés. De même, COMPTine et PROBlèmes montrent une forte corrélation. En revanche, la COMPTine n'est que faiblement corrélée aux OPErations. L'EMPAN est très faiblement corrélé aux PROBlèmes. L'EMPAN envers est faiblement corrélé aux OPERations et aux PROBLèmes.

Les résultats de l’analyse de régression portant sur la VD OPE font apparaître que le modèle standard explique 58% de la variance mais n’est que marginalement significatif ($p = .12$). L’analyse, ascendante (= Forward), montre que, seule, la VI EMPAN ajoute une contribution propre de 6% ($p < .04$).

Les résultats de l’analyse de régression portant sur la VD PROB font apparaître que le modèle explique 70% de la variance ($p < .06$) mais n’est que marginalement significatif. L’analyse, ascendante (= Forward), montre que trois VI contribuent indépendamment : OPE4 (contribution propre de 35% de variance, $p < .02$) ; EMPANENV (contribution propre de 16% $p < .05$) ; EMPANEND (contribution propre de 10%, $p = .08$).

En résumé, seul l'empan apporte une contribution à la résolution des opérations. Les performances aux problèmes sont, elles, prédites en premier lieu par les résultats aux opérations suivis par les scores aux empans envers puis endroits.

3. Relations entre performances en GSM et en CP

Notre dernière analyse porte sur la question de déterminer si les performances en GSM ont un impact sur celles qui sont évaluées en CP. Pour répondre à cette question, nous avons conduit une première analyse de régression (Modèle 1) en introduisant toutes les variables de GSM comme VI et les performances OPE4 puis PROB4 comme VD. Ces premières analyses nous ont permis d'évaluer la contribution propre des performances en GSM aux performances aux Opérations (OPE4) et à la Résolution de problèmes (PROB4) en CP.

Nous avons ensuite (Modèle 2) introduit comme VI les performances de CP, ce qui a permis d'évaluer leurs contributions propres.

Le modèle 1 appliqué à la prédiction des performances en résolution d'opérations OPE4 explique seulement 9% de la variance, ce qui suggère que l'acquisition de leur résolution dépend peu des performances verbales et non verbales antérieures à l'enseignement formel. Rien ne sort à l'analyse ascendante (forward). Le modèle 2 correspondant à l'introduction suivante des performances de CP explique 74% de variance (mais non significatif), soit un accroissement de 65% par rapport à la contribution de la GSM. L'analyse ascendante fait apparaître que 3 VI apportent une contribution significative : EMPANEND (13% de variance ; $p = .05$) ; COMPT4 (14% de variance ; $p = .05$) ; et, loin derrière, R2LIN3, qui ajoute 5% de variance (ns). Ce sont donc les VI mémorielles et langagière évaluées en CP qui contribuent massivement aux performances de CP. L'apport des épreuves de GSM est négligeable.

Le modèle 1 appliqué à la prédiction des performances en résolution de problèmes PROB4 explique seulement 38% de la variance (ns), ce qui suggère que l'acquisition de leur résolution dépend mais faiblement des performances verbales et non verbales antérieures à l'enseignement formel. L'analyse ascendante fait apparaître que, seule, PROB3 (donc la même activité) contribue significativement ($R2 = .28$, $p < .03$). Le modèle 2 prenant en considération les variables de CP explique 89% de la variance ($p < .01$), soit un accroissement de 51% par rapport à la contribution de la GSM. L'analyse ascendante fait apparaître que 2 VI apportent une contribution significative : OPE4 (35% de variance) puis OPE3 (18% de variance). Plusieurs autres variables augmentent de manière non significatives les performances en résolution de problèmes : certaines sont verbales (les empans et le comptage), d'autres non verbales (R2Lin3 et R2Lin4). Le nombre restreint d'enfants de notre population ne permet pas de disposer d'analyses plus affinées concernant ces contributions.

En conclusion, en GSM, la réussite aux opérations et aux problèmes est très fortement corrélée à celle de la comptine numérique. En revanche, les compétences verbales et non verbales testées en GSM ne permettent pas de prédire les performances arithmétiques en CP. Ce sont les compétences verbales et mémorielles en CP qui contribuent massivement à la réussite aux opérations en CP. De plus, les performances aux opérations en GSM et en CP rendent le mieux compte de la réussite aux problèmes en CP.

II. Analyse qualitative

1. Analyse des progressions

1.1. Progression pour chaque épreuve

Nous avons analysé l'évolution des résultats obtenus par les enfants de la MSM au CP.

Les scores pour la MSM et le début de GSM sont issus de l'étude de Mlles Moutote et De Lajudie.

Les graphiques ci-après présentent la progression de chaque enfant d'une passation à l'autre pour chaque épreuve.

1.1.1. La comptine numérique

L'épreuve de la comptine verbale est composée de plusieurs items, le score que nous présentons est le total des points obtenus à ces items.

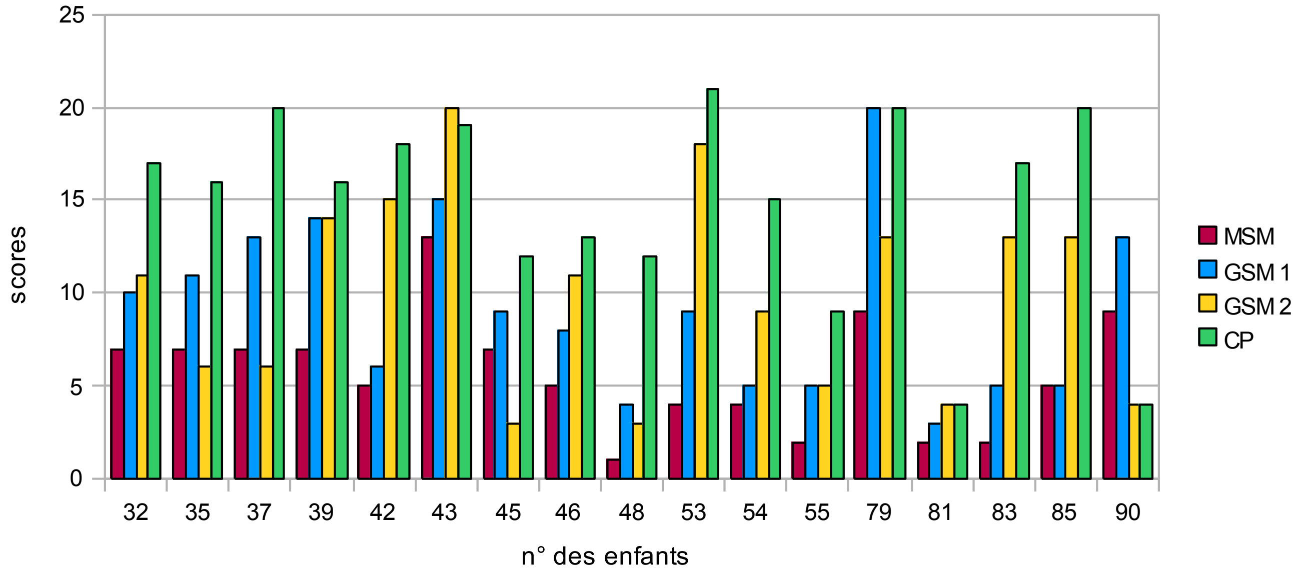


Figure 3. Evolution des scores de la comptine pour chaque enfant de la MSM au CP

On constate que sur 17 enfants, 16 voient leurs scores progresser de la MSM au CP. Un seul enfant a des performances qui régressent. De la fin de la GSM au CP, deux enfants n'évoluent pas et un enfant obtient de moins bons résultats.

D'une manière générale, la maîtrise de la comptine s'améliore entre la MSM et le CP.

1.1.2. L'empan

Nous analysons le score total sur douze obtenu à l'épreuve d'empan avec présentation des chiffres dans l'ordre canonique et non-canonique.

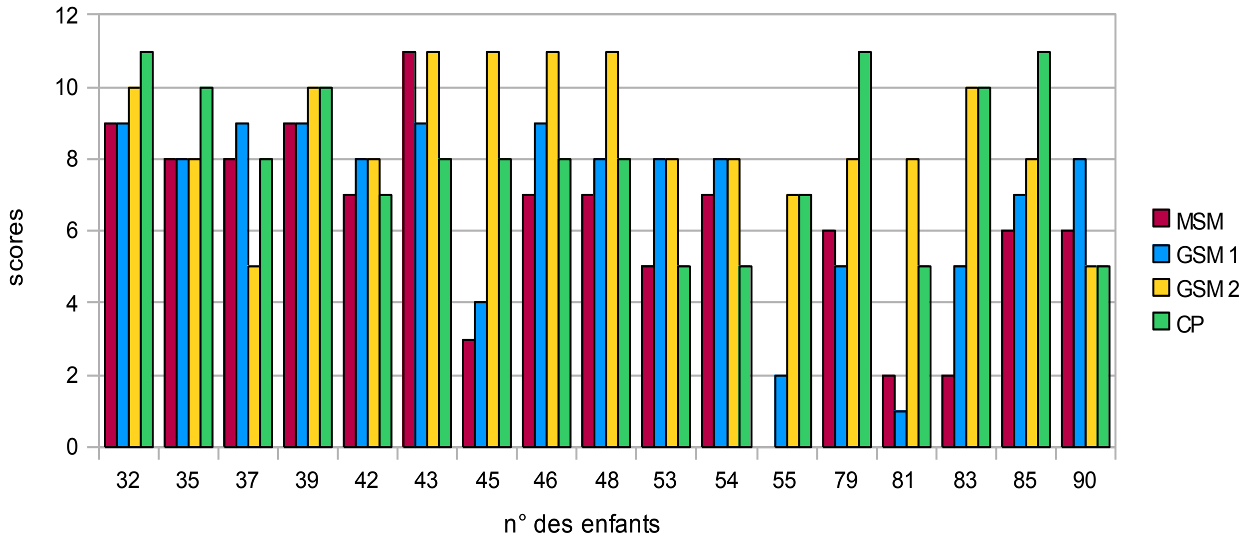


Figure 4. Evolution des scores de l'empan pour chaque enfant de la MSM au CP

De la MSM au CP, 11 enfants progressent, 3 régressent et 3 n'évoluent pas. Entre la fin de la GSM et le CP, 8 enfants voient leurs scores diminuer, 4 enfants n'évoluent pas et seulement 5 sont en progrès.

1.1.3. Les gnosies digitales

Pour cette épreuve le score total est sur 30 points, 1 point est attribué par item réussi.

