



# Évolution longitudinale des compétences arithmétiques au cours du CE1. Étude des corrélations avec les fonctions cognitives

Hélène Jacqz, Hélène Sechet

## ► To cite this version:

Hélène Jacqz, Hélène Sechet. Évolution longitudinale des compétences arithmétiques au cours du CE1. Étude des corrélations avec les fonctions cognitives. Sciences cognitives. 2013. dumas-00873501

**HAL Id: dumas-00873501**

**<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-00873501>**

Submitted on 2 Nov 2015

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

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

ACADEMIE DE PARIS

UNIVERSITE PARIS VI PIERRE et MARIE CURIE

**MEMOIRE POUR LE CERTIFICAT DE CAPACITE D'ORTHOPHONISTE**

Evolution longitudinale des compétences arithmétiques au cours du CE1  
Etude des corrélations avec les fonctions cognitives

DIRECTEUR DE MEMOIRE : Michel FAYOL

Année Universitaire 2012-2013

Hélène JACQZ

Née le 23/09/1985

Hélène SECHET

Née le 28/04/1989



## **Remerciements**

Dans la réalisation de ce mémoire nous avons été soutenues et encouragées par de nombreuses personnes que nous tenons sincèrement à remercier.

Monsieur Fayol, pour avoir accepté d'être notre maître de mémoire, pour sa pédagogie lors des réunions, l'apport de ses remarques dans la rédaction du mémoire ainsi que pour son aide dans la réalisation des analyses statistiques.

L'équipe de l'hôpital Bicêtre : Madame Billard, Madame Mirassou et Madame Iannuzzi pour le prêt du matériel d'évaluation, et surtout pour leur aide, leur disponibilité et leur soutien tout au long de l'année qui nous ont été précieux.

Madame Galbiati pour son aide et ses explications lors de l'entraînement aux passations des tests et lors de la correction des figures de Rey.

Monsieur Dellatolas pour l'établissement des scores globaux du CP.

Madame Messaouden pour nous avoir fourni des renseignements concernant l'évaluation de certains enfants afin de compléter les études de cas.

Madame Idiart pour avoir accepté d'être notre rapporteur, et pour ses conseils lors de la préparation de la soutenance.

Les directeurs des écoles Keller et Télégraphe, respectivement Monsieur Bassereau et Madame Fransquin, ainsi que toute l'équipe d'enseignants : Monsieur Lavie, Madame Vivien, Madame Coffignot, Madame Platt, Madame Cabioch, Madame Monteserin et Madame Etchevers pour avoir accepté de nous accueillir et de tester les enfants.

Hélène Bitche et Sarah Cohen pour le prêt de leurs planches de Corsi.

Nous remercions nos parents, proches et amis respectifs pour leur soutien tout au long de cette année, en particulier Guillaume et Philippe, informaticiens dévoués, pour leur aide dans la réalisation du mémoire et leur patience.

Hélène Séchet souhaite spécialement remercier ses parents, pour lui avoir prêté une oreille attentive et pour leur générosité sans cesse renouvelée. Merci aussi à Delphine et Diane, pour leur amitié fidèle.

# Table des matières

<b>I</b>	<b><u>INTRODUCTION .....</u></b>	<b><u>1</u></b>
	<i>(Hélène Séchet et Hélène Jacqz)</i>	
<b>II</b>	<b><u>PARTIE THEORIQUE .....</u></b>	<b><u>2</u></b>
<b>1.</b>	<b><i>Compétences spécifiques à l'arithmétique.....</i></b>	<b><i>2</i></b>
	<i>(Hélène Jacqz)</i>	
<b>1.1</b>	<b><u>Représentations : le modèle du Triple Code.....</u></b>	<b><u>2</u></b>
1.1.1	<u>La représentation analogique .....</u>	<u>2</u>
1.1.2	<u>La représentation auditivo-verbale.....</u>	<u>2</u>
1.1.3	<u>La représentation visuelle-arabe .....</u>	<u>2</u>
<b>1.2</b>	<b><u>Les procédures de quantification .....</u></b>	<b><u>3</u></b>
1.2.1	<u>L'estimation.....</u>	<u>4</u>
1.2.2	<u>Le subitizing .....</u>	<u>4</u>
1.2.3	<u>Le dénombrement.....</u>	<u>5</u>
<b>1.3</b>	<b><u>La chaîne verbale .....</u></b>	<b><u>7</u></b>
<b>1.4</b>	<b><u>Le calcul .....</u></b>	<b><u>9</u></b>
1.4.1	<u>Les additions .....</u>	<u>9</u>
1.4.2	<u>Les soustractions.....</u>	<u>10</u>
1.4.3	<u>Les multiplications .....</u>	<u>11</u>
1.4.4	<u>Les divisions .....</u>	<u>11</u>
<b>1.5</b>	<b><u>Les transcodages .....</u></b>	<b><u>12</u></b>
<b>1.6</b>	<b><u>Les problèmes.....</u></b>	<b><u>13</u></b>
<b>2.</b>	<b><i>Compétences et processus cognitifs sous-jacents .....</i></b>	<b><i>15</i></b>
	<i>(Hélène Séchet)</i>	
<b>2.1</b>	<b><u>Les capacités langagières.....</u></b>	<b><u>15</u></b>
<b>2.2</b>	<b><u>Les processus mnésiques .....</u></b>	<b><u>16</u></b>
2.2.1	<u>La mémoire à court terme et la mémoire de travail .....</u>	<u>16</u>

2.2.2	<i>La mémoire à long terme</i> .....	18
<b>2.3</b>	<b><u>Les fonctions attentionnelles et exécutives</u></b> .....	<b>20</b>
<b>2.4</b>	<b><u>Les capacités perceptives</u></b> .....	<b>22</b>
2.4.1	<i>Les capacités visuo-spatiales</i> .....	22
2.4.2	<i>Les capacités perceptivo-tactiles et visuelles</i> .....	23
<b>3.</b>	<b><i>Les difficultés d'acquisition des compétences numériques</i></b> .....	<b>23</b>
	<i>(Hélène Jacqz et Hélène Séchet)</i>	
<b>3.1</b>	<b><u>La chaîne numérique verbale</u></b> .....	<b>24</b>
<b>3.2</b>	<b><u>Le dénombrement</u></b> .....	<b>25</b>
<b>3.3</b>	<b><u>Les faits arithmétiques</u></b> .....	<b>26</b>
<b>3.4</b>	<b><u>La résolution de problèmes</u></b> .....	<b>27</b>
<b>3.5</b>	<b><u>Les transcodages</u></b> .....	<b>29</b>
<b>3.6</b>	<b><u>Les prédicteurs des compétences arithmétiques et l'impact de l'atteinte des processus cognitifs sous-jacents</u></b> .....	<b>31</b>
<b>III</b>	<b><u>PROBLEMATIQUE</u></b> .....	<b>33</b>
	<i>(Hélène Séchet et Hélène Jacqz)</i>	
<b>IV</b>	<b><u>HYPOTHESES</u></b> .....	<b>34</b>
	<i>(Hélène Séchet et Hélène Jacqz)</i>	
<b>V</b>	<b><u>PARTIE PRATIQUE</u></b> .....	<b>35</b>
	<i>(Hélène Séchet et Hélène Jacqz)</i>	
<b>1.</b>	<b><i>Méthodologie</i></b> .....	<b>35</b>
<b>1.1</b>	<b><u>Population étudiée</u></b> .....	<b>35</b>
<b>1.2</b>	<b><u>Conditions de passation</u></b> .....	<b>35</b>
1.2.1	<i>Les salles</i> .....	35
1.2.2	<i>L'emploi du temps</i> .....	36
1.2.3	<i>Les examinateurs</i> .....	36
<b>1.3</b>	<b><u>Description des épreuves</u></b> .....	<b>37</b>
1.3.1	<i>Epreuves proposées au CP</i> .....	37

1.3.1.1	<i>Fonctions arithmétiques</i> .....	37
A	<b>Lignes numériques</b> .....	37
B	<b>Comparaison de nombres indo-arabes</b> .....	38
C	<b>Comparaison de collections</b> .....	38
D	<b>Addition de symboles et de nombres</b> .....	38
E	<b>Configurations de doigts à relier</b> .....	38
F	<b>Dénombrement de collections</b> .....	38
G	<b>Ecriture de la chaîne numérique</b> .....	39
H	<b>Suite logique de nombres</b> .....	39
1.3.1.2	<i>Fonctions cognitives sous-jacentes au traitement numérique</i> .....	39
A	<b>Copie de figures</b> .....	39
B	<b>RAN (Rapid Automatized Naming)</b> .....	39
C	<b>Gnosies digitales</b> .....	40
1.3.2	<u><i>Epreuves proposées en CE1</i></u> .....	40
1.3.2.1	<i>Evaluation des compétences numériques</i> .....	40
A	<b>Zareki-R</b> .....	40
A.1	<u>Dénombrement de points</u> .....	40
A.2	<u>Comptage oral à rebours</u> .....	41
A.3	<u>Transcodages</u> .....	41
A.4	<u>Calcul mental oral</u> .....	42
A.5	<u>Positionnement de nombres sur une échelle</u> .....	42
A.6	<u>Comparaison de deux nombres présentés à l'oral</u> .....	43
A.7	<u>Comparaison de deux nombres présentés à l'écrit</u> .....	44
A.8	<u>Estimation visuelle de quantités</u> .....	44
A.9	<u>Estimation qualitative de quantités en contexte</u> .....	45
A.10	<u>Problèmes arithmétiques présentés oralement</u> .....	45
B	<b>Tedi-Math</b> .....	46
B.1	<u>Comptage</u> .....	46
B.2	<u>Transcodages</u> .....	47
B.3	<u>Opérations avec énoncé arithmétique</u> .....	48
1.3.2.2	<i>Evaluation des compétences sous-jacentes au traitement numérique</i> .....	48
A	<b>Lecture de mots (Timé 2)</b> .....	48
B	<b>EDA</b> .....	49

B.1	<u>Phonologie</u> .....	49
B.2	<u>Evocation lexicale</u> .....	50
B.3	<u>Compréhension lexicale</u> .....	50
B.4	<u>Expression syntaxique</u> .....	50
B.5	<u>Compréhension syntaxique</u> .....	51
B.6	<u>Raisonnement visuo-spatial</u> .....	51
B.7	<u>Praxies constructives</u> .....	52
B.8	<u>Praxies gestuelles</u> .....	52
C	<b>Figure Complexe de Rey</b> .....	53
D	<b>Répétition de chiffres (Zareki-R)</b> .....	54
E	<b>Cubes de Corsi</b> .....	54
F	<b>Attention auditive et réponses associées (NEPSY)</b> .....	55
2.	<b><i>Analyse globale des données</i></b> .....	57
2.1	<b><u>Evolution des compétences arithmétiques entre le CP et le CE1</u></b> .....	57
2.2	<b><u>Comparaison des groupes des « faibles » et des « forts » au CP par épreuve en mathématiques du CE1</u></b> .....	61
2.3	<b><u>Analyse de la dispersion des notes au CE1 à travers les écarts-types dans le groupe des « forts » et des « faibles » au CP</u></b> <b><u>.....</u></b>	64
3.	<b><i>Etudes de cas</i></b> .....	68
3.1	<b><u>Enfant n°24 née en novembre 2005</u></b> .....	69
3.1.1	<i>Evolution</i> .....	69
3.1.2	<i>Compétences arithmétiques au CE1</i> .....	69
3.1.3	<i>Contexte cognitif général</i> .....	70
3.2	<b><u>Enfant n°23 née en mai 2005</u></b> .....	73
3.2.1	<i>Evolution</i> .....	73
3.2.2	<i>Compétences arithmétiques au CE1</i> .....	73
3.2.3	<i>Contexte cognitif général</i> .....	74



<b>3.3 <u>Enfant n°18 née en juin 2005</u></b> .....	<b>76</b>
3.3.1 <i>Evolution</i> .....	76
3.3.2 <i>Compétences arithmétiques au CE1</i> .....	76
3.3.3 <i>Contexte cognitif général</i> .....	78
<b>3.4 <u>Enfant n°29 né en avril 2005</u></b> .....	<b>80</b>
3.4.1 <i>Evolution</i> .....	80
3.4.2 <i>Compétences en CE1</i> .....	80
3.4.3 <i>Contexte cognitif général</i> .....	82
<b>3.5 <u>Enfant n°8 née en septembre 2005</u></b> .....	<b>85</b>
3.5.1 <i>Evolution</i> .....	85
3.5.2 <i>Compétences arithmétiques au CE1</i> .....	85
3.5.3 <i>Contexte cognitif général</i> .....	87
<b>3.6 <u>Conclusion générale des études de cas et proposition de remédiations</u></b> .....	<b>87</b>
<b>VI <u>DISCUSSION</u></b> .....	<b>91</b>
<i>(Hélène Séchet et Hélène Jacqz)</i>	
1. <i>Hypothèses</i> .....	91
2. <i>Biais et limites</i> .....	93
2.1 <b><u>Sélection de la population :</u></b> .....	<b>93</b>
2.2 <b><u>Choix des épreuves :</u></b> .....	<b>93</b>
2.3 <b><u>Analyses globales :</u></b> .....	<b>93</b>
2.4 <b><u>Etudes de cas :</u></b> .....	<b>94</b>
<b>VII <u>CONCLUSION ET PERSPECTIVES</u></b> .....	<b>95</b>
<i>(Hélène Séchet et Hélène Jacqz)</i>	

## **Bibliographie**

### **Annexes**

Annexe n° 1 – Situation de l'enfant n°24 par rapport aux moyennes des 2 groupes aux épreuves arithmétiques au CE1

Annexe n° 2 – Situation de l'enfant n°23 par rapport aux moyennes des 2 groupes aux épreuves arithmétiques au CE1

Annexe n° 3 – Situation de l'enfant n°18 par rapport aux moyennes des 2 groupes aux épreuves arithmétiques au CE1

Annexe n° 4 - Situation de l'enfant n°29 par rapport aux moyennes des 2 groupes aux épreuves arithmétiques au CE1

Annexe n° 5 - Situation de l'enfant n°8 par rapport aux moyennes des 2 groupes aux épreuves arithmétiques au CE1

Annexe n° 6 - Données démographiques de l'échantillon

Annexe n°7 - Tableau A - Scores obtenus par enfant à l'évaluation des compétences arithmétiques au CE1

Annexe n°8 - Tableau B - Scores obtenus par enfant à l'évaluation des fonctions cognitives générales au CE1

### **Table des tableaux**

Tableau n° 1 - Epreuves arithmétiques en commun entre le CP et le CE1 .....	37
Tableau n° 2 - Epreuves cognitives en commun entre le CP et le CE1 .....	39
Tableau n° 3 - Evolution des sujets en mathématiques du CP au CE1 .....	60
Tableau n° 4 - Analyses paramétrique de Fisher et non paramétrique de Mann-Withney .....	62

### **Table des graphes**

Graphe n° 1 - Répartition en CP des enfants selon leur score composite en mathématiques, (Percentiles).....	58
Graphe n° 2 - Répartition des mêmes enfants en CE1 selon leur score total au Zareki (ET) ..	58
Graphe n° 3 - Répartition des enfants « forts » ou « faibles » au CP.....	65

# **I INTRODUCTION**

Le nombre appartient à notre quotidien dès le plus jeune âge, de la perception des quantités à l'apprentissage et l'application des mathématiques pour obtenir une formation et un emploi. En 2010, Pagani montre que les compétences arithmétiques à l'entrée en Cours Préparatoire prédisent le niveau scolaire ultérieur, y compris en lecture. Quant à l'impact des mathématiques sur la vie socioprofessionnelle, les individus en difficultés accèdent à moins d'emplois à temps plein, plus de métiers manuels, et connaissent aussi des périodes de chômage plus fréquentes (Geary, 2011b).

Les mathématiques se trouvent donc au cœur des enjeux académiques et socioprofessionnels. Or, ces 25 dernières années, nous observons une diminution des performances scolaires dans ce domaine (Rocher 2008). L'augmentation du nombre d'enfants en difficultés nécessite de continuer les recherches. On peut penser que la compréhension des processus cognitifs sous-jacents et la mise en évidence de prédicteurs de l'évolution permettraient de proposer des interventions efficaces et précoces. Ainsi, les recherches contemporaines portant sur les habiletés numériques tendent à décrire les mécanismes d'apprentissage des mathématiques. Par ailleurs, les activités numériques nécessitent de mettre du sens sur ce qui est manipulé, lu ou écrit (Baruk, 2003). Ce niveau d'abstraction n'est atteignable que lorsque l'enfant a confiance en ses capacités (Van Nieuwenhoven, 2010). Il est donc urgent de proposer des interventions adaptées, afin de rassurer les enfants en difficultés dans leur propre appréciation de leur aptitude à traiter les nombres.

Dans une première partie du mémoire, nous présenterons les compétences de base nécessaires à l'apprentissage des mathématiques, à savoir les capacités arithmétiques mêmes et les fonctions cognitives générales sous-jacentes. Nous exposerons également les difficultés pouvant être rencontrées par les apprenants. Ensuite, dans une deuxième partie du mémoire, nous observerons le développement des compétences arithmétiques du CP (début du 3<sup>ème</sup> trimestre) au CE1 (début de 2<sup>ème</sup> trimestre), chez 32 enfants forts ou faibles en mathématiques. L'étude de l'ensemble de l'échantillon et de cas particuliers d'enfants permettra de déterminer des trajectoires d'évolution en mathématiques, notamment, en anticipant les résultats, de constater la persistance de difficultés ou la normalisation des capacités arithmétiques, et de tenter d'en expliquer la cause par l'identification de facteurs.

## II PARTIE THEORIQUE

### *1. Compétences spécifiques à l'arithmétique*

#### **1.1 Représentations : le modèle du Triple Code**

Le modèle neuropsychologique du triple code (Dehaene en 1992) propose une nouvelle architecture du traitement numérique et arithmétique. Il comporte deux prémisses :

- Les nombres sont représentés et manipulés mentalement selon trois représentations distinctes : la représentation analogique, la représentation auditivo-verbale et la représentation visuelle-arabe.
- Tout traitement numérique fait appel à une représentation spécifique.

##### *1.1.1 La représentation analogique*

L'originalité essentielle du modèle du triple code repose sur la représentation analogique ou préverbale. Celle-ci serait innée et correspondrait à une représentation non-symbolique des quantités, autrement dit un « sens du nombre ». Elle est représentée métaphoriquement par une ligne numérique, est sensible à l'effet de taille et l'effet de distance et permet des calculs approximatifs.

##### *1.1.2 La représentation auditivo-verbale*

La représentation verbale est précise, dépendante de la langue maternelle et comporte un lexique et une syntaxe : l'ordre des mots code la quantité.

Son apprentissage est d'abord implicite au moins pour les nombres jusque 20 puis il devient explicite avec l'abord des règles permettant de constituer les nombres.

Elle intervient dans le dénombrement et les calculs.

##### *1.1.3 La représentation visuelle-arabe*

La représentation arabe nécessite un apprentissage explicite, elle est indépendante de la langue maternelle et se caractérise par une notation positionnelle : la valeur du chiffre est codée par sa position dans le nombre.

Ce passage du modèle neuropsychologique à la perspective anatomo-fonctionnelle du triple code met en évidence qu'il n'y a **pas une mais plusieurs régions cérébrales**

**impliquées dans le calcul.** Ainsi, les fonctionnements cognitifs (représentations analogique, verbale et arabe) correspondent respectivement à trois substrats cérébraux : les régions pariétales inférieures, la région temporelle gauche péri-sylvienne et les régions occipito-temporales. (Fayol, 2012).

Des liaisons fonctionnelles relient les représentations indépendantes entre elles. Il en résulte que le passage d'un format de représentation à un autre n'implique en aucune manière un passage systématique par l'interprétation sémantique. Donc, des transcodages directs (asémantiques) sont possibles.

Dans notre étude : la batterie standardisée du Zareki-R est basée sur les travaux récents en neuropsychologie. Elle permet d'évaluer les performances des enfants de notre échantillon dans les différentes composantes du traitement des nombres et du calcul associées à chacune des trois représentations du modèle du triple code. En effet, le code verbal est testé à travers les épreuves de comptage oral à rebours et de calcul mental oral. Ensuite, l'épreuve de comparaison de nombres écrits mobilise la connaissance des règles du système de position déterminant le code indo-arabe. D'après Fayol, Perros et Seron (2004), « *La décision reposerait sur la comparaison séquentielle des chiffres correspondant aux milliers puis aux centaines* ». (voir livret du Zareki-R). Enfin, le code analogique est évalué à travers les épreuves de dénombrement, d'estimation visuelle de quantités, d'estimation qualitative de quantités en contexte, de positionnement de nombres sur une échelle verticale et de comparaison de nombres orale. Par ailleurs, les transcodages évaluent le passage du code arabe au code verbal (lecture) et du code verbal au code arabe (dictée). Pour finir, les problèmes présentés oralement permettent d'évaluer les capacités de compréhension de phrases, la capacité à effectuer des calculs et les capacités de mémoire de travail. Pour approfondir notre étude, des épreuves du Tedi-math ont été ajoutées à savoir : une épreuve de comptage et de calcul mental pour tester l'utilisation du code verbal et une épreuve de transcodages. Ces évaluations des différents codes symboliques et analogique nous permettront dans nos études de cas d'observer quel code pose des difficultés ou au contraire est maîtrisé par l'enfant.

## **1.2 Les procédures de quantification**

On distingue trois procédures de quantification : l'estimation, le subitizing et le dénombrement.

Celles-ci servent à déterminer la numérosité de collections ou de séquences.

### 1.2.1 L'estimation

**L'estimation permet d'évaluer et de comparer de manière approximative des quantités continues importantes présentées pour un temps bref.** Cette procédure automatique, non accessible à la conscience et d'abord non symbolique serait universelle, présente chez les bébés, chez certains animaux (pigeons, souris...) et chez les peuplades primitives. En effet, des expériences menées auprès de nouveau-nés ont montré qu'ils sont capables de percevoir une différence entre deux collections à condition que cette différence entre les quantités soient suffisamment grande (Habib M., Noël M-P. et al, 2011) : ils différencient dans un premier temps des quantités dans un rapport de 1 à 2 (8 vs 16). Puis, vers 9 mois, ils distinguent des quantités dans un rapport de 2 à 3 (8 vs 12). L'intuition des quantités numériques est donc précoce, elle s'améliore pendant la période préscolaire et continue d'évoluer.

**L'estimation se caractérise par l'effet de distance : « la comparaison de deux quantités est d'autant plus facile qu'elles sont éloignées » et l'effet de taille : « la difficulté augmente avec la taille des quantités »** (Fayol, 2012). Ces effets sont connus sous le nom de « loi de Weber ».

Pour évaluer la précision des estimations, on utilise le placement de nombres sur une ligne numérique qui nous informe sur les représentations mentales des quantités.

Une étude longitudinale d'enfants de première année primaire a mis en évidence une corrélation significative entre les performances en comparaison de quantités symboliques et leurs performances en mathématiques (Fayol, 2012).

### 1.2.2 Le subitizing

**Le subitizing, défini comme « la capacité d'appréhender le nombre perceptivement qui est forcément limitée à de petits nombres »** (Blaye & Lemaire, 2007) permet l'estimation précise d'une collection limitée à 3 ou 4 entités rapidement sans avoir à compter.

De nombreuses expériences ont montré que les enfants savaient discriminer des ensembles de 2 ou 3 points et occasionnellement de 3 et 4 points. Cependant, aucun groupe d'enfants de moins de un an n'est parvenu à différencier 4 points de 5 ou même de 6 points.

Le bébé n'a donc une connaissance précise que des tout premiers nombres (Dehaene, 2010). « *Ces capacités de discrimination ne se limitent pas aux objets physiques, les bébés savent aussi discriminer le nombre de sauts effectués par une poupée ou des mots de 2 syllabes vs 3* ». (Noël. M.-P, 2011).

Pour conclure, des compétences numériques seraient précoces, présentes chez les bébés et s'organiseraient en deux systèmes. L'un permettrait de se représenter les grandes quantités de façon approximative et un autre traiterait les petites quantités de manière précise. **Ces systèmes de traitement seraient associés aux fonctionnements des lobes pariétaux pour l'approximation de la région frontale inférieure gauche ainsi que du gyrus angulaire gauche pour les tâches numériques exactes. Les deux dernières localisations évoquées sont aussi impliquées dans le langage (Noël MP, 2011).** Le fait que les bébés discriminent de grandes et de petites quantités entre elles mais échouent lorsqu'ils doivent discriminer une petite d'une grande quantité corrobore l'existence de deux systèmes de quantification.

### 1.2.3 Le dénombrement

Le dénombrement, nécessaire pour déterminer des quantités, est une activité complexe qui requiert la coordination de plusieurs habiletés : des aptitudes verbales, soit l'énonciation contrôlée de la suite des nombres, et des aptitudes visuo-spatiales et motrices, soit le pointage de chaque élément d'une collection.

**Le dénombrement d'une collection nécessite donc de savoir compter. Ce savoir reposerait sur cinq principes :** (Gelman et Gallistel 1978), 1) le principe d'ordre stable : les mots-nombres sont énoncés dans le même ordre à chaque comptage, 2) le principe de correspondance terme à terme : chaque élément compté est désigné par un mot-nombre avec correspondance stricte , 3) le principe de cardinalité : le cardinal correspond au dernier mot-nombre prononcé et représente le nombre d'éléments de la collection, 4) le principe de non-pertinence de l'ordre : l'ordre dans lequel les éléments d'un ensemble sont énumérés ne change pas le résultat du comptage si le principe de correspondance terme à terme a été respecté, 5) le principe d'abstraction : l'hétérogénéité des éléments d'un ensemble n'en change pas le cardinal. La mise en œuvre de ces principes est attestée entre 3 ans et demi et 4 ans. Elle varie en fonction de la maîtrise de la chaîne numérique verbale et du contrôle du pointage. Les enfants disposent très tôt des deux premiers principes.

En revanche, les chercheurs ne s'accordent pas sur la précocité de la maîtrise du principe de cardinalité. En effet, si les automatismes de comptage sont présents, l'enfant n'en connaît pas le but qui est de donner la cardinalité d'un ensemble d'objets. Cette étape qui consiste à associer un code symbolique à une quantité se mettrait en place spontanément après 3 ans et demi (Dehaene, 1997). « *Les deux derniers dépendraient plus de la pratique du dénombrement* ». (Fayol, 2008).

Si les principes de comptage peuvent être rapidement maîtrisés, certains enfants semblent néanmoins incapables de les mettre en œuvre simultanément (comme le nécessite une tâche de dénombrement) et échouent lors d'une telle tâche. Pour expliquer ces échecs, deux sources d'erreurs ont été évoquées relativement à deux autres composantes : la première concerne la connaissance procédurale. Elle renvoie à une habileté de planification des actions et au contrôle de leur exécution. La deuxième est une compétence qui a trait à l'utilisation. Elle renvoie à la compréhension des nécessités de la tâche et à la détermination de l'objectif à atteindre (Villette, 1996).

Avec l'âge, les procédures de comptage se développent grâce à la coordination et à l'application des principes sur des collections de plus en plus importantes avec une diminution des erreurs de planification.

**Le dénombrement est considéré comme un précurseur des habiletés nécessaires à la résolution d'opérations.**

Dans notre étude : chacune des trois « procédures de quantification » est évaluée par des épreuves du Zareki-R et nous renseigne, en cas de difficultés rencontrées par l'enfant, sur la représentation ou procédure spécifiquement atteinte.

L'estimation globale est évaluée par l'épreuve d'estimation visuelle de quantités et l'estimation symbolique est testée par l'épreuve de placement de nombres sur une échelle verticale.