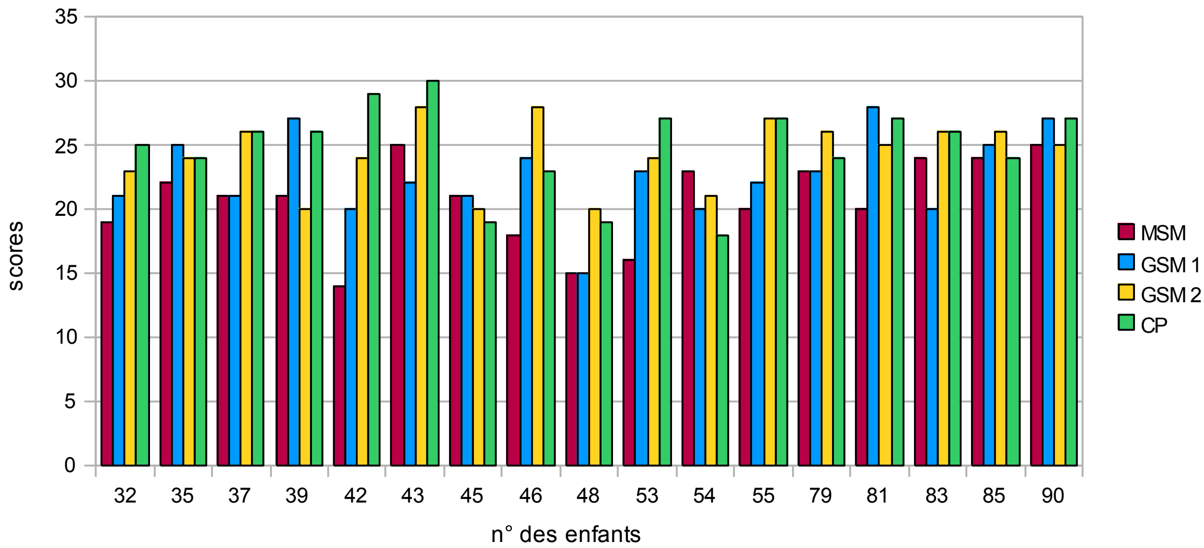


Figure 5. Evolution des scores des gnosies digitales pour chaque enfant de la MSM au CP

Sur 17 enfants, 14 ont progressé de la MSM au CP. Deux enfants ont vu leurs résultats régresser, et un enfant a stagné. De la fin de la fin de la GSM au CP, 6 enfants régressent, 4 n'évoluent pas et 7 progressent.

Globalement, ces variations intra-individuelles sont de faible amplitude.

1.1.4. La ligne numérique

Dans cette épreuve, nous calculons la somme des écarts entre les estimations de l'enfant et les valeurs attendues. Ainsi, en plaçant les points exactement sur les valeurs attendues, l'enfant obtient le score maximal, soit 0. Le moins bon score possible est 162,5. Nous gardons ensuite la différence entre la note minimum et la somme de ces écarts. Le graphique présente donc la réussite des enfants.

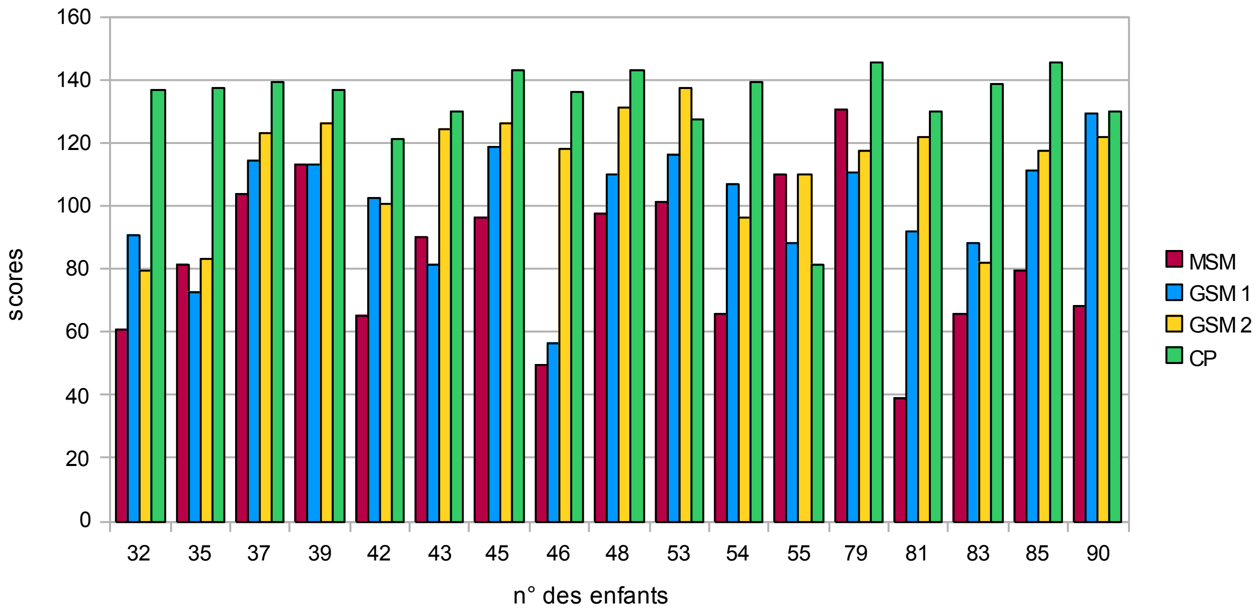


Figure 6. Evolution des scores de la ligne numérique pour chaque enfant de la MSM au CP

16 enfants progressent de la MSM au CP, un seul enfant voit ses scores diminuer. De la fin de la GSM au CP, les enfants continuent à améliorer leurs performances, sauf deux enfants qui régressent.

1.1.5. Les opérations

Nous avons attribué un point pour chacun des 24 items réussis.

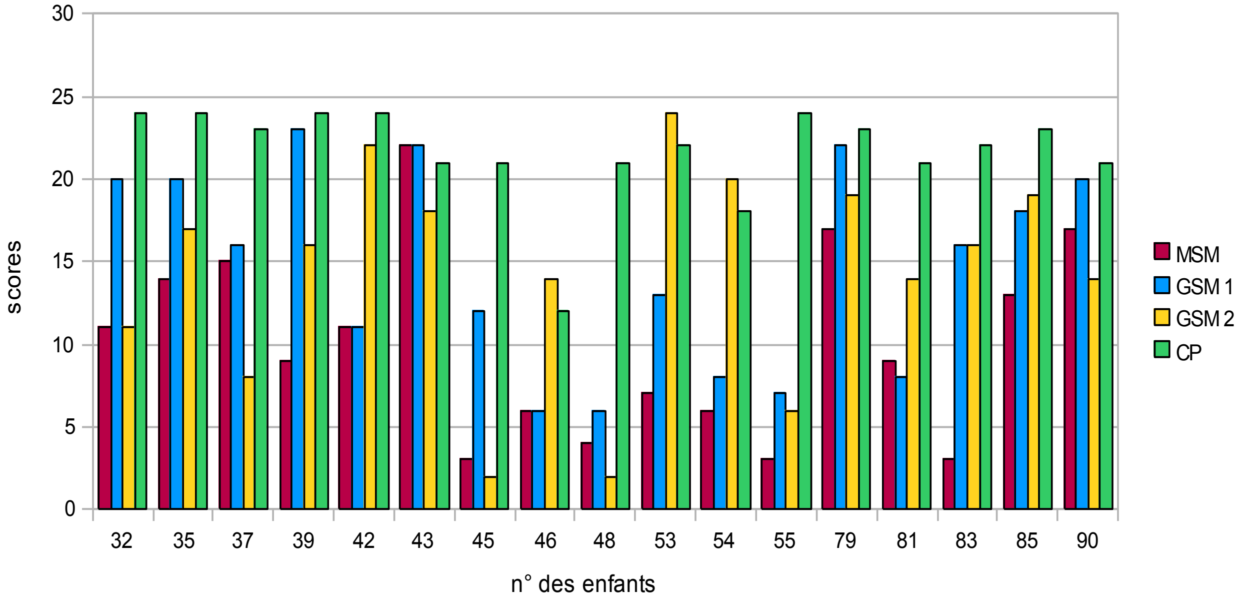


Figure 7. Evolution des scores aux opérations pour chaque enfant de la MSM au CP

Entre la MSM et le CP, tous les enfants ont progressés. De la fin de la GSM au CP, 3 enfants ont vu leurs scores légèrement diminuer.

1.1.6. Les problèmes

Un point a été attribué pour chacun des 8 problèmes réussis.

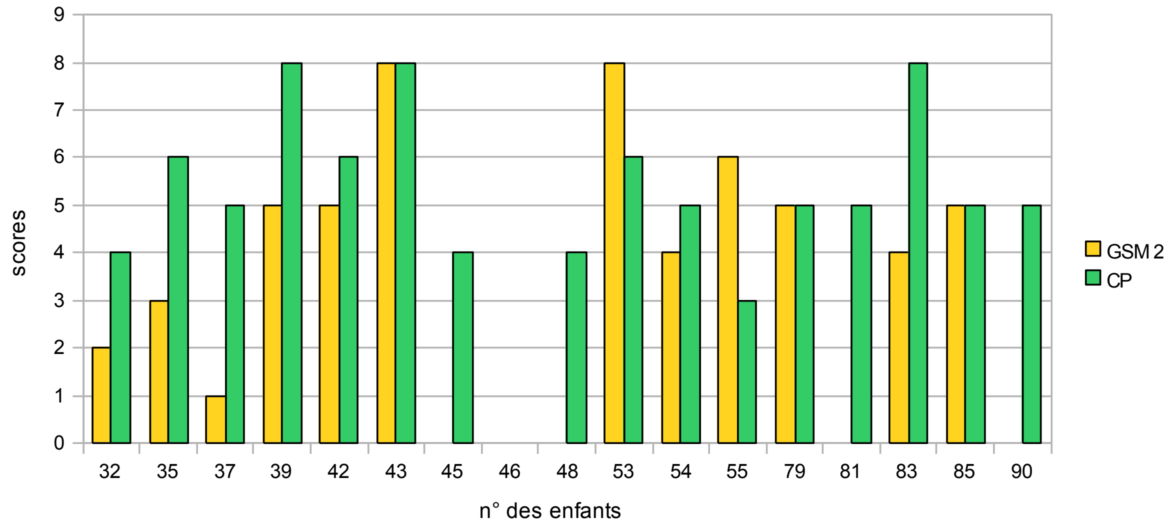


Figure 8. Evolution des scores aux problèmes pour chaque enfant de la GSM au CP

11 enfants ont progressé de la fin de la GSM au CP, 2 enfants ont régressé et 4 ont stagné. Parmi les 4 enfants n'ayant pas évolué, 1 obtenait le score maximal dès la fin de la GSM tandis qu'un autre a totalement échoué aux deux sessions.

En conclusion, nous observons des progrès entre la MSM et le CP pour la majorité des enfants sur chaque épreuve. Les épreuves de comptine, ligne numérique et opérations sont celles qui ont le plus grand nombre d'enfants en progrès. Les épreuves d'empan et gnosies voient moins de progrès, plus spécifiquement entre la fin de la GSM et le CP.

1.2. Comparaison des progressions de chaque épreuve

Afin de comparer les progressions dans chacune des épreuves, nous avons rapporté sur 100 les moyennes des scores obtenus par les 17 enfants pour chaque épreuve et chaque passation. Pour l'épreuve des problèmes, nous ne disposons de résultats que pour les deux dernières passations.