Ensuite, l'épreuve de dénombrement de points proposée avec une mesure du temps de réponse évalue le dénombrement et le subitizing. La première partie de l'épreuve du Zareki-R permet de voir si l'enfant utilise spontanément les cinq principes de Gelman et donne le cardinal correspondant au nombre de points. Dans cette partie de l'épreuve, le pointage n'est pas demandé, car à 6 ans il n'est normalement plus obligatoire pour garantir la qualité du dénombrement (Saxe et Kaplan 1981). La deuxième partie, dans laquelle il est demandé à l'enfant de compter tout haut et de pointer chaque point permet de voir, lorsque la réponse donnée par l'enfant est erronée, quel principe n'est pas acquis. Il arrive que l'enfant ait acquis



les cinq principes mais ne parviennent pas à donner le bon nombre correspondant au cardinal. Ainsi, cette épreuve permet aussi de mettre en évidence des difficultés visuo-spatiales. (voir livret du Zareki-R). Par ailleurs, cette épreuve comportant une mesure du temps, l'un des items de l'épreuve comprenant 5 points permet de dire selon la vitesse de la réponse, si l'enfant a fait appel à la procédure de dénombrement ou plutôt à celle du subitizing.

### **1.3 La chaîne verbale**

La chaîne numérique verbale renvoie aux noms de nombres, lesquels évoquent des numérosités d'éléments isolés.

Elle présente plusieurs caractéristiques :

- Elle est dépendante de la langue maternelle.
- Elle est précise et soumise à un lexique et une syntaxe spécifique et est caractérisée en français par deux types de relation : la relation de somme (exemple : cent-trois) et la relation de produit (exemple : trois cents).
- Elle repose sur les bases dix, vingt, soixante.

**La chaîne verbale sert dans les procédures de dénombrement (Fuson, 1982) et pour le calcul.**

Son acquisition qui se met en place entre 2 et 6 ans environ pour les nombres jusqu'à vingt, passe par quatre étapes décrites par Fuson, Richards et Briars (1982). D'abord, les enfants récitent **une suite indifférenciée** énoncée d'un seul bloc sans comprendre que le nom de nombre renvoie à une valeur arithmétique (**étape du chapelet**). Puis, les noms de nombre sont individualisés, l'enfant compte systématiquement **à partir de un et jusqu'à un nombre donné (la chaîne insécable)**. Ensuite, l'enfant sait réciter la litanie **à partir d'une borne et entre deux bornes, il commence à compter à rebours, il est capable d'identifier quel nombre vient avant ou après un autre, ce qui lui permet de déterminer les relations ordinales entre les nombres (chaîne sécable)**. Enfin, l'enfant peut compter à l'endroit ou à rebours, et **dire la quantité d'éléments qu'il y a entre deux bornes**. Les entités sont distinctes dans une **suite arithmétisée (chaîne terminale)**. Au plus haut niveau d'élaboration la chaîne est bidirectionnelle. Ce niveau est atteint vers l'âge de 7 ans 6 selon Fuson (1982).

Cependant, comme le souligne M. Fayol (1990), il existe une grande variabilité interindividuelle dans ces acquisitions même si en principe la maîtrise de la chaîne est définitivement installée avec la première année primaire.

Par ailleurs, **l'acquisition de la chaîne et des suites numériques verbales produites par l'enfant se traduisent par des productions analysables approximativement en trois parties :**

Une première partie est à la fois stable (elle se retrouve à chaque essai) et conventionnelle (elle correspond aux canons adultes) dont la taille s'accroît peu à peu.

La deuxième partie de la chaîne se révèle relativement stable mais non conventionnelle (les termes retenus sont redonnés dans l'ordre mais avec des omissions), c'est le cas surtout, lors de l'apprentissage des nombres de 10 à 19.

Enfin, la troisième partie ni stable ni conventionnelle se traduit par des productions non structurées mais non complètement aléatoires avec, d'un essai à l'autre des blocs de nombres plus ou moins systématiquement accolés. Ce mode de structuration est dû au fait que pendant longtemps, la chaîne verbale fait l'objet d'un apprentissage par cœur, indispensable pour les unités de 1 à 9 et pour les items de 11 à 16. A partir de 17, plus généralement de 20 à 69, s'appliquent des règles linguistiques de formation que l'enfant aura à découvrir et à appliquer. Un apprentissage par cœur de ces nombres serait donc superflu (Fayol, 1990).

Des comparaisons internationales ont montré que les enfants d'Asie du Sud Est ont de meilleures performances que les enfants occidentaux dans l'acquisition de la suite verbale des nombres. Cette différence s'explique par l'opacité du système verbal français qui fragilise et ralentit l'apprentissage de celui-ci. En effet, les langues d'Asie du Sud Est présentent un système régulier de dénomination verbale (treize s'énonce « dix trois », et vingt-six « deux dix six »), cette organisation de la numération verbale permet de produire ou de percevoir facilement la composition des nombres en dizaines et en unités. A l'inverse, les langues occidentales ne font pas apparaître clairement cette structure décimale. Par conséquent, Les enfants français ne découvrent l'organisation décimale qu'à partir du nombre dix-sept et doivent donc apprendre par cœur les noms de nombres jusqu'à seize, puis les dizaines contractées (vingt, trente, quarante...). Il en résulte un apprentissage de la chaîne lent et difficile. (Fayol, 2008).

Dans notre étude : l'acquisition de la chaîne numérique verbale est évaluée par l'épreuve de comptage à rebours du Zareki-R et les épreuves de comptage du Tedi-math. Ainsi, les épreuves issues de ces deux batteries standardisées nous ont permis d'analyser précisément les difficultés rencontrées par les enfants de notre population. Par exemple, en

ajoutant l'épreuve de comptage « compter le plus loin possible » du Tedi-math, nous avons pu dissocier, en cas d'échec à l'épreuve de comptage à rebours du Zareki-R, une difficulté de mémoire de travail que mobilise une telle épreuve (Nairne et Healy, 1983), d'une difficulté de maîtrise de la séquence verbale correspondante. De plus, les épreuves du Tedi-math « compter avec une borne supérieure », « compter avec une borne inférieure » et compter avec une borne inférieure et une borne supérieure » permettent d'étudier à quel niveau se situe la structuration de la chaîne numérique verbal de chaque enfant.

## **1.4 Le calcul**

Dès les premiers mois, les enfants perçoivent l'effet des transformations sur la quantité (ajouts, retraits, partages). Ils ne parviennent pas pour autant à résoudre les opérations (addition, soustraction, multiplication, division). D'abord, « *les enfants doivent découvrir le principe selon lequel la manipulation réglée des symboles équivaut à l'application concrète de transformations* ». (Fayol, 2012)

Pour résoudre des opérations, l'enfant doit prendre en compte plusieurs paramètres. Tout d'abord, chaque opération est utilisée dans un contexte particulier. Par exemple, on utilise l'addition pour ajouter et la soustraction pour retirer. Ensuite, nous avons besoin de connaissances conceptuelles pour choisir l'opération adéquate. Enfin, les stratégies de résolution dépendent des connaissances de faits arithmétiques et des procédures de calcul.

### **1.4.1 Les additions**

Pour résoudre les additions simples, les enfants utilisent cinq stratégies différentes.

A 3 ans, ils savent manipuler des objets pour répondre à des questions telles que « combien font deux et trois gâteaux ? » (Fuson, 1982). Ainsi, l'enfant matérialise chaque nombre à additionner par une collection d'objets, puis dénombre les objets en les pointant manuellement.

A 4 ou 5 ans, les enfants utilisent plus le comptage digital. Chaque nombre du problème est représenté par les doigts, que l'enfant compte en commençant par un.

Vers 5 ans, l'enfant utilise le comptage verbal en subvocalisant une suite de chiffres sans référent extérieur visible.

**Trois stratégies sont observables dans un ordre de maturité croissant** : L'enfant recompte tout en partant de un (stratégie du « tout compter »), l'enfant débute le comptage à partir du premier opérande (stratégie du on), l'enfant compte à partir du plus grand des deux nombres (stratégie du minimum). Cette dernière stratégie est privilégiée à partir du CP (Groen

et Parkman 1972) puis en CE1. Elle fait appel à la commutativité avant même que celle-ci ne soit enseignée explicitement.

Vers 5 ou 6 ans, les enfants récupèrent directement en mémoire à long terme le résultat (Carpenter et Moser, 1983; Siegler, 1987) et décomposent les calculs non mémorisés. Ainsi, pour résoudre un problème tel que  $9+4$ , l'enfant peut scinder le problème en deux plus simples :  $9+4 = (10+4)-1$  (Fayol, 2012).

En résumé, les enfants de 5 ans disposent de plusieurs stratégies qu'ils mettent en place en fonction de la complexité de l'opération et du contexte. Le choix d'une stratégie varie selon que la situation exige d'être rapide ou précis. Par ailleurs, l'utilisation de ces stratégies dépend également de variables de « personnalité ». En effet, on remarque que les « bons » en mathématiques procèdent davantage par récupération du résultat en mémoire à long terme, tandis que les « perfectionnistes » recourent plus au comptage mental ou digital pour vérifier le résultat, ceci au prix d'une rapidité moindre. (Noel M-P, 2005).

Vers 7 ans, les enfants sont plus rapides pour résoudre des problèmes additifs. D'une part, ils réalisent les stratégies plus rapidement, du fait sans-doute d'une automatisation des processus (Barrouillet & Fayol, 1998, Lemaire et al, 1994, Logan & Klapp, 1991).

D'autre part, ils utilisent des stratégies plus efficaces en termes de vitesse. Plus les enfants résolvent des problèmes additifs, plus leurs performances s'automatisent pour atteindre leur paroxysme vers 10 ans.

#### *1.4.2 Les soustractions*

L'évolution des stratégies de la soustraction est proche de celle décrite pour l'addition : Au départ, l'enfant soustrait en manipulant des collections d'objets puis il utilise ses doigts. On retrouve plusieurs stratégies : retrait du plus petit des deux nombres et comptage de ce qui reste, comptage de l'écart entre les deux nombres par une addition. Ensuite, se mettent en place les stratégies de comptage verbales, suivant la situation, l'enfant va décrémenter ( $7-5=6, 5, 4, 3, 2$  : réponse=2). En principe à partir de 9 ans, les enfants choisissent l'une ou l'autre des méthodes en faisant en sorte de compter un nombre minimum de pas. (Fayol, 2012). Comme pour l'addition, certains résultats de soustraction sont récupérés directement en mémoire à long terme (Geary, Frensch et Wiley, 1993), en général les plus petites ( $3-2, 5-3$ ). Cependant, d'après les données empiriques ces récupérations directes en mémoire sont rares pour les soustractions, peut-être parce qu'on les utilise moins que les additions. La résolution des soustractions est considérée comme restant procédurale (Fayol, 2012). Le plus souvent,

l'enfant comme l'adulte recourt à la récupération de l'addition correspondante en s'appuyant sur la réversibilité opératoire ( $20-12=12+8$ ).

### 1.4.3 Les multiplications

L'acquisition des multiplications est plus tardive. Au départ, l'enfant procède par additions répétées ( $5 \times 6 = 5+5+5+5+5$ ) et par suite de multiples (5, 10, 15, 20, 25, 30). Puis l'apprentissage se fait par la mémorisation directe des tables. Comme pour l'addition, les petits produits et les doubles sont acquis plus rapidement que les autres. Certaines tables comme celles de 5 ou 2 sont plus faciles à mémoriser que d'autres. Ensuite, la variabilité des performances peut s'expliquer par l'effet de taille : plus les produits sont grands plus il y a d'erreurs de calcul. Cependant, David Graham (1987) nuance l'influence de ce paramètre en remarquant le fait que les tables impliquant de grands produits sont aussi enseignées en dernier et seraient donc plus sujettes aux interférences que les tables impliquant des plus petits nombres. Enfin, bien souvent les résultats donnés correspondent à un résultat de la table en question. En effet, au calcul  $3 \times 9$  les sujets peuvent répondre 18 ou 36 qui sont des résultats de la table de 9, ce qui suggère que les faits multiplicatifs sont organisés dans un réseau en mémoire à long terme et non pas calculés. Cette organisation en réseau est aussi mise en évidence à travers un suivi longitudinal d'élèves du CE2 au CM1. Cette étude a révélé que ceux-ci commettent plus d'erreurs et ont besoin de plus de temps pour résoudre les additions au moment où progresse l'apprentissage des multiplications pour revenir ensuite au niveau initial. Les faits arithmétiques associés aux additions et aux multiplications seraient stockés en mémoire dans un réseau commun et donc sensibles aux interférences (Fayol, 2012). Ces interférences demeurent chez les adultes, même avec la pratique, mais sont plus facilement inhibées.

### 1.4.4 Les divisions

Les divisions sont enseignées tardivement et moins bien réussies que les autres. Plusieurs stratégies de résolution ont été relevées : les enfants de CM1 procèdent par additions itérées lentes et coûteuses en attention. Le plus souvent, elles sont résolues en passant par la multiplication correspondante.

La récupération directe reste rare.

Dans notre étude : le calcul mental est évalué par les épreuves de calcul mental du Zareki-R et du Tedi math et permet par là même d'étudier les diverses stratégies utilisées. En effet, les additions les plus simples dans le test du Zareki-R permettent d'évaluer la

récupération des faits numériques en mémoire tandis que les moins simples permettent d'observer les procédures de comptage ou de décomposition. Ensuite, les multiplications principalement récupérées en mémoire (Lépine, Roussel et Fayol, 2003) permettent d'évaluer les connaissances déclaratives. Notons que la mémorisation des tables est restreinte à ce niveau scolaire, celle-ci se mettrait en place au CE2 (Fayol, 2012). Enfin, les soustractions permettent d'évaluer l'utilisation des connaissances procédurales telles que le comptage à rebours ou la récupération de l'addition correspondante, autrement dit la réversibilité opératoire.

## **1.5 Les transcodages**

Les transcodages sont des tâches impliquant le passage d'un code numérique à sa forme correspondante dans un autre code, cela renvoie aux tâches de lecture et de dictée de nombres. Les transcodages sont possibles dans n'importe quel autre code interne à partir du code d'entrée.

Si la complexité des activités cognitives que nécessite une tâche de transcodage échappe à l'adulte qui lit ou écrit régulièrement des nombres dans différentes situations (numéros de téléphone, adresse, prix), l'acquisition du système arabe est loin d'être simple.

En effet, pour écrire un nombre, on ne peut se contenter de transcrire chaque mot de la représentation verbale en nombre arabe correspondant (mille trois cents ne va pas s'écrire 1000300 mais nécessite une analyse des relations entre les mots déduites par leur ordre dans la séquence et par la taille du nombre).

Normalement à 6 ans, les enfants sont capables de lire et écrire des chiffres isolés.

A 7 ans, les structures à deux chiffres ne posent plus de difficulté, les enfants de cet âge savent donc écrire ou lire des particuliers, des nombres des dizaines et des dizaines-unités jusque cent. Les nombres à trois chiffres, eux, sont en voie d'acquisition. (77% de transcodage directe).

A 8 ans, les écoliers, peuvent lire et écrire presque tous les nombres de un à quatre chiffres même s'ils font encore quelques erreurs sur les nombres plus grands. Les processus de transcodage sont donc quasiment en place à partir de cet âge-là (Noël M-P, 2005).

On note que l'acquisition des transcodages est plus aisée dans les cultures ayant des systèmes numériques plus réguliers.

Dans notre étude : les capacités de transcodage ont été évaluées par les épreuves de transcodage du Tedi-math et du Zareki-R. Les deux tests sont complémentaires. En effet, les

transcodages du Tedi-math sont plus adaptés à l'âge et au niveau scolaire des enfants de notre population puisqu'ils comportent davantage d'items comportant des nombres des dizaines et moins de nombres à trois chiffres que dans le test du Zareki-R, ainsi, l'association des épreuves des deux batteries nous a permis de procéder à une meilleure analyse qualitative des résultats des enfants.

## **1.6 Les problèmes**

« Dans la perspective du traitement de l'information (Newelle et Simon 1972) un problème se caractérise par un état initial, un état final et des opérateurs. Le résoudre consiste à passer de l'état initial à l'état final en utilisant les opérateurs. La notion de problème implique aussi que la solution n'est pas immédiatement atteignable ». (Blaye & Lemaire, 2007)

Les problèmes font partie des activités scolaires mettant en jeu les nombres (Bideaud, Meljac et al, 1991).

Nous distinguons 4 catégories de problèmes de types additif ou soustractif :

- **Les structures de type changement** : il s'agit d'une transformation appliquée à un état initial, celle-ci permettant d'aboutir à un état final (exemple : Pierre a 12 billes. Il donne 5 billes à sa copine Anne. Combien de billes a Pierre maintenant ?).(test du Zareki-R)
- **Les structures de type combinaison** : il s'agit d'opérer une réunion entre les éléments de deux collections (exemple : Paul a trois billes dans sa main gauche et 4 billes dans sa main droite. Combien Paul a-t-il de billes en tout ?)
- **Les structures de type comparaison entre les quantités** (exemple : Pierre a 16 billes. Il en a 4 de plus qu'Anne. Combien de billes a Anne ?), (test du Zareki-R).
- **Les structures de type égalisation** : une transformation est opérée sur un des deux termes de l'opération pour atteindre l'autre terme (exemple : Jean a 3 billes, Marie a 8 billes, combien de billes doit gagner Jean pour en avoir autant que Marie?), (Bideaud & Lehalle, 2002).

D'après les résultats de diverses recherches, les problèmes de type changement seraient plus faciles que les autres, que la transformation évoquée soit positive ou négative. A l'inverse, les problèmes de type comparaison seraient de loin les plus difficiles. (Bideaud, Meljac & coll, 1991).

Carpenter (1985) et Moser (1983) ont étudié les procédures utilisées par les enfants pour résoudre certains problèmes additifs. Parmi les plus contrastées, trois faits sont relevés :

- Lors d'un problème avec une addition ou une soustraction, il existe plusieurs procédures :
  - l'enfant réunit physiquement les collections puis les dénombre.
  - l'enfant compte à partir du premier cardinal fourni ou à partir du plus grand des deux.
  - l'enfant compte à rebours à partir de ou jusqu'à.
  - l'enfant met en correspondance.
  - l'enfant récupère directement le résultat en mémoire à long terme.

- On observe que certaines procédures sont corrélées avec certains types de problèmes, par exemple pour le problème « Pierre a 12 billes. Il donne 5 billes à sa copine Anne. », les enfants utilisent souvent la séparation physique alors que dans un problème de type comparaison, l'enfant a plutôt tendance à utiliser la correspondance terme à terme.

- Ces corrélations entre procédures et types de problème s'atténuent au cours des années. En CE2, les 2/3 des réponses faisant appel aux fonctions numériques sont récupérées en mémoire à long terme. (Ashcraft, Battaglia 1978, Ashcraft, Fierman 1982).

Cette étude montre que les plus jeunes enfants utilisent des procédures de résolution en tentant de simuler les actions décrites dans les énoncés. Ainsi, il n'y a pas de recours à des opérations arithmétiques mais plutôt à des schèmes. Ces procédures présentent l'avantage que l'enfant peut trouver des réponses exactes sans passer par une mathématisation des situations. Cependant, les problèmes difficiles à modéliser en actes ne peuvent pas être résolus.

Dans notre étude : les problèmes ont été évalués à l'aide des problèmes arithmétiques du Zareki-R proposés oralement. La batterie comporte six problèmes : trois de type changement dont deux nécessitent la recherche de l'état final et un celle de l'état initial. Trois autres problèmes sont de type comparaison. Ces épreuves font intervenir à la fois l'utilisation de calculs, précisément des additions et soustractions, et mobilisent surtout la compréhension de phrases et la mémoire de travail (voir livret du Zareki-R).



## ***2. Compétences et processus cognitifs sous-jacents***

Luria (1973) considère que l'attention, la mémoire et les fonctions exécutives sont les trois unités indispensables à l'organisation d'une activité mentale. La neuropsychologie, approche à laquelle nous tendons de plus en plus à nous référer, nous enseigne que les processus cognitifs sont une chaîne d'opérations mentales, sous-tendues par plusieurs fonctions telles que la perception, l'attention, la mémoire et le langage, possédant chacune une correspondance anatomophysiologique. Ces processus s'organisent et se complexifient à mesure que les circuits neuronaux mûrissent, avec une vitesse très élevée chez l'enfant, puis qui se stabilise à l'âge adulte (Flessas, 2009).

Le calcul et le traitement des nombres, au vu de leurs implications anatomo-fonctionnelles (Shalev, 2004), sont des processus complexes impliquant les fonctions verbales, non verbales et exécutives. Ainsi, l'atteinte d'une fonction peut retentir sur un ou plusieurs aspects de l'activité numérique.

### **2.1 Les capacités langagières**

Le langage est étroitement lié au traitement du nombre. Il intervient dans de nombreuses compétences arithmétiques, telles que le comptage et le calcul mental. En effet, comme décrit dans le chapitre précédent, l'enfant passe par plusieurs étapes avant d'atteindre une structuration de la chaîne verbale terminale, et la maturité de cette dernière a une importance dans la capacité à calculer mentalement. Par exemple dans la stratégie du min, l'enfant doit être capable de compter « à partir de » pour atteindre le résultat, ce qui sous-entend de savoir segmenter la chaîne. Rappelons aussi l'importance des capacités de comptage à rebours pour la résolution de soustractions. Par ailleurs, les faits arithmétiques, faisant référence à une autre stratégie de calcul consistant en une récupération d'opérations apprises par cœur en mémoire à long terme, sont encodés verbalement (voir le chapitre suivant traitant des processus mnésiques).

Ensuite, le langage permet d'accéder à une représentation exacte de la magnitude du nombre (Noël, 2007). En effet, par le biais de la chaîne verbale, le langage intervient dans le dénombrement où la compréhension du principe de cardinalité permet de quantifier de façon précise une collection. L'association d'un nom de nombre à une quantité permettrait à l'enfant de maintenir une trace de la numérosité en mémoire, et de se construire ainsi une représentation exacte des quantités (Noël, 2007). De plus, certaines propriétés morphologiques de la langue (par exemple les marques du pluriel et du singulier dans « un

lapin versus des lapins ») et certains mots spécifiques (par exemple « tous, quelques... ») contribueraient à l'élaboration de cette représentation (Noël, 2007).

Dans le modèle du Triple Code, Dehaene souligne l'implication du langage dans le traitement numérique en parlant du code verbal et des transcodages. Ainsi, le langage est impliqué dans la lecture et la dictée de nombres. D'autres auteurs tels que Deloche et Seron (1982) l'affirment et considèrent que le passage d'un système de notation à un autre est soutenu par une base verbale.

Enfin, le langage est mobilisé dans la résolution de problèmes. En effet, cette compétence arithmétique fait appel à la compréhension de l'énoncé ainsi qu'aux capacités de calcul mental.

Pour plus de précision, nous renvoyons à l'étude à laquelle notre recherche fait suite (Bitche & Bougon, 2012).

Dans notre étude : de par l'importance des capacités langagières dans le traitement du nombre, nous proposons des épreuves évaluant le lexique et la syntaxe en expression et compréhension. Conformément à ce qui est évoqué plus haut, le langage est impliqué dans les épreuves de comptage du Tedi-math, de comptage à rebours du Zareki-R, ainsi que dans les épreuves de calcul mental, de dénombrement, de transcodages et de problèmes. L'estimation qualitative de quantités en contexte est également concernée car elle consiste à juger une numérosité dans un contexte verbal. Nous observerons d'éventuelles corrélations entre les scores obtenus aux épreuves de langage et arithmétiques.

## **2.2 Les processus mnésiques**

Dans sa définition la plus simple, la mémoire est l'aptitude à conserver des faits sous forme de représentations mentales. En réalité, elle englobe une grande diversité de termes et de concepts. Shallice et Warrington (1970) l'appréhendent sous son aspect temporel de durée, et distinguent la rétention immédiate de la mémoire à court terme (MCT) et de la mémoire à long terme (MLT). D'après ces auteurs, elles n'entretiennent pas une relation linéaire de causalité, mais sont fonctionnellement indépendantes.

### **2.2.1 La mémoire à court terme et la mémoire de travail**

La mémoire à court terme (MCT) stocke brièvement les informations perçues et sa capacité de stockage est limitée. Elle est fréquemment associée à la mémoire de travail (MdT), qui en est une sous-composante. La MdT stocke et manipule simultanément les informations. **Elle permet de constituer une représentation mentale des informations.**

Baddeley (1986) propose de la modéliser un administrateur central et deux sous-systèmes esclaves. L'administrateur central contrôle le flux d'informations entrantes et sortantes en MLT, il coordonne les systèmes esclaves et régule l'attention allouée à la tâche, permettant ainsi de sélectionner l'action la plus efficace. Grâce à l'amélioration du contrôle attentionnel, de la vitesse de traitement et du temps de maintien de la trace en MCT, les performances en MdT augmentent de 5 à 8 ans, sans être encore équivalentes à celles des adultes (Cowan, 2002, Flessas, 2009). De plus, les stratégies de calcul basées sur la récupération des faits arithmétiques en MLT permettent à leur tour de réduire les ressources exploitées par la MdT (Geary, 2005). Plus une tâche est automatisée, plus la MdT peut augmenter le nombre d'informations traitées simultanément, ou attribuer plus d'énergie à un traitement donné (Flessas, 2009). Dans ce cadre, on rappelle l'**impact du nombre de variables sur la mise en œuvre d'une procédure numérique, ainsi que l'importance du degré d'expertise**, en particulier dans les stratégies de comptage, de calcul et la résolution de problèmes. Par exemple, la maîtrise du calcul mental d'additions ou de soustractions ou la récupération de faits arithmétiques en MLT facilite la résolution de problème, où il faut aussi comprendre l'énoncé, retenir les informations essentielles et donner une réponse en adéquation avec la question.

D'après le modèle de Baddeley (1986), les sous-systèmes esclaves sont la boucle phonologique et le calepin visuo-spatial. La boucle phonologique est composée d'un stock phonologique limité à 4-5 éléments pour un enfant de CE1 (Kail, 1990) et de l'autorépétition subvocale. Le rôle de ces sous-composantes est de maintenir activement ou passivement les informations en mémoire, tandis que l'administrateur central gère l'ensemble de la tâche (Noël, 2001, Metz-Lutz et al, 2004). **Chaque sous-système est activé préférentiellement selon le type d'activité numérique.** Leur importance varie selon la complexité et le contenu des tâches arithmétiques (Geary, 2011a). Les sous-systèmes sont tous deux impliqués dans le comptage. La MdT verbale intervient dans le calcul mental, et notamment les additions, les décompositions et les multiplications (Logie et al, 1994). Cela est à mettre en lien avec les faits arithmétiques, comme expliqué dans le chapitre traitant de la MLT. De nombreux auteurs soulignent l'**importance de l'autorépétition subvocale** et de la vitesse articulaire dans la résolution de calculs. La répétition phonologique apparaît à 7 ans (Gathercole, Adams et Hitch, 1994) et son utilisation ainsi que sa rapidité augmentent avec l'âge (Cowan, 2002). L'importance de l'autorépétition apparaît dans les capacités de calcul mental et de résolution de problèmes. Par ailleurs, Fayol (2000) considère que les épreuves non verbales sont mieux

réussies que les verbales, car il s'agit d'allier le système sémantique à un code arbitraire transparent (voir le modèle du Triple Code).

Qu'en est-il de l'**impact de la nature de l'information présentée sur les activités numériques et de son encodage** ? L'encodage d'une opération semble reposer essentiellement sur la boucle phonologique quel que soit le type de présentation (Noël, 2001). Le calepin visuo-spatial ne serait impliqué que dans la résolution d'opérations présentées visuellement (Logie, 1994). Le format d'encodage varie selon l'âge. En effet, certaines petites opérations sont acquises avant le CP verbalement et implicitement. Ensuite, au CP-CE1 les calculs présentés visuellement seraient encodés en un format visuel passif. Puis à 8 ans apparaîtrait un recodage phonologique des informations et une moindre sensibilité aux distracteurs visuels (Hitch & Palmer, 2000, Pickering, 2004).