Les données obtenues sont regroupées dans le graphique suivant :

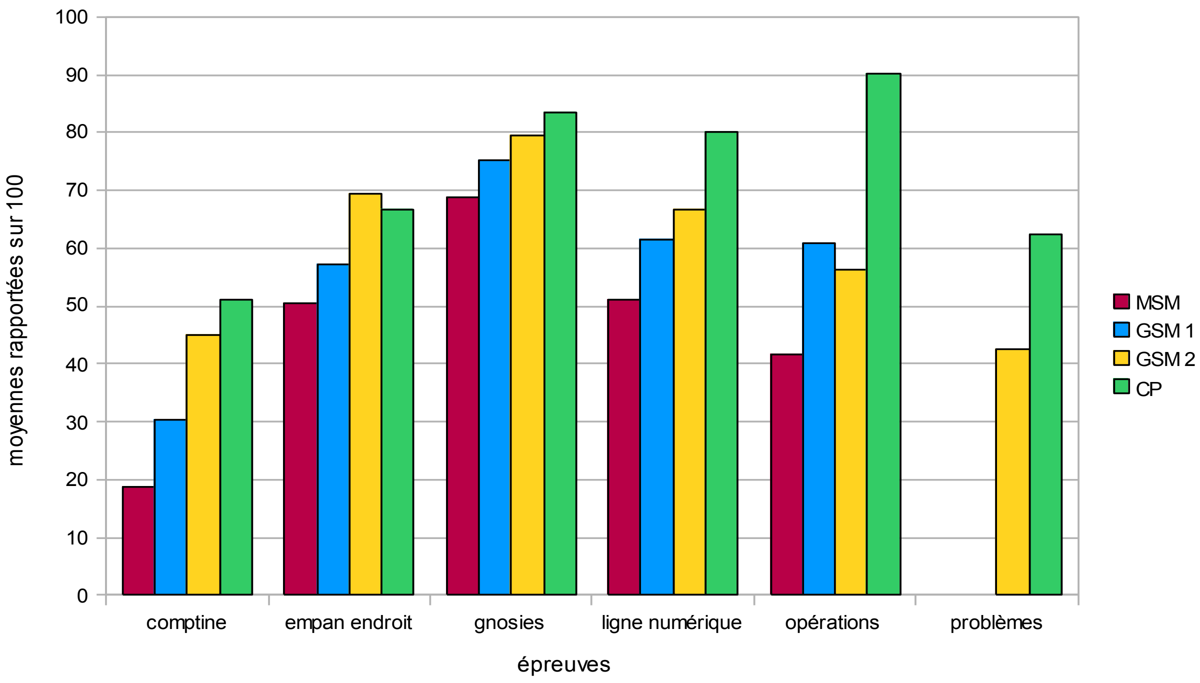


Figure 9. Evolution des moyennes rapportées sur 100 de chaque épreuve de la MSM au CP

Pour comparer les épreuves, nous avons calculé les progressions en faisant la différence entre la moyenne en CP et celle de MSM. Nous avons effectué le même calcul entre la GSM et le CP.

Nous obtenons les résultats suivants :

Epreuves	Comptine	Empan	Gnosies digitales	Ligne numérique	Opérations	Problèmes
MSM	18,8	50,5	68,8	51,2	41,6	
GSM 1	30,4	57,3	75,3	61,6	60,8	
Progrès de la MSM à la GSM	**11,6**	**6,8**	**6,5**	**10,4**	**19,2**	
GSM 2	45	69,6	79,4	66,6	56,2	42,6
CP	51,2	66,6	83,5	80,3	90,2	62,5
Progrès de la fin de GSM au CP	**6,2**	**-3**	**4,1**	**13,7**	**34**	**19,9**
Progrès de la MSM au CP	**32,4**	**16,1**	**14,7**	**29,1**	**48,6**	

Tableau 8. Evolution des moyennes (sur 100) de la MSM au CP

Entre la MSM et la GSM, la plus forte progression est celle observée pour l'épreuve des opérations (19,2) suivi de l'épreuve de la comptine numérique (11,6). Les épreuves des gnosies digitales et de l'empan sont celles qui progressent le moins (respectivement 6,5 et 6,8).

Entre la fin de GSM et le CP, c'est également l'épreuve des opérations qui enregistre la plus forte progression (34), suivie de l'épreuve des problèmes (19,9) et de la ligne numérique (13,7). Nous remarquons qu'entre ces classes, l'épreuve de l'empan voit son score régresser (-3).

Globalement, entre la MSM et le CP, l'épreuve progressant le plus est celle des opérations (48,6) suivie de la comptine (32,4) et de la ligne numérique (29,1). Les plus faibles progressions sont celles des épreuves de gnosies digitales (14,7) et de l'empan (16,1).

2. Analyse qualitative des stratégies utilisées dans les opérations arithmétiques

Pour l'épreuve des opérations, nous avons continué l'analyse qualitative des stratégies utilisées par les enfants, commencée par De Lajudie et Moutote. Des profils comportementaux ont été établis en fonction des observations cliniques réalisées pendant la passation.

Nous reprenons ici les profils dégagés, nous citons De Lajudie et Moutote (2010):

« 1. J (joue) : l'enfant joue avec les figurines et sa réponse est hasardeuse. Ce comportement est lié à un moment d'inattention, une immaturité, des difficultés de concentration, etc.

2. V (visuel) : ces enfants prennent en compte la configuration des points qui correspond le plus souvent à la constellation de points du dé, et ils effectuent de tête ou en mimant en l'air ce qui se passe sur la constellation. Lorsque l'enfant pose le résultat dans sa boîte, les objets sont posés selon la même configuration spatiale que dans la boîte de l'expérimentateur. Les erreurs proviennent probablement d'un défaut de mémorisation de la configuration de points proposée.

3. M (manipulation) : ces enfants reproduisent les gestes qui ont été faits par l'expérimentateur. Ils attrapent et posent les objets de la même façon que l'expérimentateur. L'enfant prend le premier opérande, puis le deuxième. Il ne peut pas mettre directement le résultat, malgré les encouragements. Les quantités, dans ce mime, ne sont pas toujours respectées. Les erreurs viennent du fait que l'enfant reproduit le geste de l'adulte, sans prêter attention à la collection manipulée.

4. D (doigts) : représente les collections manipulées sur ses doigts (utilisation de collections-témoins).

5. O (oral, verbal) : ces enfants se basent sur la comptine verbale pour répondre. Ainsi, ils récitent la comptine pour dénombrer la collection d'objets proposée par l'expérimentateur, et ils poursuivent leur récitation de 1 ou 2 mots (pour les petites additions) ou bien ils enlèvent le ou les deux derniers mots-nombres prononcés (pour les petites soustractions). Pour cela, on observe plusieurs types de récitation :

- « un deux trois quatre… cinq six » (4+2)
- « quatre (reconnaît la constellation)… cinq » (4+1)
- « un deux trois quatre cinq… quatre » (5-1)
- « un deux trois quatre cinq six… un deux trois quatre cinq… un deux trois quatre » (6-2)

Les erreurs viennent probablement d'une difficulté portant sur la comptine (pour les additions), et notamment le comptage à rebours (pour les soustractions).

6. C (calcul) : l'enfant connaît les opérations et/ou les faits arithmétiques et il effectue les opérations directement.

7. Ø : nous n'avons pas pu savoir quel type de stratégie était adopté par l'enfant pour répondre à cette tâche (l'enfant fait tout dans sa tête et ne laisse rien transparaître). »

Dans les tableaux suivants, nous utilisons la notation suivante :

- 1 : jeu, hasard ou problème d'attention
- 2 : stratégie visuelle
- 3 : manipulation
- 4 : utilisation des doigts

- 5 : stratégie orale, utilisation de la comptine
- 6 : calcul
- 7 : pas de stratégie visible

	Numéros des profils observés		
N° de l'enfant	**MSM**	**GSM**	**CP**
32	2	3	3+5
35	7	5+6	6
37	7	3	4+5+6
39	1	3+5	6
42	1	7	4
43	4+5+6	3+5+6	5+6
45	1	7	4+5
46	7	5	3
48	1	7	5+6
53	1	6	5+6
54	7	7	4+6
55	1	1	4
79	3	3	6
81	2	3	3
83	1	5	5+6
85	5	3	4+6
90	7	4	5

Tableau 9. Stratégies utilisées pour résoudre les opérations

Nous pouvons remarquer qu'en MSM et en GSM, la plupart des enfants utilisent une seule stratégie, quand celle-ci est identifiable. En revanche, en CP, la majorité des enfants combine plusieurs stratégies.

Dans le tableau suivant, nous avons comptabilisé le nombre d'enfants pour chaque profil en fonction des classes. Nous pouvons ainsi voir l'évolution de l'utilisation des stratégies.

	Nombre d'enfants		
Profils	**MSM**	**GSM**	**CP**
N°1	7	1	0
N°2	2	0	0
N°3	1	8	3
N°4	1	1	6
N°5	2	5	7
N°6	1	3	11
N°7	5	4	0

Tableau 10. Nombres d'enfants par stratégies utilisées selon les classes

Ces données sont représentées dans les graphiques ci-dessous.

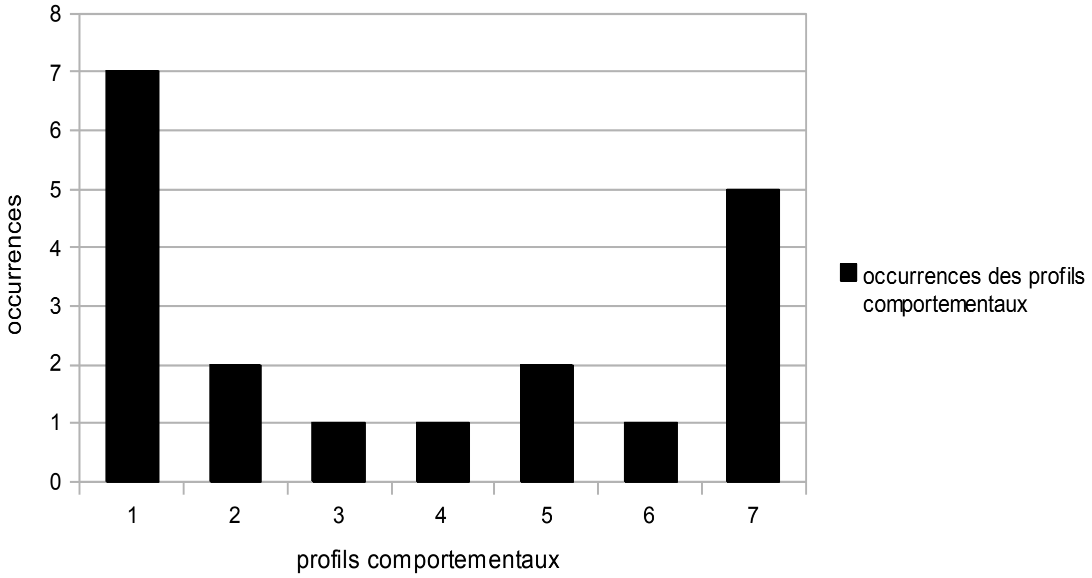


Figure 10. Occurrences des profils comportementaux à l'épreuve de résolution des opérations en MSM

En MSM, la plupart des enfants semblent répondre au hasard (7 enfants sur 17), et pour 5 enfants, la stratégie utilisée n'est pas identifiable. Le reste des enfants se répartissent dans les autres stratégies.