Dans notre étude : nous proposons une épreuve de répétition de chiffres issue du Zareki-R, composée d'un empan endroit et d'un empan envers, évaluant respectivement la MCT et la MdT verbales. Par ailleurs, la MdT verbale peut être observée de façon qualitative lors de l'épreuve de compréhension syntaxique. Concernant les compétences arithmétiques, la MdT verbale intervient lors des épreuves de comptage à rebours, de calcul mental, de comparaison de nombres à l'oral et de problèmes. L'épreuve des Cubes de Corsi évalue quant à elle la MCT et la MdT visuo-spatiales, avec respectivement un empan endroit et envers. La MdT visuo-spatiale est observable qualitativement lors de l'épreuve de la reproduction de la figure de Rey, et concernant les compétences arithmétiques lors de l'épreuve de dénombrement.

### 2.2.2 *La mémoire à long terme*

Tulving (1972, 1983) propose deux façons de concevoir la MLT. Tout d'abord, il la décompose en **trois systèmes : l'encodage, la consolidation et la récupération**. L'encodage est un processus qui transforme les informations perçues en traces mnésiques à partir de certaines de leurs caractéristiques. La consolidation consiste à maintenir les traces en MCT et à les faire passer en MLT. La récupération est le passage de l'information de la MLT vers la MCT. La stimulation et la qualité du fonctionnement de chaque système entretiennent celles des autres systèmes. Par exemple, une information encodée correctement et fréquemment récupérée améliore son stockage. Ces données sont essentielles pour l'efficacité et le renforcement des apprentissages.

Ensuite, Tulving décrit **trois types de mémoire : épisodique, procédurale et sémantique**. L'épisodique est subjective et contextuelle. Elle correspond à la rétention des

événements personnels de l'individu. L'association d'un concept, par exemple une règle algébrique, à une expérience personnelle peut améliorer son acquisition. Cela est montré par l'importance des manipulations dans divers contextes pour l'apprentissage des nombres. La mémoire procédurale est sollicitée dans les activités nécessitant des habiletés perceptivo-motrices et cognitives pour réaliser un acte complexe. La mémoire sémantique contient des connaissances acquises langagières. Elles sont plus abstraites que celles contenues dans les mémoires évoquées précédemment. Pesenti (2000) précise que la mémoire sémantique contient des informations telles que la date de naissance ou des faits arithmétiques. D'après Gathercole (1998), les capacités d'utilisation de la mémoire sémantique apparaissent précocement. En effet, l'accès à la symbolisation et au langage à partir de 2 ans permettent l'émergence de cette mémoire. Par ailleurs, les mémoires procédurale et épisodique sont présentes dès la première année de vie (Flessas, 2009).

Concernant le traitement numérique, la mémoire procédurale sous-tend le calcul mental complexe. La mémoire sémantique déclarative correspond à la récupération des faits additifs et multiplicatifs, et est impliquée dans les règles algébriques. Les connaissances conceptuelles correspondent à la compréhension des principes arithmétiques. D'après Delazer (2000), elles sont apprises par cœur, par exemple dans les multiplications par 0 et 1. Ces connaissances interviennent dans les stratégies compensatoires ou de soutien.

De nombreux auteurs se sont penchés sur la constitution du stock de **faits arithmétiques** et son utilisation. Un fait arithmétique est l'association d'un problème et de sa réponse en MLT, activés simultanément en MdT (Geary, 2005). Il est utilisé pour les opérations dont la solution ne requiert pas de stratégie computationnelle. Il s'agit généralement des tables de multiplication de 2X2 à 9X9 (Delazer, 2000), ainsi que des doubles et compléments à 10 pour les additions. Les faits arithmétiques sont encodés verbalement. Quand les items de la tâche sont présentés sous forme de chiffres ou de matériel non symbolique, leur évocation nécessite un transcodage des opérands du code arabe ou analogique vers le verbal (Dehaene, 2000). Leur stockage en mémoire sémantique les rend indépendants de la modalité sensorielle d'entrée ou de sortie, cependant il peut exister une modalité préférentielle (Delazer, 2000). En effet, Fayol (2000) considère que la nature des opérands influence l'encodage des faits arithmétiques. La taille des opérands (Fayol, 2000), la forme du mot nombre, la vitesse de prononciation et les capacités d'empan en MdT (Ellis, 1992) entrent aussi en jeu. Lors de leur évocation, des interférences sont susceptibles d'apparaître. Elles sont matérialisées par des confusions associatives et une augmentation du temps de réaction. Elles correspondent à la proximité phonologique et visuelle des éléments.

Elles sont particulièrement visibles en période d'apprentissage, et lorsque les résultats correspondent à plusieurs opérandes. Les interférences peuvent aussi être liées au contexte de réalisation (résolution d'opérations similaires dans une même période brève, soit « effet d'amorçage » de Delazer, 2000), ainsi qu'à la rétention automatique plutôt qu'intentionnelle des faits, ce qui altère leur mise en mémoire (Flessas, 2009). Les interférences sont encore observables chez l'adulte, mais il possède alors de meilleures capacités d'inhibition des réponses incorrectes (Fayol, 2000). La récupération des faits arithmétiques varie en fonction de l'âge, du niveau socioculturel et de leur pratique au quotidien (Delazer, 2000).

Dans notre étude : nous proposons l'épreuve de reproduction de la figure de Rey, en copie et de mémoire, évaluant entre autres les composantes mnésiques évoquées ci-dessus. Concernant le traitement du nombre, le stockage et la récupération de faits arithmétiques, ainsi que la connaissance des règles algébriques et des procédures sont observés lors de des épreuves de calcul mental du Tedi-math et du Zareki-R. Les capacités mnésiques interviennent également lors de l'épreuve d'estimation qualitative de quantités en contexte, qui nécessite des connaissances du monde.

### **2.3 Les fonctions attentionnelles et exécutives**

**L'importance des fonctions attentionnelles réside en ce qu'elles sous-tendent tout autre processus cognitif, dont les fonctions exécutives** (Allport, 1989). Quant à ces dernières, elles orchestrent les autres processus cognitifs, permettant de mener à bien une activité non routinière. Ces deux aptitudes sont indispensables à tout apprentissage et sont étroitement liées.

Van Zomeren et Brouwer (1994) définissent les capacités attentionnelles sous deux aspects d'intensité et de sélectivité, dont le niveau d'activation est régulé par le « système attentionnel contrôle ». L'intensité se compose de différents degrés : l'alerte phasique, la vigilance et l'attention soutenue. La sélectivité consiste à situer le focus attentionnel sur une cible ou à le déplacer sur plusieurs simultanément, tout en inhibant les éléments non cible. Cela correspond respectivement à l'attention focale et divisée. L'attention divisée fait écho aux notions de MdT, d'inhibition et de flexibilité. D'après Flessas (2009), les ressources attentionnelles sont d'autant plus fractionnables que l'une des tâches est déjà connue ou maîtrisée. La réalisation simultanée de plusieurs tâches est facilitée par un niveau significatif d'automatisation d'au moins une d'entre elles, et par le fait qu'elles ne présentent pas la même modalité d'entrée ou de sortie. D'une façon générale, la mobilisation attentionnelle

dépend de la nature, de la complexité de la tâche et des modalités sensorielles de la tâche, de l'efficacité intellectuelle et de la motivation de l'individu. Les capacités de contrôle attentionnel et de flexibilité augmentent entre 5 et 8 ans. Les stratégies d'exploration visuelle apparaissent à 6-7 ans. Les capacités d'attention soutenue pour repérer des cibles s'améliorent nettement jusqu'à 8-10ans. Cependant, l'enfant tout-venant se trouve en difficulté pour partager de façon adéquate ses ressources. Cela se répercute sur la qualité des performances, soit la vitesse d'exécution et/ou le respect de la consigne, et peut entraîner une perte d'informations. Flessas considère qu'**être attentif suppose d'interpréter correctement ce qu'on perçoit et de mettre en œuvre des stratégies pour capter les informations pertinentes. Elle désigne le contrôle attentionnel comme un processus d'autorégulation.**

Luria (1978) décrit les fonctions exécutives en quatre opérations fondamentales, à savoir la formulation d'un but, la planification des étapes, le contrôle des tâches en cours d'exécution, et la vérification finale. Shallice (1982) ajoute qu'il existe des marqueurs cognitifs et comportementaux, déclenchés, modifiés ou inhibés en fonction de l'aspect plus ou moins routinier de l'action. Ils seraient gérés par un système superviseur attentionnel, intervenant plus précisément dans la prise de décision, la correction d'erreur, l'inhibition d'un schéma inadapté, en cas d'absence de schémas d'action préétablis et de multitâches. Concernant le niveau d'automatisation, Siéroff (1994) propose une description du traitement intentionnel versus automatique. Le premier fait référence à une gestion contrôlée d'informations inhabituelles, offrant un choix de réponses mais requérant un effort mental avec des capacités limitées, lentes et séquentielles. Le deuxième utilise des stratégies sur-apprises, il est autonome, rapide, simultané et avec peu voire sans charge mentale, mais obligatoire.

Apprendre nécessite un travail volontaire et donc coûteux (Mazaux, 2005). Du comptage aux problèmes, en passant par le calcul mental et les procédures de pose d'opérations à l'écrit, **l'arithmétique met presque toujours l'enfant en situation de multitâches**. Ces activités s'automatisent progressivement, ce qui l'amène à améliorer ses performances et à accéder à des processus et concepts plus complexes ou plus matures. Pour illustrer cela, on renvoie au premier chapitre décrivant ces activités, leur développement et les stratégies impliquées. En plus des connaissances mathématiques et des métaconnaissances requises, Dehaene et Delazer (2000) soulignent l'importance des capacités de planification, de contrôle et d'attention dans la mise en place de ces stratégies.

Dans notre étude : nous proposons l'épreuve d'attention auditive et réponses associées de la NEPSY, évaluant les aptitudes attentionnelles en modalité auditive. L'épreuve de

reproduction de la figure de Rey permet quant à elle d'observer les capacités d'organisation et de planification, soit les fonctions exécutives. Les fonctions attentionnelles et exécutives sont transversales aux autres processus cognitifs. Aussi, selon le degré de difficulté et d'automatisation d'une tâche, ces fonctions sont observables dans la plupart des épreuves. Concernant les habiletés arithmétiques, elles sont mises en jeu plus particulièrement lors des épreuves nécessitant la mise en œuvre de stratégies, à savoir le calcul mental ou la résolution de problèmes, et lorsqu'il faut retenir et traiter simultanément des informations (voir le sous-chapitre sur la mémoire de travail).

## **2.4 Les capacités perceptives**

### *2.4.1 Les capacités visuo-spatiales*

La sensibilité des enfants de moins de 7-8 ans aux leures perceptifs et la nécessité de les inhiber nous rappellent qu'il faut posséder des capacités perceptives, mais aussi savoir les utiliser à bon escient en lien avec les autres fonctions cognitives. En effet, le raisonnement perceptif ne domine pas systématiquement. Par exemple dans l'épreuve de conservation de Piaget (1972), l'enfant doit dissocier la dispersion spatiale des objets de l'accroissement de la quantité. Cependant, **les compétences visuo-spatiales prédisent les habiletés en mathématiques**, et demeurent essentielles au traitement des nombres et du calcul. Flessas (2009) évoque la nécessité d'une intégrité des fonctions visuo-spatiales dans le dénombrement chez l'enfant. On observe également que l'enfant dénombre mieux les items disposés de façon linéaire qu'aléatoire (Flessas, 2009). Cela est à relier avec la représentation linéaire interne des codes symboliques. D'autre part, les fonctions visuo-spatiales sont également sollicitées dans la lecture et l'écriture des nombres, le système notation positionnel du code arabe et les problèmes. Les transcodages requièrent « une double orientation du regard » : le système arabe est codé de droite à gauche et inversement pour le verbal. Quant à la résolution d'un problème, elle nécessite de repérer les informations pertinentes, de schématiser les données et de naviguer entre l'énoncé, les calculs intermédiaires et l'inscription de la réponse. Plus précisément, les aptitudes mobilisées sont l'exploration visuelle, l'ajustement du geste à ce qui est visuellement perçu dans l'espace, l'orientation des symboles opératoires et l'organisation topologique.

Dans notre étude : nous proposons des épreuves de raisonnement visuo-spatial et de praxies constructives. La reproduction de la figure de Rey et l'épreuve des Cubes de Corsi sollicitent également les habiletés visuo-spatiales. Concernant les compétences numériques,



sont concernées les épreuves de dénombrement, d'estimation visuelle de quantités, de positionnement de nombres sur une échelle, de transcodages, de comparaison de nombres écrits.

#### *2.4.2 Les capacités perceptivo-tactiles et visuelles*

Barrouillet, Fayol et Marinthe (1999) ont étudié l'importance des capacités perceptives tactiles et visuelles précoces dans l'apprentissage du calcul. Ils ont conclu que **les habiletés tactilo-visuelles prédisent les compétences numériques**. De plus, on constate que les compétences numériques, visuelles et tactiles sont sous-tendues par des aires cérébrales proches voire partagées (gyrus angulaire du lobe pariétal, soit l'aire 39 de Brodmann). **Ces compétences perceptivo-tactiles permettent la coordination de l'œil et de la main, soit l'organisation du balayage manuel par la vision.**

Dans notre étude : nous proposons des épreuves de praxies constructives et gestuelles, faisant intervenir les capacités de coordination de la vision et des gestes. Ces aptitudes sont également impliquées dans l'épreuve des Cubes de Corsi. L'aspect perceptivo-tactile est évoqué en rapport avec l'épreuve de gnosies digitales proposée au CP, dont nous souhaiterions exploiter les résultats lors de l'étude des facteurs d'évolution des enfants en mathématiques. Concernant les compétences arithmétiques, ce sous-chapitre est à mettre en lien avec l'épreuve de dénombrement.

### *3. Les difficultés d'acquisition des compétences numériques*

Dans ce chapitre, nous tenterons de décrire les difficultés rencontrées par les élèves dans les acquisitions numériques conventionnelles et leurs évolutions dans le temps. Ainsi, nous tenterons de rendre compte de la diversité des compétences qu'elles nécessitent afin de réfléchir à des types de remédiation les plus ciblées possibles. Un entraînement ciblé pourrait ainsi aider à différencier les enfants dyscalculiques des enfants avec de simples difficultés d'apprentissage des mathématiques. En effet, Fischer souligne dans une étude de Kaufmann et al qui a proposé un programme de remédiation sur la base d'un entraînement sur des activités numériques telles que la numération, la récupération des faits arithmétiques et les principes arithmétiques, que les progrès observés chez les dyscalculiques sont très faibles en comparaison de ceux observés chez des enfants plus jeunes sans dyscalculie. Ainsi, il n'y a pas de progrès spécifiques dans le groupe d'enfants dyscalculiques.