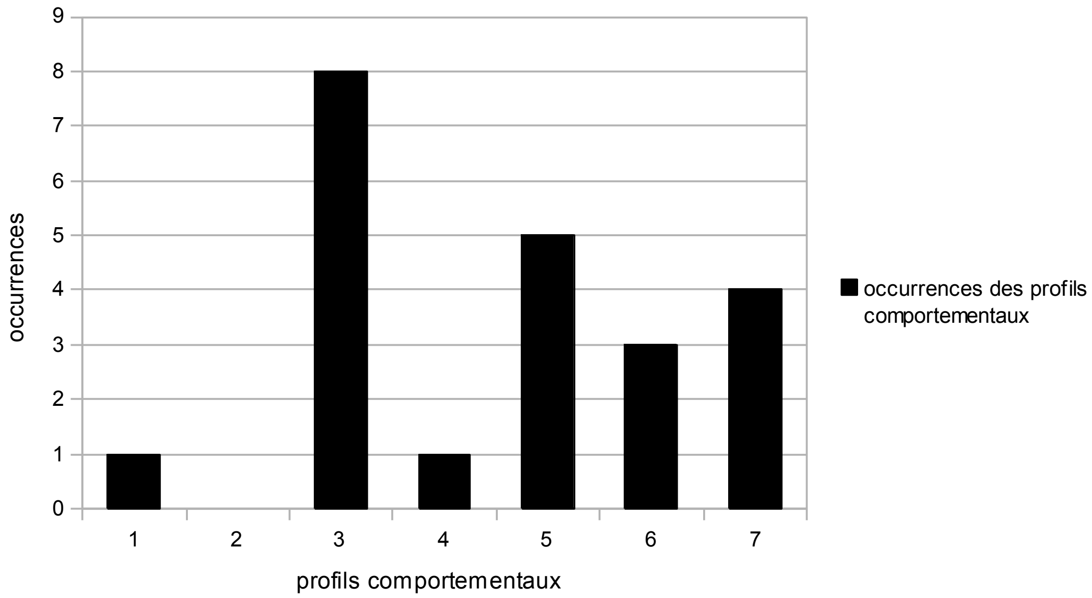


Figure 11. Occurrences des profils comportementaux à l'épreuve de résolution des opérations en GSM

En GSM, la stratégie privilégiée est la manipulation (8 enfants sur 17). De plus, on peut noter que dans cette classe, la comptine numérique verbale est souvent utilisée (5 enfants). Le calcul émerge également (3 enfants).

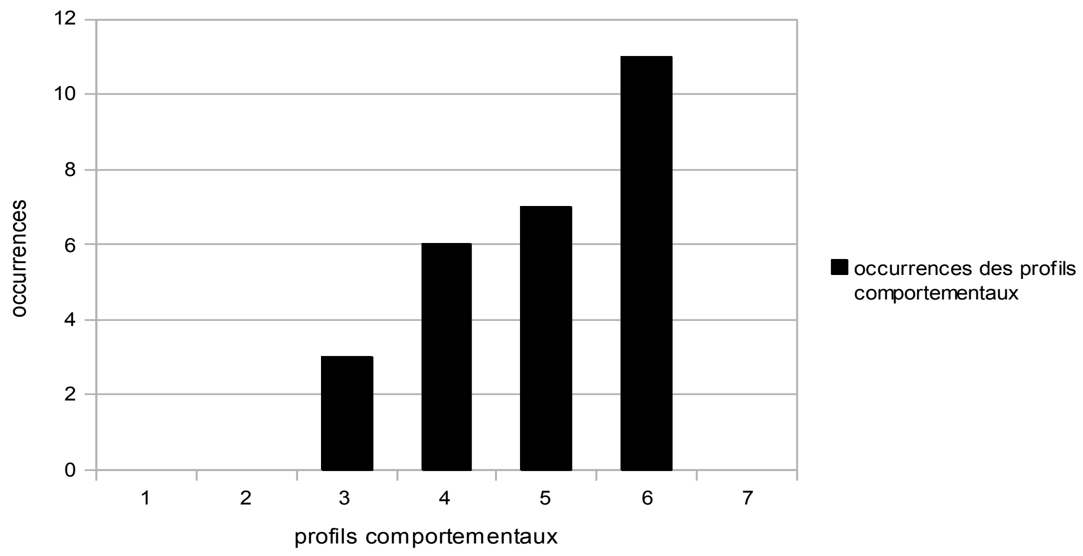


Figure 12. Occurrences des profils comportementaux à l'épreuve de résolution des opérations en CP

En CP, la stratégie la plus largement représentée est celle du calcul (11 enfants sur 17). Les enfants utilisent également beaucoup la comptine numérique verbale (7 enfants) et les doigts (6 enfants).

En conclusion, pour résoudre les opérations, en MSM les enfants répondent surtout au hasard. Leur stratégie préférentielle en GSM est la manipulation tandis qu'en CP le calcul est prédominant.

3. Analyse qualitative de la réussite aux problèmes

L'épreuve du Tedi-math que nous avons utilisée, propose huit problèmes de type "changement" avec six sous-types, en fonction de la transformation, positive ou négative et de la recherche de l'inconnue, portant sur l'état initial, la transformation ou l'état final.

Les problèmes PP1 et PP3 ainsi que les PP2 et PP4 se différencient par la grandeur des opérandes impliqués dans les opérations.

Item	Type de transformation	Inconnue
PP1	Positive	Etat final
PP2	Négative	Etat final
PP3	Positive	Etat final
PP4	Négative	Etat final
PP5	Positive	Transformation
PP6	Négative	Transformation
PP7	Positive	Etat initial
PP8	Négative	Etat initial

Tableau 11. Types de problèmes

Nous avons analysé la réussite aux différents types de problèmes en GSM et en CP.

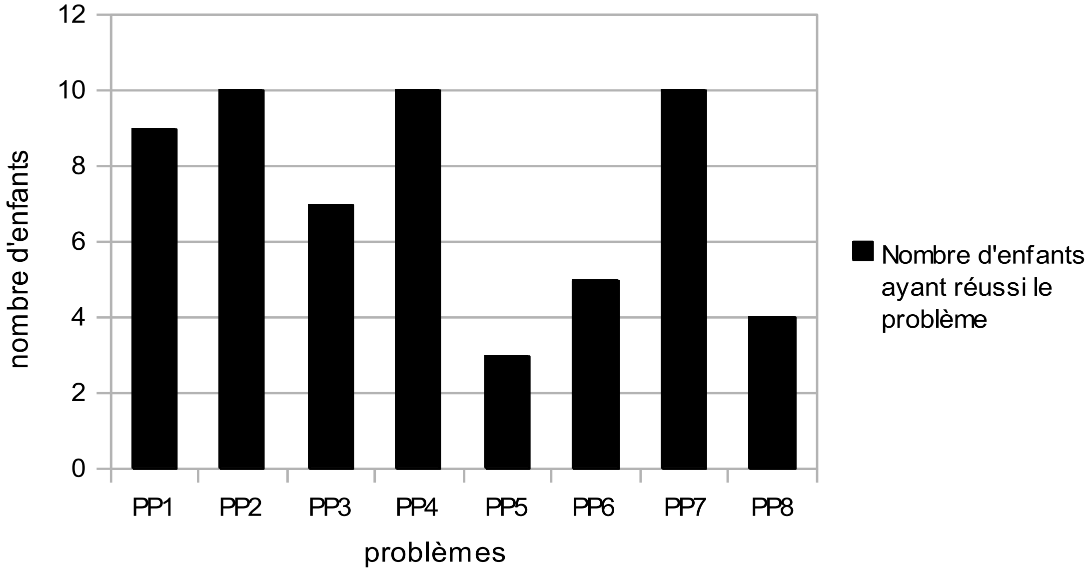


Figure 13. Réussite aux problèmes en GSM

Nous notons qu'en GSM, les problèmes dont l'inconnue porte sur l'état final sont mieux réussis que ceux portant sur la transformation et l'état initial. Le problème 7 est également réussi par les enfants.

Les performances aux problèmes impliquant des transformations négatives (soustractions) sont supérieures à celles aux problèmes impliquant des transformations positives (additions).

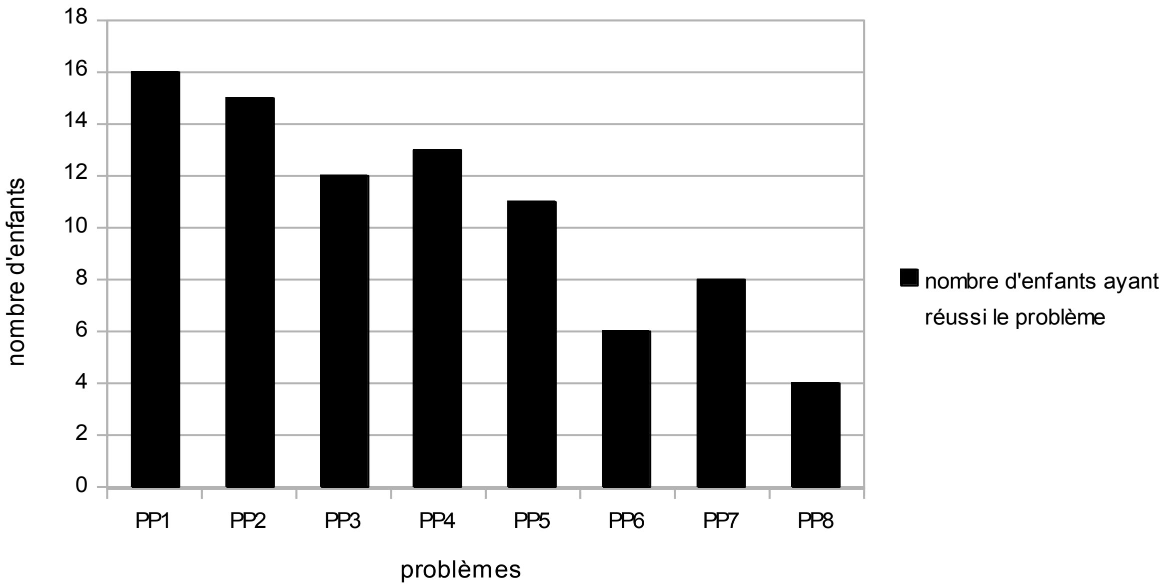


Figure 14. Réussite aux problèmes en CP

Les enfants réussissent nettement plus les différents items en CP qu'en GSM.

Les enfants réussissent plus facilement les problèmes dont l'inconnue porte sur l'état final. Viennent ensuite ceux où il faut trouver la transformation. Enfin, les problèmes dont l'inconnue porte sur l'état initial sont les moins réussis.

D’une manière générale, la réussite est plus importante quand les transformations sont positives (additions). Seul le problème 4 (transformation négative) est mieux réussi que le problème 3 (transformation positive).

Chapitre V

DISCUSSION DES RESULTATS

I. Interprétation des résultats et mise en lien avec notre problématique

Notre recherche est fondée sur le modèle du Triple Code de Dehaene et Cohen (1995) selon lequel le nombre serait représenté sous trois formes, analogique, verbale et arabe. Le protocole expérimental est fondé sur de nombreuses recherches. Ces études ont, dans la majorité, mis en évidence le poids individuel de chacune des compétences verbales et non verbales sur l'acquisition de l'arithmétique. Nous avons tenté de proposer une étude qui permettrait d'en mesurer les poids respectifs.

Afin de tester les performances arithmétiques, nous avons proposé deux épreuves, la résolution de petites opérations et de problèmes simples. Les petites opérations, additions et soustractions, ont été présentées de manière non verbale. Les problèmes ont été proposés verbalement.

Il ressort que les épreuves verbales, soit la comptine numérique verbale et l'empan, sont les plus fortement corrélées à la réussite en arithmétique. De plus, il apparaît que les performances aux opérations en GSM sont les plus prédictives de la réussite aux problèmes au CP.

1. Validation et discussion des hypothèses

1.1. Poids des compétences verbales et non verbales sur les performances aux opérations et aux problèmes.

Les résultats de l'analyse statistique confirment notre hypothèse générale et les conclusions données par Mlles Moutote et De Lajudie pour les enfants de MSM et début de GSM. En effet, les performances arithmétiques en fin de GSM et en CP dépendent essentiellement des capacités verbales.

La maîtrise de la comptine numérique verbale est la compétence la plus fortement corrélée à la réussite aux épreuves arithmétiques en fin de GSM.

En CP, la réussite aux opérations est corrélée à la maîtrise de la comptine numérique verbale et aux capacités en mémoire de travail auditivo-verbale.

La réussite aux problèmes en CP est essentiellement liée à celle aux opérations.

Les compétences non verbales, soit les gnosies digitales et l'estimation globale de la quantité sur une ligne numérique, ne paraissent pas influer significativement sur les performances arithmétiques.

1.2. Lien entre la résolution des petites opérations et des problèmes simples

Il ressort que les réussites aux opérations et aux problèmes sont très fortement corrélées en GSM comme au CP.

De plus, notre étude montre que les performances aux opérations en fin de GSM sont le meilleur prédicteur de la réussite aux problèmes en CP.

2. Analyse qualitative

2.1. Comparaison des progressions pour chaque épreuve de la MSM au CP

Dans notre étude, parmi les quatre compétences qui sous-tendent le développement de l'arithmétique, la comptine numérique et l'estimation de la quantité sur la ligne numérique progressent le plus significativement de la MSM au CP.

La maîtrise croissante de la comptine numérique peut s'expliquer par l'apprentissage scolaire et l'entraînement régulier dont cette capacité fait l'objet.

Quant à la représentation de la quantité sur la ligne numérique, Siegler et Opfer (2003) ont constaté que la ligne numérique mentale perd son aspect logarithmique et devient linéaire de 0 à 100 au CE1, et de 0 à 1000 au CE2. Par extension, cela expliquerait l'amélioration de cette capacité sur une ligne bornée de 0 à 10 chez les enfants plus jeunes.

En revanche, l'empan numérique verbal et les gnosies digitales qui ne font pas l'objet d'un enseignement explicite et d'un entraînement en situation naturelle, s'améliorent moins significativement. Cette tendance est encore plus marquée entre la fin de la GSM et le CP. Nous observons même une régression des scores à l'épreuve de l'empan entre ces deux passations.

On note que pour l'épreuve des gnosies digitales les scores ont peu évolué mais les enfants ont obtenu de bons résultats dès la MSM.

Nous ne pouvons pas établir de conclusion sur l'évolution de l'empan numérique envers. Il n'a, en effet, été testé qu'au CP.

Quant aux performances arithmétiques, que nous résumons ici aux opérations et aux problèmes, elles sont, elles aussi, explicitement travaillées à l'école. Elles sont également entraînées par des situations de la vie quotidienne au travers de situations-problèmes (Fayol, Thevenot & Devidal, 2005). Nous observons une amélioration de ces performances au cours des trois années, particulièrement marquée entre la fin de la GSM et le CP.

En conclusion, l'apprentissage scolaire explique les progrès significatifs de la maîtrise de la comptine numérique et des performances arithmétiques. Les gnosies, l'empan et la ligne numérique progressent mais ces compétences n'évoluent pas au même rythme.

En effet, nous pouvons remarquer qu'entre la MSM et la GSM, les résultats aux épreuves d'empan et de gnosies digitales progressent dans les mêmes proportions. Entre la GSM et le CP, les gnosies continuent à progresser, mais l'empan, lui, régresse légèrement. La ligne numérique quant à elle observe une progression légèrement plus importante entre la GSM et le CP qu'entre la MSM et la GSM. Ces différences pourraient s'expliquer par le développement de ces capacités dans un cadre développemental sans enseignement didactique.

2.2. Evolution des stratégies de résolution des opérations de la MSM au CP

Nous pouvons remarquer qu'en MSM et en GSM, la plupart des enfants utilisent une seule stratégie puis en CP, ils sont à même de combiner plusieurs stratégies, ce qui leur permet de s'adapter aux différentes opérations et ainsi d'augmenter leurs performances.

En GSM, la stratégie privilégiée est la manipulation. Si les enfants ne semblent plus répondre au hasard, beaucoup d'entre eux semblent se contenter d'imiter les gestes de l'adulte. Ils n'accèdent donc pas directement au résultat de l'opération proposée. De plus, on peut noter que dans cette classe, la comptine numérique verbale est souvent utilisée. Le calcul émerge également.

En CP, la stratégie la plus largement représentée est celle du calcul. Ce qui peut s'expliquer par l'apprentissage scolaire des opérations et des faits arithmétiques. Les enfants utilisent également beaucoup la comptine numérique verbale (incrémentation à partir du premier opérande) et leurs doigts, souvent en association avec le calcul quand celui devient trop difficile (pour les grandes soustractions par exemple).

En conclusion, les enfants les plus jeunes, encore ignorants des opérations et des faits arithmétiques répondent pour beaucoup au hasard pour résoudre des opérations présentées non verbalement. En grandissant, les enfants utilisent la manipulation, ils reproduisent les gestes de l'adulte. Ils ne semblent pas encore maîtriser le sens des opérations, et s'appuient donc sur leurs perceptions. Il s'agit plus de mimétisme que de raisonnement. En CP, les enfants s'appuient sur les connaissances qu'ils ont acquises (comptine numérique, utilisation des doigts, faits arithmétiques) pour résoudre les opérations proposées.

2.3. Analyse de la réussite des problèmes en GSM et en CP

Avec le TEDI-MATH nous avons proposé uniquement des problèmes de type "changement". La résolution des problèmes impliquant une comparaison et ceux relatifs à une combinaison n'a pas été étudiée dans notre travail.

D'après une étude de Rosenthal & Resnick (1974), dans les problèmes de type changement, il est plus facile de trouver l'état final que la transformation, et la transformation que l'état initial.

Nos résultats corroborent ce constat, en effet, en GSM comme en CP, les enfants réussissent mieux les problèmes dont l'inconnue est l'état final. Cependant, en GSM, nous notons qu'un des problèmes dont l'inconnue porte sur l'état initial est majoritairement réussi. Ceci pourrait s'expliquer par le fait que pour cet item, le résultat est égal à un des opérandes proposés dans l'énoncé, face à la difficulté, les jeunes enfants auraient répondu au hasard en répétant un des chiffres qu'ils venaient d'entendre.

D'autre part, en GSM, les problèmes impliquant une soustraction (transformation négative) sont mieux réussis que ceux dépendant d'une addition (transformation positive). Cette tendance s'inverse au CP. Cela paraît surprenant car dans le développement cognitif de l'enfant, l'addition est acquise avant la soustraction. Il est possible qu'en GSM des difficultés de compréhension verbale de l'énoncé (notamment la formulation "combien en reste-t-il **en tout**") aient perturbé la résolution des problèmes.

3. Prédire les performances arithmétiques au CP

En fin de GSM, la maîtrise de la comptine numérique est très fortement liée à la réussite aux opérations et aux problèmes. L'analyse qualitative des stratégies employées pour résoudre les opérations montre qu'à cette période quasiment la moitié des enfants procède en reproduisant les gestes de l'expérimentateur (manipulation) tandis qu'un peu moins du tiers s'appuie sur la comptine numérique.

Les enfants qui utilisent la manipulation se fondent-ils tous uniquement sur leur capacité en mémoire visuelle, ou peut-on considérer qu'une part d'entre eux dénombre les gestes de l'expérimentateur et donc s'appuie sur la comptine numérique?

Quelle que soit la réponse, il semble qu'en GSM, la maîtrise de la comptine numérique explique la réussite en arithmétique car les stratégies de résolutions des opérations à ce stade font appel au dénombrement et à l'ajout (ou au retrait) pas à pas des unités.

En revanche les performances arithmétiques au CP ne sont pas directement prédites par les compétences verbales et non verbales en GSM.

D'une part, les performances aux opérations au CP sont reliées à la maîtrise de la comptine numérique verbale et aux capacités mnésiques verbales à la même période. Cela pourrait être en partie expliqué par le fait qu'au CP pour résoudre les opérations, les enfants ont utilisé majoritairement une stratégie de récupération en mémoire à long terme des faits arithmétiques. Or le stockage et la récupération des faits arithmétiques en mémoire à long terme dépendent des capacités en mémoire de travail verbale.

D'autre part, la réussite aux opérations en fin de GSM et au CP rend le mieux compte des performances aux problèmes au CP. On peut supposer que plus la résolution des petites opérations est automatisée (faits arithmétiques stockés en mémoire à long terme et facilement récupérés), plus les capacités cognitives sont disponibles pour traiter le problème. D'autre part, la connaissance des faits arithmétiques limite les erreurs de calcul.

II. Limites de l'expérimentation

Nous faisons ici état des limites de notre étude en termes de population, de conditions d'expérimentation, ainsi que de choix et constitution des épreuves.

1. Limites de la population

Du fait des contraintes liées à une étude longitudinale, notre population présente des limites quantitatives et qualitatives que nous exposons ci-après.

1.1. Echantillon restreint

Pour notre étude nous avons revu les enfants précédemment rencontrés par Mlles Moutote et De Lajudie. Les enfants ont été vus tous les six mois depuis la fin de la MSM au CP. L'analyse des résultats a porté sur 25 enfants en MSM et GSM, notre échantillon s'est restreint à 17 enfants pour la fin de la GSM et le CP en raison de la perte expérimentale.

L'échantillon n'est pas représentatif de la population générale car le nombre d'enfants est trop restreint. De plus, les enfants sont tous issus de la même école située en zone urbaine. Il n'a pas été tenu compte du sexe ratio et de la latéralité.