### **3.1 La chaîne numérique verbale**

En France, la connaissance des nombres est un des objectifs prioritaires du CE1.

Les élèves apprennent la numération décimale inférieure à 1 000 à travers le dénombrement de collections, l'apprentissage de la suite des nombres, la comparaison et le rangement de nombres.

La dénomination des nombres de la chaîne numérique verbale dans les langues occidentales présentent des particularités qui la rendent difficile à acquérir et peuvent entraîner des erreurs de séquence. D'une part, la structure décimale n'apparaît pas clairement dans les mots nombres contrairement aux chaînes numériques dans les langues asiatiques (Miura, Okamoto, Kim, Steere et Fayol 1993, Yoshida et Kuriyama 1991). Par exemple, dans les langues européennes, on emploie le mot particulier douze qui s'énonce dix-deux dans les langues Asiatiques. Par conséquent, l'apprentissage de la chaîne est plus lent, l'enfant rencontre des difficultés à voir que la structure sous-jacente des mots nombres est composée de X dizaines et de Y unités (Bideaud, Meljac et al, 1991) et à savoir comment se nomme la dizaine qui suit (Fischer 1992 et Meljac 1979).

D'autre part, la chaîne présente des irrégularités jusqu'à cent comme les suites soixante-dix, quatre-vingts et quatre-vingt-dix. Il en résulte que les premières expériences des enfants en arithmétique sont complexes et nécessitent une acquisition laborieuse.

Ensuite, le français comme la plupart des langues européennes présente des exemples de changements phonétiques comme quatre qui devient quator dans « quatorze » et quar dans « quarante ». (Bideaud, Meljac et al, 1991). Ces changements phonétiques rendent la compréhension et l'utilisation des structures sous-jacentes de dizaines et d'unités plus difficiles pour les enfants concernés.

Enfin, par contraste avec le chinois où la prononciation des noms de nombre est rapide, la prononciation des grands nombres en français, comportent plus de syllabes et donc demande plus de temps pour être énoncés. Par conséquent, la charge en mémoire est plus importante donc les possibilités de maintien en mémoire et en calcul sont limitées.

En conclusion, l'apprentissage de la chaîne continue de se construire longtemps après que l'enfant a énoncé ses premiers noms de nombres. (Camos, 1999). La maîtrise de l'énonciation de la chaîne numérique verbale nécessite donc des exercices répétés de la partie automatique de la séquence numérique. Notons que l'enseignement devrait, pour la plupart des activités numériques, être réalisé dans des contextes d'activités ludiques afin qu'elles soient considérées par les enfants comme des supports naturels de l'apprentissage. Il existe par

exemple des façons ludiques de se familiariser avec la suite des nombres comme des histoires, des poèmes (Baroody et Hank 1990) ou des jeux nécessitant le dénombrement d'objets qui peuvent constituer un support motivant et faciliter la pratique du comptage oral. De plus, l'enseignement devrait aider les enfants à discerner certains patterns en soulignant par exemple que neuf finit toujours les séries et que ces dernières sont formées de la dizaine combinée avec la suite de un à neuf.

### **3.2 Le dénombrement**

Rappelons que le comptage d'objets implique deux activités simultanées : le dénombrement et le pointage. L'enfant dénombre lorsqu'il étiquète numériquement une collection d'objets, l'objectif final étant de pouvoir donner le cardinal de la collection.

Trois types d'erreurs sont classiquement décrites au cours d'activités de dénombrement :

- Des erreurs de suites en comptant les objets quand l'enfant ne maîtrise pas encore suffisamment la suite des nombres.

- Des erreurs de coordination du pointage qui peut s'effectuer avec le regard ou l'aide d'un doigt et du comptage. L'enfant qui n'a pas acquis le principe de bijection n'établira pas de correspondance entre l'objet et l'étiquette verbale du mot-nombre. Cependant, ce principe est généralement intégré bien avant l'entrée au cours préparatoire même si des erreurs de correspondance demeurent. Un enfant peut par exemple montrer un objet en lui attribuant plusieurs étiquettes numériques ou aucune. On observe que les enfants en début d'apprentissage du dénombrement et ceux qui ont du mal dans la maîtrise de cet exercice vont rencontrer des difficultés dans le démarrage et l'arrêt du comptage, en coordination avec le pointage. (Baroody 1986, Gelman et Gallistel, 1978). Ainsi, l'enfant va pointer le premier objet sans rien dire puis appliquer ensuite le principe de bijection. D'autres, de la même façon, vont dénombrer une collection de cinq objets tout en continuant après le dernier objet à énoncer la suite.

- Certains enfants maîtrisant le principe de bijection peuvent commettre des erreurs de marquage (keeping track errors). Ainsi, l'enfant ne fera pas la distinction entre les objets déjà comptés et ceux à compter, il oubliera un objet ou le comptera plusieurs fois, ces erreurs de dénombrement se rencontrent fréquemment en début de scolarité du fait de stratégies inefficaces pour mettre de côté les objets déjà comptés (Fuson, 1988) ou à cause d'une procédure trop hâtive. Par ailleurs, les difficultés de dénombrement dépendent de la

disposition (une disposition d'objets en ligne suppose un simple déplacement linéaire de pointage tandis qu'une disposition aléatoire nécessite la planification d'un trajet) et de la taille de la collection. La nature d'un entraînement pour le dénombrement devra donc être spécifique au type de difficultés de l'enfant. (Bideaud, Meljac & coll., 1991).

### **3.3 Les faits arithmétiques**

Le calcul est un autre objectif prioritaire des apprentissages au CE1. Les élèves doivent mémoriser et utiliser les tables d'addition et de multiplication (par 2, 3, 4 et 5), ils apprennent les techniques opératoires de celles-ci et la façon de résoudre des problèmes faisant intervenir ces opérations.

Dans une étude, des chercheurs ont tenté de comparer les capacités de résolution de combinaisons arithmétiques chez des enfants tout-venant, des enfants avec un simple retard et des enfants avec des troubles d'apprentissage en mathématiques (MLD : Mathematic Learning Disabilities). On constate que les enfants MLD recourent moins à la récupération des faits arithmétiques en mémoire à long terme non pas parce qu'ils ne peuvent pas mémoriser les faits arithmétiques mais il a été relevé chez ces enfants :

- Un déficit des représentations phonologiques en mémoire à long terme. Toutefois cette considération est à prendre avec précaution puisqu'elle provient d'études faites chez des adultes.

- Un déficit de la capacité à inhiber des intrusions provenant de la mémoire de travail pendant le processus de récupération. Ces intrusions, présentes aussi chez le tout-venant du fait d'un réseau d'associations entre paires d'opérandes, correspondent souvent à des résultats de la table en question. Chez les enfants MLD et chez certains enfants avec simple retard elles persistent au fil des années. Elles concernent surtout les tables d'addition en primaire et les tables de multiplication au collège.

- Un déficit du système de représentation approximative des nombres et des capacités d'estimation. Des études longitudinales seraient nécessaires pour déterminer s'il existe une véritable relation entre déficit du traitement numérique à l'âge préscolaire et des difficultés de récupération des faits arithmétiques en primaire. (Geary, 2011).

Plus généralement, il apparaît que les enfants MLD et avec un retard aient les mêmes types de résolution de problèmes et d'approches que leurs pairs. Néanmoins, des différences notables ont été observées :

- Un retard dans le développement des compétences procédurales

- Des difficultés à se souvenir des faits arithmétiques de base.
- Une erreur commune chez les enfants avec MLD consiste à compter en utilisant la procédure du minimum (voir 1<sup>ère</sup> partie) par exemple pour compter 5+3 sans considérer le 5 comme le cardinal et dire « 5, 6, 7 ».

Lorsque ces enfants ne commettent pas d'erreurs, ils ont tendance à utiliser des procédures immatures comme le comptage sur les doigts pour s'aider à garder une trace du comptage.

Or, des découvertes ont montré que la récupération de faits arithmétiques contribue au développement des connaissances procédurales et conceptuelles (règle de commutativité, loi associative) lesquelles ne peuvent pas être mises en évidence lors du comptage sur les doigts

(Geary, 1993, 2003, Geary et al 2000). Enfin, des études menées dans des pays comme Hong Kong, où l'accent est mis sur les faits arithmétiques de bases et où l'on a observé des enfants avec les mêmes difficultés de procédures et de récupération constitue une preuve que la difficulté de ces enfants n'est pas due uniquement à un manque de pratique.

### **3.4 La résolution de problèmes**

Il s'agit d'une activité fréquemment proposée aux élèves. Au CE1, la résolution de problèmes fait l'objet d'un apprentissage progressif et contribue à construire le sens des opérations.

Or, cette activité soulève de nombreuses difficultés expliquées par des facteurs d'ordre sémantique et linguistique autrement dit la compréhension et l'interprétation des énoncés.

En effet, les recherches concernant la résolution de problèmes additifs ou soustractifs mettent en évidence que les difficultés rencontrées par les élèves lors de la résolution de problèmes ne dépendent pas uniquement des opérations à effectuer (Bideaud, Meljac et al, 1991).

Des expériences menées auprès d'enfants de 6 à 10 ans mettent en évidence que :

- Les problèmes de type changement sont plus faciles que les autres.
- Les problèmes de type comparaison se révèlent de loin être les plus difficiles.
- L'un des facteurs de difficultés des plus importants est la nature de l'inconnue.
- Le taux de réussite baisse respectivement lorsque les enfants doivent calculer l'état final, la transformation ou l'état initial.

Les recherches montrent aussi que les dimensions sémantiques et conceptuelles ne suffisent pas non-plus à elles-seules à expliquer les performances. D'autres facteurs sont donc à considérer comme la formulation des énoncés (Kilpatrick 1987). Deux aspects ont été retenus. D'une part, il a été mis en évidence que les termes ou expressions relationnels provoquent chez tous les enfants, notamment chez les plus jeunes, de grandes difficultés. Par exemple, Donaldson en 1978 soulignait les problèmes d'interprétation associés aux expressions « plus de (que) ou moins de (que) ». Depuis, Hudson (1983) a mis en évidence qu'en reformulant un problème d'inclusion par l'usage de termes simplifiant la représentation mentale, on pouvait observer une amélioration significative des performances. Ensuite, Dellarosa-Cummins, Kintsch, Reusser et Weimer (1988) ont pointé des difficultés dans l'interprétation de certains termes relationnels. Par exemple « Jean a 4 billes, Marie a 3 billes de plus » va être compris Jean a 4 billes et Marie en a 3. Apparemment mineur, l'impact de la compréhension des items semble donc fondamental. (Bideaud, Meljac et al., 1991)

D'autre part, l'impact de l'ordre d'introduction des informations a été souligné : Rosenthal et Resnick (1974) ont proposé des problèmes à résoudre à des enfants de 8-9 ans dont l'ordre des énoncés proposant des transformations variait.

Ceux-ci ont montré que les performances étaient meilleures lorsque l'ordre de présentation correspondait à l'ordre chronologique des événements. Dans ces expériences, le calcul de l'état initial se révèle plus facile lorsque la transformation est une perte plutôt qu'un gain.

Aussi, Fayol, Abdi et Gombert (1987) ont proposé des problèmes à résoudre à des enfants de 6 à 10 ans dont l'état initial ou l'état final était inconnu. Pour ce faire, ils ont varié la place de la question. Leurs résultats ont alors montré que, quel que soit l'âge ou le type de problème, les enfants avaient des performances meilleures lorsque la question était placée en tête de l'énoncé. Cette amélioration semble d'autant plus observée lorsqu'il s'agit des problèmes les plus complexes. Cependant, Cette idée est controversée par Coquin Viennot (2001) qui rapporte que la facilitation à résoudre un problème lorsque la question est placée en tête dépendrait du type de question. (Bideaud, Lehalle et al., 2004).

La difficulté des élèves à résoudre des problèmes arithmétiques semble donc dépendre du type de problème (transformation, comparaison, combinaison), de la nature de l'inconnue, de la formulation des énoncés et de l'ordre d'introduction des informations qui, lorsqu'il respecte l'ordre du déroulement des événements facilite le maintien et l'intégration des informations en mémoire. Aussi, la question placée en tête d'énoncé peut alléger le stockage

et le traitement des données et ainsi faciliter la résolution du problème (Fayol, Abdi, Gombert 1987).

### **3.5 Les transcodages**

La connaissance, la compréhension des nombres et de leur écriture chiffrée (numération décimale) est un autre objectif prioritaire des apprentissages au CE1. L'enfant de cours primaire est amené à lire et écrire des nombres qu'il connaît mais nous ne savons pas grand-chose sur les mécanismes de transcodage qu'il utilise ainsi que sur les difficultés liées à leur acquisition. (Menissier, 2002).

Différents types d'erreurs ont été observés dans les activités de transcodages des enfants :

- Les erreurs lexicales : le nombre de chiffres est respecté mais l'enfant remplace un ou plusieurs chiffres par un autre. (par exemple 53 par 63).
- Les erreurs syntaxiques : le nombre de chiffres de l'item n'est pas respecté:
  - Certains chiffres manquent 837 pour 8537
  - Des zéros sont ajoutés : 60025 pour « six-cent vingt-cinq ».
  - Combinaison des deux erreurs précédentes : 30408 pour « trois mille quatre cent vingt-huit ».
  - L'enfant surajoute un 1 en position de cent ou de mille : 41623 pour « quatre mille six cent vingt-trois ».
  - L'enfant lexicalise les dizaines complexes : 6015 (ou 615) pour « soixante-quinze ».
- Les erreurs mixtes où se combinent erreurs lexicales et erreurs syntaxiques : 615 pour « soixante-seize ».
- Les erreurs de type « similitude phonologique » : 13 pour « seize » ou 440 pour « quatre cent quatre ».
- Les erreurs aberrantes.