1.2. Constitution de la population

Pour constituer la population, les enfants tout-venants qui avaient d'abord participé à une étude transversale, ont été acceptés sur le seul critère de rendu des autorisations parentales. Il n'y a donc pas eu de critères d'exclusion.

Le langage oral n'a pas été évalué. Il en va de même pour les autres troubles cognitifs (attention, gnosies, praxies…). De plus, les éventuels déficits sensoriels et/ou moteurs n'ont pas été pris en compte.

Or, les consignes de toutes les épreuves sont présentées oralement. Il y a donc pu avoir des difficultés de compréhension, particulièrement pour l'épreuve de résolution de problèmes.

De plus, l'épreuve des opérations nécessite, un dénombrement de collections d'objets qui requiert des aptitudes visuelles et neurovisuelles, ainsi qu'une manipulation fine qui peut être gênée par des difficultés praxiques. L'épreuve de la ligne numérique peut également être influencée par des troubles visuels, tels qu'un balayage visuel inefficace ou une amputation du champ visuel.

Les évaluations de ces différents domaines auraient permis d'établir des critères d'exclusion afin de mieux rendre compte du développement arithmétique normal de l'enfant.

D'autre part, les enfants étant répartis dans des classes différentes, nous ne pouvons pas contrôler l'effet de l'enseignement explicite dispensé par les instituteurs.

2. Limites de la passation

Du fait de l'étude longitudinale, les enfants ont rencontré des expérimentateurs différents. Bien que nous ayons repris exactement le protocole d'expérimentation, il est possible qu'il y ait eu quelques différences lors de la passation.

Par ailleurs, les conditions de passation en MSM et GSM étaient peu favorables. En effet, les rencontres avaient lieu dans une salle voisine de la salle de sport. Les variations de bruit et de passage ont demandé un effort fluctuant de concentration, ce qui a pu influer sur les performances des enfants. En revanche, en CP, les conditions étaient nettement plus favorables. Nous étions dans une salle calme et isolée.

Il faut ajouter que les passations ont eu lieu à des moments différents de la journée, ce qui a pu modifier les paramètres d'attention et de fatigue chez les enfants. De même, le fait que certaines rencontres aient eu lieu avant ou après les vacances, en hiver ou en été, ont pu modifier les conditions physiques et morales des enfants.

3. Limites du protocole

D'une part, dans cette étude longitudinale, les enfants ont effectué les mêmes épreuves lors des quatre passations. Un effet d'apprentissage pourrait être pris en compte, bien qu'il soit atténué par l'intervalle de 6 mois entre chaque passation.

D'autre part, les épreuves qui testent des capacités non verbales comportent des consignes données verbalement (bien qu'accompagnées d'une démonstration et d'un entraînement). Donc des compétences verbales ont pu influer sur les performances mesurées aux épreuves verbales comme non verbales.

Enfin, le développement du nombre chez le jeune enfant est un domaine vaste et passionnant où une multitude de facteurs s'associent. C'est pourquoi nous aurions pu également comparer les résultats en arithmétique à une estimation du quotient développemental avec une épreuve lexicale par exemple (le niveau lexical est corrélé au quotient développemental). Fayol, Barrouillet et Marinthe ont montré en 2001 que les capacités à une épreuve de gnosies digitales sont plus prédictives de la réussite en arithmétique que le quotient intellectuel. Il serait intéressant de savoir s'il en va de même pour les capacités verbales qui ressortent de notre étude.

Une appréciation du développement des structures logico-mathématiques, telles que la conservation, la sériation et l'inclusion, aurait également éclairé notre compréhension de l'acquisition de l'arithmétique.

III. Questionnements et ouverture

Notre recherche a permis de suivre le développement des compétences numériques et arithmétiques d'un échantillon d'enfants sur trois classes. Les participants ont été rencontrés lors de quatre sessions, en juin de MSM, en janvier de GSM, juin de GSM et en janvier de CP. Notre population étant restreinte, une étude menée avec une population plus importante permettrait une meilleure généralisation des conclusions.

L'étude menée par Mlles De Lajudie et Moutote (2010) a mis en évidence une corrélation significative entre la maîtrise de la comptine numérique verbale et la réussite aux opérations chez les enfants en MSM et début de GSM.

Nos résultats confirment cette tendance chez les enfants en fin de GSM et au CP. Nous nous sommes également intéressées à la résolution de problèmes afin d'élargir le champ des performances arithmétiques mesurées. Enfin, nous avons étudié le poids d'une autre compétence verbale, la mémoire de travail auditivo-verbale, sur les performances en arithmétiques.

1. Intérêts de notre étude

1.1. Poids de l'empan

Nous avons constaté qu'en GSM et en CP l'empan apporte une contribution à la réussite en arithmétique. Néanmoins, l'épreuve utilisée en MSM et en GSM pour évaluer l'empan, n'était pas la plus pertinente. En effet, la présentation de la moitié des items dans l'ordre canonique (chiffres donnés dans l'ordre de la comptine numérique verbale) évalue surtout les capacités de récupération de la comptine numérique en mémoire à long terme. En CP, nous avons proposé une épreuve classique d'empan endroit et envers.

En CP, l'empan envers joue un rôle important dans la résolution des problèmes. En effet, la mémoire de travail est indispensable pour permettre à l'enfant de traiter simultanément les quatre étapes de résolution des problèmes décrites par Mayer en 1985 (traduction et intégration du problème, planification et exécution des calculs). De plus, les problèmes ayant été présentés oralement, les enfants devaient maintenir en mémoire les informations durant leur traitement.

Notre protocole n'a testé les capacités de mémoire de travail, avec un empan envers, qu'en CP. Nous ne pouvons donc pas généraliser son importance aux plus petites classes. Il serait intéressant d'explorer plus en détail le lien entre mémoire de travail et performances arithmétiques chez des enfants plus jeunes. Nous nous demandons quel serait l'effet d'un entraînement de la mémoire de travail sur les capacités à résoudre des opérations et des problèmes. Une étude de Noël en 2009 a montré que « [...] les faibles capacités de mémoire de travail auraient un impact négatif, en cascade, non seulement sur les procédures de calcul mais aussi sur les activités de transcodage et sur la résolution de problèmes. ». Nous nous attendons donc à un effet positif de l'entraînement de la mémoire de travail sur l'acquisition de l'arithmétique.

1.2. Rôle des apprentissages et de l'entraînement

Nous remarquons dans notre étude que les compétences qui ne sont pas explicitement enseignées dans le cadre scolaire ont un poids moins important dans la résolution des opérations et des problèmes que les compétences faisant l'objet d'un apprentissage didactique.

Pourtant, des études ont montré une corrélation importante entre les gnosies digitales et les performances aux opérations (Fayol, Barrouillet & Marinthe, 1998) ainsi qu'une relation entre les capacités de représentation de la quantité sur une ligne numérique et la réussite en arithmétique (Siegler & Booth, 2008).

De plus, Siegler et Ramani (2008) ont constaté que les compétences arithmétiques (comptage, identification des nombres etc.) s'améliorent avec un entraînement de la représentation des quantités sur la ligne numérique.

En outre, nous pouvons nous demander si l'accent mis sur l'enseignement de la comptine et les opérations au CP influe sur le développement des autres compétences sous-jacentes aux acquisitions arithmétiques.

Pour approfondir notre étude, il serait intéressant de proposer à des enfants un entraînement spécifique de chacune de ces compétences, gnosies, ligne numérique et empan afin d'en mesurer l'impact sur les performances arithmétiques.

1.3. Lien entre opérations et problèmes

Nous constatons qu'en GSM, la réussite aux problèmes simples dépend de la réussite aux opérations, mais surtout de la maîtrise de la comptine numérique. Tandis que la réussite aux opérations en GSM et en CP est le meilleur prédicteur des capacités de résolution de problèmes en CP.

Ce basculement en faveur des opérations pourrait s'expliquer par leur enseignement formel plus poussé en CP. Néanmoins, l'influence de la réussite aux opérations en GSM sur celle des problèmes en CP, ne peut s'expliquer par l'enseignement scolaire.

Nous nous interrogeons donc sur la nature du lien qui lie réussites aux opérations et aux problèmes. S'agit-il d'une relation de cause à effet ou d'une simple corrélation due à un facteur commun sous-jacent?

Au vu de nos résultats nous pouvons formuler l'hypothèse que ce facteur commun en CP serait l'empan numérique verbal et plus particulièrement l'empan envers, donc les capacités en mémoire de travail verbale.

La relation de cause à effet pourrait s'expliquer par le fait que plus l'enfant résout des opérations de façon juste, plus il mémorise les faits arithmétiques. La résolution des problèmes est alors soulagée par la récupération en mémoire à long terme des faits arithmétiques. Autrement dit, l'automatisation des opérations permettrait une facilitation du traitement des problèmes.

2. Ouverture

2.1. Recherche

Notre étude a tenté d'apporter, à sa mesure, une contribution aux nombreuses recherches sur l'acquisition du nombre. Nos résultats, bien qu'obtenus avec une population restreinte, montrent le poids important des compétences verbales dans le développement de l'arithmétique.

Il pourrait être intéressant de mesurer l'effet d'un entraînement de ses compétences sur un échantillon plus large d'enfants de GSM et CP. Il s'agirait d'évaluer préalablement le langage oral et le quotient développemental d'une cohorte d'enfants tout-venant afin de retenir un groupe de niveau homogène que nous diviserions en deux.

Le groupe contrôle bénéficierait d'un entraînement de la mémoire de travail auditivo-verbale sur un support non numérique. Nous proposerions au groupe expérimental un entraînement ludique de la mémoire de travail auditivo-verbale sur un support numérique.

Nous formulons l'hypothèse que l'entraînement de la mémoire de travail sur un support numérique serait un meilleur facilitateur de l'acquisition de l'arithmétique chez les enfants tout-venant de GSM et CP que l'entraînement sur un support non numérique.

2.2. Clinique

Il est encore rare que les enfants soient adressés précocement, dès le CP, en orthophonie pour des troubles des acquisitions logico-mathématiques. Pourtant, notre étude met en évidence le poids des capacités verbales sur l'acquisition de l'arithmétique. Ainsi les capacités en mémoire de travail sont liées à la réussite aux petites opérations et aux problèmes simples.

Or, les orthophonistes prennent en charge de nombreux patients ayant un déficit en mémoire de travail auditivo-verbale. Nous pouvons citer notamment les enfants porteurs de dysphasie ainsi que ceux présentant un trouble phonologique rencontré dans une des formes de dyslexies.

Aussi, nous sommes amenés de plus en plus fréquemment à apporter une réponse aux difficultés de nos jeunes patients dans des domaines transversaux, dépassant les frontières des grands domaines de notre nomenclature, langage écrit, langage oral, et troubles du calcul et du raisonnement logico-mathématique. Notre pratique plurimodale implique de considérer le patient dans sa globalité.

Chez les enfants présentant des troubles du langage oral, une vigilance particulière pourrait être portée sur l'acquisition de la comptine numérique puis des stratégies de résolution des opérations et des problèmes de la MSM au CP.

Un entraînement de la mémoire de travail auditivo-verbale sur supports numériques serait-il bénéfique dans la rééducation des dyscalculies, notamment celles en lien avec un trouble du langage oral ? Cette question reste ouverte aux cliniciens et aux chercheurs.

3. Apports personnels

D'un point de vue plus personnel, les expérimentations nous ont permis de nous positionner en tant que professionnelles, en situation duelle avec les enfants. Nous avons ainsi observé leurs évolutions sur deux années importantes de leur scolarité et construit des repères développementaux sur l'acquisition de l'arithmétique.

Nous avons également été en relation avec les équipes pédagogiques d'établissements scolaires, ce qui nous a permis de nous familiariser avec le cadre scolaire en vue de nos futures coopérations professionnelles.

Cette étude nous a permis d'acquérir la rigueur nécessaire à la recherche scientifique. Nos lectures nous ont donné l'envie de poursuivre l'approfondissement de nos connaissances théoriques et de continuer à nous former tout au long de notre exercice professionnel.

De plus, en tant qu'orthophonistes, nous serons amenées à faire des choix thérapeutiques qui devront être justifiés et validés par des études scientifiques. Grâce à cette expérience dans le domaine de la recherche, nous avons développé un esprit critique vis-à-vis de la littérature.

Enfin, lors de cette étude, nous nous sommes confrontées à des difficultés qui nous ont amenées à nous remettre en cause, à nous questionner et à tenter de trouver des solutions, ce qui nous prépare assez bien à la réalité de la pratique professionnelle.

CONCLUSION

Nous avons poursuivi l'étude menée par Mlles De Lajudie et Moutote dans leur Mémoire de Recherche en orthophonie.

Le modèle du triple code de Dehaene (1992) a été notre modèle théorique de référence. Nous nous sommes intéressées aux performances arithmétiques d'enfants de la Moyenne Section de Maternelle au Cours Préparatoire en partant du constat qu’il existe des compétences verbales et non verbales sous-jacentes à la cognition arithmétique. Afin de mieux appréhender les relations entre ces différentes capacités et les performances arithmétiques, nous avons conduit une étude longitudinale auprès de jeunes enfants de 4 à 6 ans. D’après les précédents résultats de l'étude, nous supposions que les habiletés verbales étaient les plus fortement corrélées à la réussite aux opérations et aux problèmes.

Notre étude a confirmé cette hypothèse. En effet, les capacités de résolution de petites opérations sont prédites par la maîtrise de la comptine verbale et les capacités en mémoire de travail. La réussite aux opérations a, elle-même, un poids très important dans les performances en résolutions de petits problèmes.

Nos recherches ont permis de souligner le poids de la mémoire de travail auditivo-verbales sur les performances aux petites opérations et aux problèmes simples en GSM et au CP. Il serait désormais intéressant de mesurer l'impact d'un entraînement de la mémoire de travail auditivo-verbale sur les acquisitions arithmétiques chez des enfants tout-venant mais aussi auprès d'un groupe de jeunes enfants présentant des troubles du langage oral.

Cette étude nous a permis de construire des références sur le développement du nombre et des bases de l’arithmétique chez des enfants tout-venants de maternelle et début de primaire. Or, ces acquisitions jouent un rôle certainement croissant parmi les facteurs déterminants de l'avenir de ces enfants dans notre société. Elles feront donc partie de nos préoccupations en tant qu’orthophoniste.

D'autre part, nous avons eu de nombreuses rencontres avec les enseignants des écoles maternelles et primaires, ce qui nous a placées dans une situation de responsabilité professionnelle, notamment lors d’échanges de renseignements et de points de vue. Il a également été enthousiasmant de faire connaître les domaines d'action de l'orthophonie à travers notre intérêt pour le domaine logico-mathématique.

Enfin, nous sommes heureuses d'avoir pu, à notre mesure, contribuer aux recherches concernant le développement cognitif, et plus particulièrement numérique et arithmétique, des jeunes enfants d'âge scolaire et préscolaire.

BIBLIOGRAPHIE

Antell, S., Keating, D.P. (1983). Perception of numerical invariance in neonates. *Child Development,* 54: 695-701.

Baddeley, A., & Hitch, G. (1974). Working memory. In G. Bower (Ed.), *The psychology of learning and motivation, 8* (pp.47-89). Stanford : Academic Press.

Barrouillet, P., Fayol, M., Roussel, J.L. (2002). Procedural vs. direct retrieval strategies in arithmetic: A comparison between additive and multiplicative problem solving. *European Journal of cognitive psychology*, *14*(1), 61-104.

Baruk, S. (1992). *Dictionnaire de mathématiques élémentaires*. Lonrai : Seuil.

Baruk, S. (1997). *Comptes pour petits et grands : pour un apprentissage du nombre et de la numération fondé sur la langue et le sens*. Paris : Magnard.

Bideaud, J. (1997). Du bébé à l'enfant de Piaget : quelle construction du nombre ? *Psychologie Française, 42*, 45-56.

Blanquart, M. (2008). *Elaboration d'une épreuve permettant de mesurer l'acquisition de la chaîne numérique verbale chez l'enfant de trois à sept ans*. Mémoire d'orthophonie. Paris : Université Pierre et Marie Curie.

Booth, J.L., & Siegler, R.S. (2006). Developmental and individual differences in pure numerical estimation. *Developmental Psychology, 41*, 189-201.

Booth, J., & Siegler, R.S. (2008). Numerical magnitude representations influence arithmetic learning. *Child development*, 79(4), 1016-1031.

Brissiaud, R. (1991). Un outil pour construire le nombre : les collections témoins de doigts. In J. Bideaud, C. Meljac & J.C. Fisher (Eds.), *Les chemins du nombre* (pp.59-90). Lille : Presses universitaires de Lille.

Brissiaud, R. (2003). In R. Brissiaud, *Comment les enfants apprennent à calculer. Le rôle du langage, des représentations figurées et du calcul dans la conceptualisation des nombres*. Paris : Retz.

Campbell, J.I.D, & Clark, J.M. (1992). Cognitive Number Processing : an encodingcomplex perspective. In J.I.D Campbell (Ed.), *The Nature and Origins of Mathematical Skills* (pp.457-492). Amsterdam : Elsevier Science Publishers B.V.

Canobi, K., & Bethune, N. (2008). Number words in young children's conceptual and procedural knowledge of addition, subtraction and inversion. *Cognition*, *108*, 675-686.

Carpenter, T.P., Moser, J.M. & Romberg, T.A. (1982). *Addition and subtraction : a cognitive perspective.* Hillsdale : Erlbaum.

Carpenter, T.P., Moser,J.M.(1983). The acquisition of addition and substaction concepts. In: Acquisition of mathematical concepts and processes. Lech, R., Landau, M. (eds). New York: Academic Press.

Cohen, M.J. (2001). CMS Echelle de Mémoire pour Enfants. Paris: ECPA.

De Corte, E., & Verschaffel, L. (1985). Beginning first graders' initial representation of arithmetic word problems. *Journal of Mathematical Behavior*, 4, 3-21.

Dehaene, S. (1992). Varieties of numerical habilities. *Cognition, 44*, 1-42..

Dehaene, S., & Cohen, L. (1991). Two mental calculation systems : A case study of severe acalculia with preserved approximation. *Neuropsychologia, 29*, 1045-1074.

Dehaene, S., & Cohen, L. (1995). Towards an anatomical and functional model of number processing. *Mathematical Cognition*, 1, 83-120.

Dehaene, S., & Cohen, L. (2000). Un modèle anatomique et fonctionnel de l'arithmétique mentale. In M. Pesenti & X. Seron (Eds.), *Neuropsychologie des troubles du calcul et du traitement des nombres* (pp.191-232). Marseille : Solal.

De Lajudie, S. & Moutote, N. (2010). *Poids des compétences verbales et non verbales sur les performances arithmétiques : étude sur des enfants tout-venant de moyenne et grande sections de maternelle.* Lyon : mémoire d'orthophonie n°1543.

Descoeudres, A. (1921). *Le développement de l'enfant de deux à sept ans*. Neufchâtel, Paris : Delachaux et Niestlé.

Donlan, C., Cowan, R., Newton, E. J., & Lloyd, D. (2007). The role of language in mathematical development : Evidence from children with specific language impairments. *Cognition, 103*, 23-33.

Fayol M. (2002). Langage et développement / apprentissage de l'arithmétique cognitive. In J. Bideaud & H. Lehalle, *Le développement des activités numériques*. Paris : Hermès.

Fayol, M. (2005). Les petits asiatiques savent-ils mieux compter ? *Cerveau et psycho, 9,* 54-59.

Fayol, M., Barrouillet, P., & Marinthe, C. (2001). Predicting arithmetical achievement from neuropsychological performance : a longitudinal study. *Cognition, 68*, 63-70.

Fayol, M., Camos, V., & Roussel, J.L. (1998). Acquisition et mise en oeuvre de la numération par les enfants de 2 à 9 ans. In M. Pesenti & X. Seron (2000), *La neuropsychologie du calcul*. Marseille : Solal.

Fayol, M., & Gaonac'h, D. (2007). Le développement de la mémoire. In A. Blaye & P. Lemaire (Eds.), *Psychologie du développement cognitif de l'enfant* (pp.125-156). Paris-Bruxelles : De Boeck Université.

Fayol, M., & Seron, X. (2005). About numerical representations: Insights from neuropsychological, experimental, and developmental studies. In J. I. D. Campbell (Ed.), *Handbook of mathematical cognition*. New York : Psychology Press.

Fayol, M., Thevenot, C., & Devidal, M. (2005). La résolution des problèmes. In M.P. Noël (Ed), *La dyscalculie, trouble du développement numérique de l'enfant* (pp 193-221). Marseille : Solal.

Fischer, J.P. (2001). Le bébé numérique. In A. Van Hout, C. Meljac & J.P. Fischer (2003), *Troubles du calcul et dyscalculies chez l'enfant* (pp. 76-91). Paris : Masson.

Fuson, K.C. (1982). An analysis of the counting-on solution procedure in addition. In T.P. Carpenter, J. M. Moser & T.A. Romberg (Eds.). *Addition and subtraction : a cognitive perspective* (pp.67-81). Hillsdale : Erlbaum

Fuson, K.C., & Hall, J. (1983). The acquisition of early number word meaning. In Ginsburg H. (Ed.), *The development of mathematical thinking* (pp.47-107). New York : Academic Press.

Fuson, K.C., Richards, J., & Briars, D.J. (1982). The acquisition and elaboration of the number word sequence. In C.J. Brainerd (Ed.), *Children's logical and mathematical cognition: Progress in cognitive development research – vol.1* (pp.33-92). New York : Springler-Verlag.

Gandini, D., & Lemaire, P. (2005). La résolution d'opérations arithmétiques au cours du développement. In M.P. Noël (Ed) *La dyscalculie, trouble du développement numérique de l'enfant* (pp 139-168). Marseille : Solal.