Les recherches portant sur la capacité de passage d'un code à un autre sont rares. Pourtant, l'enfant est confronté à une particularité du système des nombres : le double système de notation écrit des quantités : le système alphabétique et le système des chiffres. La maîtrise de ce double codage sera nécessaire pour la lecture et l'écriture des nombres. De

plus, la maîtrise du code arabe fera partie des conditions pour accéder aux algorithmes du calcul écrit (Resnick, 1983).

Lors d'un travail « exploratoire », puisque ce fut le premier spécifique consacré à ce problème, Deloche et Seron en 1982 ont étudié comment des enfants de deuxième et troisième année primaire passent du code verbal au code arabe. Leur étude portait sur 60 écoliers belges francophones, la moitié en grade 1, l'autre en grade 2. Aucun de ces enfants ne présentait de difficulté spécifique d'apprentissage du calcul.

Des épreuves de lecture et dictée leur ont été administrées trois fois dans l'année. Dans l'article, seule, la dictée des nombres a été étudiée. Des résultats globaux, **il ressort que dès le milieu de la deuxième primaire, les erreurs lexicales sont rares et diminuent au cours de l'année.** L'analyse qualitative d'erreurs commises sur quatre-vingts et mille ont attiré l'attention. Les erreurs sur quatre-vingts montrent un traitement non-intégré ou partiel de cette dizaine complexe. Les réponses les plus fréquentes sont les formes « 420 » ou « 820 », plus rarement les formes « 4020 » ou des traitements partiels comme « 20 » ou des non-réponses.

Les erreurs sur mille sont aussi intéressantes puisqu'en deuxième primaire la transcription de mille n'a pas encore été apprise à l'école. Pour autant, elle ne pose pas de difficultés particulières pour la majorité des élèves. Lorsqu'il y a des erreurs, elles consistent à produire un zéro en moins (« 100 »).

**Les erreurs mixtes constituent en deuxième année primaire un bon tiers des erreurs.**

Parmi les erreurs syntaxiques, ont été distinguées les suites verbales à deux éléments contenant cent et celles contenant mille. Pour les suites contenant cent, après le stade de la lexicalisation, on constate des réponses correctes sur la relation de produit Unité-Centaine (exemple : 300). Ensuite, c'est la suite Centaine-Unité qui est maîtrisée en premier. Seulement, des erreurs ont été sur les autres structures Centaine-Particulier et Centaine-Dizaine de type 10x, (par exemple, l'enfant écrit 1010 pour cent-dix). La production de telles erreurs par tous les enfants de l'étude a fait émettre l'hypothèse d'une généralisation de l'application aux nombres Centaine-Particulier et Centaine-Dizaine d'une règle construite à partir de la transcription correcte des formes Centaine-Unité.

Pour les suites contenant mille, on retrouve le même schéma avec une généralisation de la suite Mille-Unité donnant lieu à des erreurs de type 100x. Ainsi sur le modèle 1008 pour « mille huit », l'enfant écrit 10020 pour « mille vingt ». **On en conclut que la majorité des erreurs produites par les enfants résultent de généralisation abusive de règles**



**correctement construites à des cas de figures pour lesquelles elles ne sont pas applicables.** (Bideaud, Meljac et al., 1991).

En considérant que la mise en correspondance de la forme orale à la forme écrite sollicite les capacités de mémoire de travail pour maintenir en mémoire une suite verbale plus ou moins longue, savoir combien de chiffres va comporter le nombre à transcrire et les mettre à leur position, il semble possible de mettre en place des situations pour prévenir les erreurs de transcription ou y remédier.

### **3.6 Les prédicteurs des compétences arithmétiques et l'impact de l'atteinte des processus cognitifs sous-jacents**

Comme souligné auparavant, les enfants français rencontrent des difficultés d'acquisition des compétences arithmétiques, du fait de l'opacité de notre système verbal. Cependant, cela ne suffit pas à expliquer ces difficultés. En effet, le temps consacré à l'apprentissage mathématique, l'utilisation de matériels concrets et spécifiques dans les activités scolaires, l'accent mis sur la compréhension, l'explication et les procédures, et l'effort personnel de conception des mathématiques par les enfants, les parents et les enseignants jouent également un rôle (Bideaud, Fischer et Meljac, 1991).

Pour les enfants dont les difficultés en mathématiques persistent malgré ces aménagements, on envisage une intervention spécifique. Une étude de l'évolution des compétences arithmétiques permettrait de déterminer des marqueurs développementaux, et de proposer des interventions ciblées les plus efficaces possibles (Gersten et al, 2005). Par ailleurs, il est indispensable de vérifier l'efficacité des processus cognitifs sous-jacents.

Geary (2011b) considère que **le niveau en mathématiques des enfants au CP est un meilleur prédicteur que les aptitudes attentionnelles**. Il souligne l'importance des stratégies de comptage, de la représentation de la ligne numérique, des faits arithmétiques et de la décomposition pour le calcul.

- **Les stratégies de comptage** : les enfants en difficultés au CP et CE1 ont plus souvent et plus longtemps recours à des stratégies immatures et coûteuses, à savoir le comptage min, et dépendent plus longtemps de leurs doigts.

- **La représentation de la ligne numérique**: cette représentation chez les enfants au CE1 peut être encore compressée, conformément à leur âge (Von Aster et Shalev, 2007). La mise en place de cette représentation est permise par la maîtrise des codes symboliques.

• **Les faits arithmétiques** : Geary (2011b) estime qu'il s'agit moins de difficultés à mémoriser les faits arithmétiques que d'y avoir souvent recours. Concernant les erreurs de récupération, nous renvoyons au sous-chapitre traitant de la mémoire à long terme. Ces erreurs seraient entre autres liées aux processus de quantification approximatif (Geary, 2011b).

• **La décomposition** : elle implique une bonne compréhension des quantités (exemple : remarquer que 9 est proche de 10). Elle consiste à reconstruire la réponse en se basant sur la récupération d'une somme partielle (exemple : récupérer le résultat de  $6+6$  pour résoudre  $6+7$ ). Elle entretient donc un lien étroit avec les faits arithmétiques. Ces deux stratégies de calcul sont les plus matures. Cela explique que certains enfants en difficultés utilisent préférentiellement le comptage digital verbal.

Ensuite, Geary (2011a) désigne **trois prédicteurs des compétences en mathématiques : l'efficacité intellectuelle, la mémoire de travail et la vitesse de traitement**. L'impact de l'efficacité intellectuelle augmente avec l'âge. D'autre part, une faiblesse de la mémoire de travail peut altérer la compréhension des concepts de base. C'est le cas par exemple du dénombrement, où les enfants en difficultés repèrent moins bien la violation d'un principe lorsqu'ils comptent en même temps (Geary, Hoard et Hamson, 1999). Cela se répercute sur l'élaboration sémantique des stratégies compensatoires pour résoudre des calculs. D'autre part, Flessas (2009) propose une analyse des erreurs en mathématiques en fonction de la nature de l'atteinte de fonctions cognitives impliquées dans le traitement numérique :

- Si l'atteinte est verbale, cela entraînerait des difficultés en transcodage et en calcul dans leur aspect phonologique et syntaxique.
- Si l'atteinte est non verbale, cela se répercuterait sur le jugement des quantités perçues et l'organisation visuo-spatiale.
- S'il s'agit d'un déficit attentionnel, d'une impulsivité et d'une absence générale de vérification, les difficultés se caractériseraient alors par des erreurs aléatoires multiples.

Dans notre étude : de telles affirmations permettront d'expliquer la différence entre les enfants « faibles » et « fort » pour certaines compétences arithmétiques. Elles permettront également de comprendre les difficultés de certains enfants lors des études de cas en termes de maturité des compétences numériques, ainsi que l'éventuel impact des processus cognitifs sous-jacents.

### **III PROBLEMATIQUE**

Alors que les mathématiques font partie des apprentissages fondamentaux de notre société, en France « les faibles en mathématiques sont beaucoup plus nombreux que dans d'autres pays » (Fayol, 2012). De plus, environ 20% des enfants et adolescents ressentent à l'égard de cette matière des sentiments négatifs « allant de l'anxiété à la phobie » (Fayol, 2012). Il est donc essentiel de proposer des solutions à cela. En ce sens, des études portant sur les difficultés en mathématiques se développent depuis les années 2000. Dans nos recherches théoriques, nous apprenons que le traitement du nombre est constitué de diverses compétences arithmétiques. De nombreux facteurs interviennent au sein de ces composantes, et les difficultés qui leur sont associées sont hétérogènes (Dowker, 1998, 2005). C'est ce que nous voulons étudier dans notre mémoire. Plus précisément, dans le cadre d'une étude longitudinale, nous voulons observer la dynamique d'évolution des compétences arithmétiques d'enfants entre le CP et le CE1, et en déterminer les facteurs.

Pour cela, nous avons sélectionné 32 enfants parmi 107 enfants évalués au CP, à savoir les 17 plus forts et les 15 plus faibles à partir de leurs résultats globaux en mathématiques. Lors du 2<sup>e</sup> trimestre de CE1, nous avons examiné leurs compétences arithmétiques ainsi que les fonctions cognitives sous-jacentes, avec des tests standardisés. Ensuite, nous avons établi la moyenne du groupe des « forts » et celle du groupe des « faibles » dans chaque épreuve arithmétique, afin d'observer la tendance centrale de l'évolution de ces groupes. Par ailleurs, l'étude des performances de certains enfants nous a permis d'analyser plus finement le développement de leurs compétences et leurs difficultés, ainsi que les liens entre les différentes performances arithmétiques et les fonctions cognitives qu'elles impliquent.

Dans le cadre d'une autre recherche, cette étude permettra de proposer des remédiations ciblées sur les composantes arithmétiques déficitaires. En effet, des auteurs ont récemment montré l'efficacité de telles interventions (Gersten, Jordan & Flojo, 2005). Nous espérons donc que notre étude sera poursuivie et pourra faire l'objet d'un prochain mémoire.

## **IV HYPOTHESES**

De nos lectures ont émergé les hypothèses suivantes :

1. **La différence entre la moyenne des compétences arithmétiques du groupe des « faibles » et des « forts » au CP reste significative au CE1.**
2. Chez certains enfants de Primaire, les compétences arithmétiques ne sont pas stables dans le temps. Aussi, **des enfants présentant des difficultés en mathématiques au CP voient leurs scores se normaliser au CE1** (Geary, 2000).
3. Les composantes arithmétiques sont nombreuses, et leur niveau varie considérablement d'un enfant à l'autre dans les premières années de Primaire (Denvir & Brown, 1986, Dowker, 1998, 2005). Ainsi, **les enfants présentant des difficultés à traiter les nombres constituent un groupe hétérogène.**
4. **Une atteinte des capacités de traitement visuo-spatial, du langage, de la régulation de l'attention et des fonctions exécutives entraverait l'apprentissage des mathématiques chez les enfants à l'école élémentaire** (Von Aster, 2009).

## V PARTIE PRATIQUE

### *1. Méthodologie*

#### **1.1 Population étudiée**

Notre étude porte sur un échantillon de 32 enfants de CE1. Ceux-ci ont été sélectionnés à partir d'une cohorte d'élèves évalués l'an dernier dans le cadre d'un mémoire portant sur les capacités arithmétiques des enfants au CP. Nous avons gardé les 20 élèves ayant obtenu les meilleurs scores composites en mathématiques au CP, et les 20 enfants ayant obtenu les scores les plus faibles. Ainsi, notre population se compose de deux groupes : les « forts » et les « faibles ». Ensuite, nous avons écarté les enfants redoublants ou indisponibles. L'échantillon se compose finalement de 15 enfants « faibles » et 17 enfants « forts ». Ceux-ci sont scolarisés dans deux écoles parisiennes : 19 enfants viennent de l'établissement Keller, 13 enfants de l'école Télégraphe. Dans chaque école, ils sont répartis en deux classes de CE1 et une classe de CE1-CE2. L'école Keller est située dans le 11<sup>ème</sup> arrondissement et classée en ZEP (Zone Education Prioritaire). Les enfants sont issus de milieux socioculturels divers, la plupart venant de familles au niveau socioprofessionnel assez élevé. L'école Télégraphe est située dans le 20<sup>ème</sup> arrondissement et récemment sortie de la ZEP. Les enfants sont essentiellement d'origine étrangère, plusieurs sont bilingues. **L'échantillon constitue un ensemble d'enfants d'une moyenne d'âge de 7 ans 6 mois. Le groupe des « faibles » est composé de 8 filles et 7 garçons et le groupe des « forts » est composé de 12 filles et 5 garçons.**

#### **1.2 Conditions de passation**

##### *1.2.1 Les salles*

Chaque école a accepté de mettre un lieu à notre disposition pour les passations. A l'école Télégraphe, nous avons pu nous installer dans la bibliothèque, et dans la salle de réunion à l'école Keller. Dans les deux sites, la salle jouxtait une classe dont les bruits distraient parfois les enfants pendant les évaluations.

Pendant les épreuves de mathématiques, nous étions deux examinatrices dans la même pièce. Les enfants étaient donc placés de dos de façon à ne pas se gêner. En revanche, pour l'évaluation des fonctions cognitives générales, l'examinatrice était seule avec l'enfant.

### 1.2.2 L'emploi du temps

Sur une journée, les passations avaient lieu de 8h45 à 11h20 le matin, et de 13h40 à 16h20 l'après-midi, entrecoupées d'une récréation par demi-journée et d'une pause déjeuner. L'ordre de passage des enfants était choisi en fonction du programme de l'instituteur.