Gaonac'h, D., & Larigauderie, P. (2000). *Mémoire et fonctionnement cognitif, la mémoire de travail*. Paris : Armand Colin.

Geary, D.C. (1993). Mathematical disbilities : Cognitive, neuropsychological and genetic components. *Psychological Bulletin, 114*(2), 345-362.

Gil, R. (2007). *Neuropsychologie* (4ème éd.). Paris : Masson.

Groen, G.J., Parkman, J.M. (1972). A chronometric analysis of simple addition. *Psychological Review, 79*: 329-343.

Grosfilley, J. & Lacaze, S. (2007). *La quantité chez l'enfant tout-venant de 4 et 5 ans : structuration de l'évaluation globale*. Lyon : mémoire d'orthophonie n°1383.

Lépine, R., Roussel, J.-P., Fayol, M. (2003). Résolution procédurale ou récupération en mémoire des additions et multiplications élémentaires chez les enfants ? *L'année psychologique*, *103*(1), 51-80.

Lipton, J.S., & Spelke, E. S. (2003). Origins of number sense: Large number discrimination in human infants. *Psychological Science*, 14, 396-401.

Marinthe, C., Fayol, M., & Barrouillet, P. (2001). Gnosies digitales et développement des performances arithmétiques. In A. Van Hout, C. Meljac & J.P. Fischer (2003). *Troubles du calcul et dyscalculies chez l'enfant* (pp.255-268). Paris : Masson.

Mayer R.E. (1985). Mathematical ability. In R.J. Sternberg (Ed). *Human abilities*. (pp 127-150). San Francisco: Freeman.

McCloskey, M. (1992). Cognitive mechanisms in number processing : Evidence from acquired dyscalculia. *Cognition, 44*, 107-157.

McCloskey, M., Caramazza, A., & Basili, A. (1985). Cognitive mechanisms in number processing and calculation : Evidence from dyscalculia. *Brain and Cognition, 4*, 171-196.

Mccrink, K., Wynn, K. (2004). large-number addition and substraction by 9-month-old infants. *Psychological Science,* 15: 776-781.

Mirassou A. (2010). Des calculi aux dyscalculies. In : Approche neuropsychologique des troubles des apprentissages pp 209-223. Chokron S., Démonet J.F. Marseille : SOLAL, 2010.

Noël, M.P. (2001). Le transcodage chez l'enfant. In A. Van Hout, C. Meljac & J.P. Fischer (2003). *Troubles du calcul et dyscalculies chez l'enfant* (pp.111-122). Paris : Masson.

Noël, M.P. (2001). Rôle de la mémoire de travail dans l'apprentissage du calcul. In A. Van Hout & C. Meljac. *Troubles du calcul et dyscalculie chez l'enfant* (pp.171-178). Paris : Masson.

Noël, M.P. (2005). La représentation sémantique du nombre : son développement et ses troubles. In M.P. Noël (Ed), *La dyscalculie, trouble du développement numérique de l'enfant*. (pp. 105-137). Marseille: Solal.

Noël, M.P. (2009). Counting on working memory when learning to count and to add : a preschool study. *Development Psychology, 45*(6), 1630-1643.

Opfer, J. E., & Siegler, R. S. (2007). Representational change and children's numerical estimation. *Cognitive Psychology, 55*, 169–195.

Pesenti, M. (1995). La chaîne numérique verbale : Acquisitions et erreurs d'utilisation. Une brève synthèse de la littérature. *Approche neuropsychologique des apprentissages chez l'enfant*, hors-série, pp.24-29.

Pesenti, M., & Rousselle, L. (2001). Les procédures de quantification chez l'enfant. In A. Van Hout, C. Meljac, & J.P. Fischer. (2003). *Troubles du calcul et dyscalculies chez l'enfant* (pp.92-107). Paris : Masson.

Power, R., & Longuet-Higgins, H. (1978). Learning to count : a computational model of language acquisition. *Proceedings of the Royal Society of London, B200*, 391- 417.

Riley, M.S., Greeno, J.G., & Heller, J.I. (1983). Development of children's problem solving ability in arithmetic. In H.P. Ginsburg (Ed.), *The development of mathematical thinking*. New York: Academic Press.

Rousselle, L., (2005). Le point sur la question des compétences numériques précoces. In M.P. Noël (Ed), *La dyscalculie, trouble du développement numérique de l'enfant* (pp 15-40). Marseille : Solal.

Seron, X (1993). *La neuropsychologie cognitive*. Paris : PUF

Seron, X., & Fayol, M. (2004). Nombre, langage, systèmes de notation. In M. Pesenti & X. Seron (Eds.), *La cognition numérique* (pp. 189-218). Lavoisier, Hermès Sciences.

Seron, X., & Lochy, A. (2001). La neuropsychologie des troubles du calcul chez l'adulte. In A. Van Hout, C. Meljac & J.P. Fischer (2003). *Troubles du calcul et dyscalculies chez l'enfant* (pp.53-75). Paris : Masson.

Siegler, R.S. (1987). The perils of averaging data over strategies: An example from children's addition. *Journal of Experimental Psychology: General, 116*: 250-264.

Siegler, R.S. (1996). Emerging minds: The process of change in children's thinking. New York: Oxford University Press.

Siegler, R.S., & Booth, J.L. (2004). Development of Numerical Estimation in Young Children. *Child Development, 75*(2), 428 – 444.

Siegler, R.S., & Opfer, J.E. (2003). The development of numerical estimation : evidence for multiple representations of numerical quantity. *Psychological Science, 14*(3), 237-243.

Siegler, R.S., & Ramani, G. (2008). Playing linear numerical board games promotes lowincome children's numerical development. *Developmental science, 11*(5), 655-661.

Sophian, C. (1991). Le nombre et sa genèse avant l'école primaire : comment s'en inspirer pour enseigner les mathématiques ? In J. Bideaud, C. Meljac & J.P. Fisher. *Les chemins du nombre* (pp.35-58). Lille : Presses universitaires de Lille.

Soprano, A.M., Narbona, J. (2009). La mémoire de l'enfant, développement normal et pathologique. Paris : Masson.

Stern, E., & Lehrndorfer (1992). The role of situational context in solving word problems. *Cognitive Development*, 2, 259-268.

Thevenot, C., Barrouillet, P., & Fayol, M. (2001). Algorithmic solution of arithmetic problems and operand-answer associations in long term memory. *Quaterly Journal of Experimental Psychology, 54*(2), 599-611.

Van Hout, G. (2001). L'apprentissage des nombres naturels. In A.Van Hout, C. Meljac & J.P.Fischer (2003). *Troubles du calcul et dyscalculies chez l'enfant* (pp.9-40). Paris : Masson

Van Nieuwenhoven, C., Noël, M.P., & Grégoire, J. (2001). *Tedi-math : Test Diagnostique des Compétences de Base en Mathématiques*. Paris : ECPA.

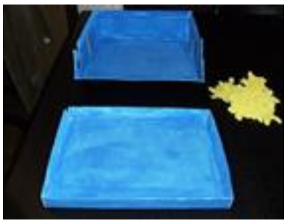
Wilson, A.J., Dehaene, S., Dubois, O. & Fayol, M. (2009). Effects of an adaptive game intervention on accessing number sense in low-socioeconomic-status kindergarden children. *Mind, Brain, and Education, 3*(4), 224-234

Wynn, K. (1992). Addition and subtraction by human infants. *Nature, 358*, 749-75

ANNEXES

Annexe I : Déroulement de l'épreuve des opérations

Exemple de l'addition « 4+1 »



L'expérimentateur et l'enfant disposent chacun d'une boîte. La boîte de l'examinateur possède une partie mobile, « une porte ».

L'expérimentateur met le premier opérande dans sa boîte sous les yeux de l'enfant.

Il cache ensuite le contenu de la boîte et met le second opérande, bien visible par l'enfant, dans la boîte.

L'enfant met le résultat dans sa boîte. L'expérimentateur ouvre ensuite sa boîte pour en vérifier le contenu avec l'enfant.

Annexe II : Déroulement de l'épreuve de la ligne numérique

Après l'entraînement proposé à l'enfant, L'expérimentateur propose un carnet de bandelettes à l'enfant. Sur chacune, est représentée une ligne bornée de 0 à 10 et orientée de gauche à droite.

Sur la première bandelette, l'expérimentateur demande à l'enfant de placer les bornes 0 et 10.

Après correction, si nécessaire, l'enfant doit placer chaque numéro présenté oralement et visuellement sur une bandelette.

Annexe III : Déroulement de l’épreuve des gnosies digitales

L’expérimentateur cache la main dominante de l’enfant grâce à un carton opaque. L’enfant ne peut donc pas voir ses doigts.

L’expérimentateur touche un doigt, deux doigts simultanément ou deux doigts successivement.

Le cache est ensuite retiré et l’enfant doit désigner avec son autre main le ou les doigts stimulés.

TABLE DES ILLUSTRATIONS

a. Liste des tableaux

b. Liste des figures

TABLE DES MATIERES

Anne-Hélène DACLIN
Régine LALLEMAND

PREDIRE LES PERFORMANCES ARITHMETIQUES DE 4 A 6 ANS : Poids des compétences verbales et non verbales.

81 Pages

Mémoire d'orthophonie -**UCBL-ISTR**- Lyon 2011

RESUME

Cette étude longitudinale commencée par De Lajudie et Moutote en 2009 vise à mesurer le poids des compétences verbales et non verbales dans l'acquisition de l'arithmétique chez des enfants tout-venant de 4 à 6 ans. Un groupe de 17 enfants a été rencontré quatre fois de la moyenne section de maternelle au cours préparatoire avec un intervalle de 6 mois entre chaque passation. Le protocole comporte trois épreuves évaluant les compétences verbales (maîtrise de la comptine numérique, rappel sériel et au CP, empan endroit et envers), et deux épreuves testant les compétences non verbales (gnosies digitales et estimation de la quantité sur une ligne numérique). Les performances arithmétiques sont mesurées à l'aide de deux épreuves : une résolution de petites opérations présentées non verbalement et une résolution de problèmes simples proposés sous forme verbale. D'après les premiers résultats de cette étude, nous supposions une prédominance des compétences verbales dans l'acquisition de l'arithmétique. Les résultats statistiques et l'analyse qualitative confirment cette hypothèse. La maîtrise de la comptine numérique verbale et les capacités en mémoire de travail verbale se révèlent être les compétences les plus corrélées aux performances arithmétiques. De plus, la réussite aux opérations en GSM est le meilleur prédicteur de la réussite aux problèmes au CP. Des études approfondies avec une population plus large, permettraient de préciser la nature des relations entre les différents facteurs mis en avant par notre étude.

MOTS-CLES

Opérations arithmétiques – additions – soustractions – problèmes - comptine numérique – empan - gnosies digitales - ligne numérique

MEMBRES DU JURY

DI QUAL Myriam

GONZALEZ Sibylle

OLLAGNON Pascale

MAITRE DE MEMOIRE

Michel FAYOL

DATE DE SOUTENANCE

30 juin 2011