Les évaluations ont été réalisées lors du 2<sup>ème</sup> trimestre du CE1. La première session de passations portait sur les aptitudes logico-mathématiques. Elle a eu lieu au début du mois de décembre et durait en moyenne 1h. La deuxième session portait sur les fonctions cognitives générales. Elle s'est déroulée au début du mois de février et durait environ 1h15. Nous l'avons divisée en deux temps : **l'épreuve d'attention soutenue a été administrée un jour différent du reste des épreuves afin de favoriser la disponibilité des enfants.**

### 1.2.3 Les examinateurs

Nous étions deux à faire passer les épreuves aux enfants. Afin de nous familiariser au mieux avec les tests, Madame Iannuzzi et Madame Mirassou, respectivement neuropsychologue et orthophoniste du service de neuropédiatrie infantile de l'hôpital Bicêtre, **nous ont reçues pour faire une simulation de passation.**

**Pour éviter tout biais lié à la croyance de l'examineur sur les capacités de l'enfant, nous changions d'élève d'une session à l'autre.**

## 1.3 Description des épreuves

### 1.3.1 Epreuves proposées au CP

Notre mémoire fait suite à une étude longitudinale des compétences arithmétiques aux CP (Bitche et Bougon, 2012). Nous nous intéressons aux épreuves relatives aux aptitudes arithmétiques administrées en mars 2012. Concernant les épreuves évaluant les fonctions cognitives sous-tendant le traitement du nombre, elles sont proposées en septembre 2011 uniquement.

#### 1.3.1.1 *Fonctions arithmétiques*

L'épreuve en commun dont nous disposons est celle du comptage. Les autres tâches sont également prises en compte dans notre étude, car elles appréhendent les prérequis aux habiletés arithmétiques. Pour une description plus précise de ces épreuves, nous renvoyons à l'étude d'origine.

<b>Epreuves</b>	<b>CP-CE1</b>
Lignes numériques	X
Comparaison de nombres indo-arabes	X
Comparaison de collections	X
Addition de symboles et de nombres	X
Configurations de doigts à relier	X
Comptage	V
Dénombrement de collections	X
Ecriture de la chaîne numérique	X
Suite logique de nombres	X

X : non en commun ; V : en commun

**Tableau n° 1 - Epreuves arithmétiques en commun entre le CP et le CE1**

#### **A Lignes numériques**

Cette épreuve est inspirée d'une étude de Siegler (2003). Cela évalue la représentation linéaire des numérosités. Il s'agit de mettre en correspondance une valeur symbolique discrète (nombre) et un matériel analogique continu (espace). L'épreuve est composée de deux parties. Premièrement, à partir d'un nombre lu, l'enfant place un trait sur une ligne bornée de 0 à 10. Deuxièmement, il attribue une valeur numérique au trait d'une ligne bornée de 0 à 10.

## **B Comparaison de nombres indo-arabes**

Cette épreuve est inspirée des travaux de Noël (2005b). Elle appréhende les capacités de jugement de la grandeur des nombres, et la sensibilité aux leurres perceptifs. Par ailleurs, Fayol et Seron (2005) considèrent que ce type de tâche est représentatif des relations qu'entretiennent les codes analogique et indo-arabe. Il s'agit de comparer deux nombres dont la taille numérique et physique varie.

## **C Comparaison de collections**

Cette épreuve est identique à celle évoquée précédemment. Elle est issue des mêmes travaux. Il s'agit de comparer des collections de points dont la taille numérique et physique varie.

## **D Addition de symboles et de nombres**

Cette épreuve est inspirée d'un article de Geary (2009). Elle fait intervenir de nombreuses compétences numériques telles que le subitizing, le dénombrement, le transcodage arabo-analogique et les stratégies de calcul. Elle est présentée sous forme de dominos, sur lesquels sont représentés des nombres et symboles disposés de façon canonique ou non. L'enfant entoure tous les dominos de même quantité que le nombre inscrit en haut de page. Pour cela, il doit additionner les nombres et collections entre eux.

## **E Configurations de doigts à relier**

Cette épreuve est issue d'une étude de Noël (2005b). Elle teste la capacité à identifier ou dénombrer des collections de doigts, et l'impact du type de configuration sur ces capacités. Elle est constituée de deux parties. On présente des photos de configurations digitales conventionnelles ou non à l'enfant. Dans un premier temps, il relie une photo à un nombre indo-arabe de même quantité que le nombre de doigts levés. Dans un deuxième temps, il relie des photos de configurations digitales conventionnelles et non conventionnelles, présentant le même nombre de doigts levés.

## **F Dénombrement de collections**

Cette épreuve vérifie les capacités de dénombrement d'une collection. Elle évalue également la correspondance entre le code analogique et indo-arabe. L'enfant compte des



lapins, puis associer cette collection à un nombre indo-arabe en l'évoquant lui-même ou en la reliant à des nombres déjà inscrits sur la feuille.

### **G Ecriture de la chaîne numérique**

Il s'agit ici de voir jusqu'où les enfants maîtrisent cette chaîne.

### **H Suite logique de nombres**

Cette épreuve est issue de la Direction de l'Évaluation et de la Prospective (DEP) du Ministère de l'Éducation nationale, de la Recherche et de la Technologie. Elle permet d'appréhender la compréhension de la chaîne numérique par l'enfant.

#### *1.3.1.2 Fonctions cognitives sous-jacentes au traitement numérique*

Les épreuves de langage, de raisonnement visuo-spatial, de praxies constructives, de mémoire de chiffres et de mémoire visuo-spatiale sont également administrées au CE1. Pour une description plus précise des autres tâches, nous renvoyons à l'étude d'origine.

<b>Epreuves</b>	<b>CP-CE1</b>
Phonologie	v
Evocation lexicale	v
Compréhension lexicale	v
Raisonnement visuo-spatial	v
Praxies constructives	v
Copie de figures	x
Petite figure de Rey	x
Mémoire de chiffres	v
Mémoire visuo-spatiale	v
RAN	x
Gnosies digitales	x

**Tableau n° 2 - Epreuves cognitives en commun entre le CP et le CE1**

### **A Copie de figures**

Cette épreuve est issue de la batterie EDA. Elle permet d'apprécier les capacités de graphisme et visuo-spatiales de l'enfant. Elle comporte onze figures géométriques de complexité croissante.

### **B RAN (Rapid Automatized Naming)**

Il s'agit d'une tâche de dénomination rapide de couleurs ou de chiffres. Elle est tirée de la batterie EDA. La vitesse de dénomination prédit fortement le niveau de lecture, car elle

permet de connaître les aptitudes d'accès aux mots dans le système sémantique (Denckla et Rudel, 1976). La rapidité de dénomination de chiffres prédit également les résultats mathématiques (Geary 2011a).

## C Gnosies digitales

Cette épreuve est issue de la batterie NEPSY. Elle évalue la capacité d'identification des doigts par un input purement tactile.

### 1.3.2 Epreuves proposées en CE1

Concernant l'évaluation des compétences arithmétiques, nous avons utilisé le matériel standard des batteries du Zareki-R et du Tedi-Math (feuille de cotation et livret de passation). Quant à l'évaluation des fonctions cognitives transversales, les épreuves étaient issues de diverses batteries (EDA, CORSI, Figure de Rey). Aussi nous avons créé des cahiers où nous inscrivions les scores et les commentaires qualitatifs. **Afin d'éviter un biais lié à l'ordre d'administration des épreuves, nous avons prévu deux listes. D'autre part, nous avons pris soin d'alterner les tâches verbales et non verbales pour diminuer le risque d'interférence d'une activité à l'autre par la modalité.** Le matériel présenté à l'enfant (planches, cubes etc) était issu des batteries mêmes. Pour la tâche d'attention soutenue de la NEPSY, nous avons utilisé le matériel standard (voir la description de l'épreuve).

#### 1.3.2.1 *Evaluation des compétences numériques*

### A Zareki-R

Cette batterie est créée par Von Aster et adaptée en français par Dellatolas en 2006. Elle est étalonnée sur une population de 250 enfants de CP au CM2, scolarisés en ZEP ou non (Zone d'Education Prioritaire). Elle comporte neuf épreuves, que nous avons toutes administrées.

#### A.1 Dénombrement de points

**Principes** : Dénombrer nécessite une chaîne verbale stable et conventionnelle, ainsi qu'une coordination de son énonciation au pointage visuel et/ou digital. Selon Gelman et Gallistel (1978), le dénombrement est régi par cinq principes : bijection, ordre stable, non pertinence de l'ordre, abstraction et cardinalité. Cette tâche évalue l'acquisition de ces différentes caractéristiques. Elle fait également intervenir la mémoire de travail visuo-spatiale pour certains items.

**Matériel :** Il s'agit de six planches représentant des points dont la quantité et la disposition varient (linéaire, dé, aléatoire, concentrique). Ces planches sont présentées successivement à l'enfant.

**Procédure :** Cette épreuve est composée de deux parties de trois items chacune. Dans la 1<sup>ère</sup> l'enfant dénombre librement. Dans la 2<sup>ème</sup>, il est contraint d'énoncer la chaîne numérique à haute voix et de pointer les éléments. Les items de la 1<sup>ère</sup> partie sont chronométrés.

- a) « Sur cette feuille, il y a des points. J'aimerais que tu les comptes. Quand tu as fini de les compter, dis-moi combien il y a de points. »
- b) « Maintenant tu comptes les points à voix haute, en les touchant avec ton doigt en même temps. Quand tu as fini de compter, tu écris ici combien tu as trouvé. » L'enfant doit également donner le résultat à l'oral.

**Cotation :** Le total est compris entre 0 et 6 points. Une réponse est correcte si le résultat final énoncé à l'oral correspond bien au nombre de points. 1 point par réponse correcte ; sinon 0 point.

## A.2 Comptage oral à rebours

**Principes :** Le comptage à rebours serait essentiel pour l'acquisition de la soustraction (Fuson, Richard et Briard, 1982). Il renseigne également sur les capacités de mémoire de travail (Nairne, Healy, 1983).

**Matériel :** L'épreuve nécessitant une réponse orale, le seul matériel utilisé est la feuille de cotation du Zareki-R.

**Procédure :** Les consignes sont les suivantes :

- a) « J'aimerais que tu comptes en arrière en commençant à 23 jusqu'à 1. Vas-y, commence : 23, 22... »
- b) « Maintenant, tu comptes en arrière en commençant à 67. Vas-y, commence. » Il n'y a pas d'amorce. Nous arrêtons l'enfant à 54.

**Cotation :** Le total est compris entre 0 et 4 points. 2 points si la séquence est sans erreur et atteint la borne inférieure, 1 point s'il y a une erreur ; sinon 0 point.

## A.3 Transcodages

**Principes :** Les transcodages consistent en la capacité de faire correspondre un code avec un autre. Ici sont évalués les transcodages verbo-arabe (dictée) et arabo-verbal oral (lecture à haute voix). Le passage par le code analogique pour ces transcodages est discuté

(Mc Closkey, 1992 ; Dehaene et Cohen, 2000). Cela dépendrait de la taille du nombre, ainsi que de l'individu effectuant cette tâche.

**Matériel :** La dictée comporte huit items, que l'enfant écrit sur une feuille A4. La lecture contient également huit items, présentés chacun sur une feuille A4. Les réponses de l'enfant sont transcrites sur la feuille de cotation du Zareki-R. Les items sont des nombres de deux à quatre chiffres.

**Procédure :** Les consignes sont les suivantes :

- a) « Je te dis des nombres, et tu les écris sur la feuille. Si tu ne sais pas écrire le nombre, essaie quand même. »
- b) « Maintenant, je vais te montrer des nombres et j'aimerais que tu les lises à voix haute. Si tu ne connais pas le nombre, essaie quand même. »

**Cotation :** Le total en dictée et lecture est compris entre 0 et 16 points chacune. 2 points par réponse correcte, 1 point par réponse correcte après une répétition ou une autocorrection spontanée ; sinon 0 point. La qualité du graphisme et la présence de chiffres miroirs ne sont pas pris en compte dans la cotation. C'est également le cas de la qualité d'articulation à l'oral.

#### A.4 Calcul mental oral

**Principes :** Cette épreuve implique de recourir à diverses stratégies de résolution, telles que le comptage, la récupération de faits arithmétiques et la décomposition. Cela varie selon le degré de difficulté de l'opération et de l'individu réalisant la tâche.

**Matériel :** L'épreuve nécessitant une réponse orale, le seul matériel utilisé est la feuille de cotation du Zareki-R. Cette tâche est composée de huit additions, huit soustractions, et six multiplications.

**Procédure :** Chaque item est énoncé oralement et chronométré. « Je vais te demander de faire des calculs dans ta tête. »

**Cotation :** Le total est compris entre 0 et 44 points. 2 points si la réponse est correcte, 1 point si elle est correcte après une répétition de l'énoncé ; sinon 0 point.

#### A.5 Positionnement de nombres sur une échelle

**Principes :** Cette épreuve consiste à évaluer la capacité de l'enfant à traiter la quantité associée à un nombre et la perception du rapport entre deux quantités, deux longueurs. Elle implique donc la compréhension des nombres et la mise en correspondance du code

analogique aux codes verbal et arabe, en référence au modèle du triple code de Dehaene et Cohen (2000).

**Matériel :** Cette épreuve comporte neuf pages. Sur sept d'entre elles figure une ligne verticale de vingt centimètres, bornée à chaque extrémité par les nombres 0 en bas et 100 en haut, comportant des traits. Chaque item est proposé sur une feuille différente afin que l'enfant ne se repère qu'à l'aide des nombres 0 et 100. Sur les deux autres pages, figurent trois lignes verticales similaires à celle décrite précédemment, mais sans les traits.

**Procédure :** Cette épreuve comprend deux parties, celles des lignes marquées et lignes vierges, comportant chacune des items présentés à l'oral et l'écrit.

- a. La première partie des lignes marquées propose un choix multiple de quatre traits, que l'enfant doit associer à un nombre : « sur cette feuille, il y a une ligne droite avec des petits traits. C'est ce qu'on appelle une échelle de nombres. Montre-moi s'il te plaît le trait qui correspond à zéro. Maintenant montre-moi le trait tout en haut qui correspond à 100. Cette échelle de nombres va donc de 0 à 100. J'aimerais que tu me montres le trait qui correspond à 56. » C'est un exemple donc si la réponse est incorrecte, nous montrons le nombre qui correspond à 56. Pour chaque feuille, nous répétons « montre-moi le trait qui correspond à ... » (items à l'oral : 86, 48, 5 ; à l'écrit : 32, 93, 62).
- b. Dans la seconde partie des lignes vierges, c'est l'enfant qui trace un trait à l'endroit où il pense que se situe le nombre : « ici, il y a une feuille avec trois échelles de nombres, qui vont de 0 à 100. Il n'y a pas de trait sur les lignes. J'aimerais que tu marques avec ton crayon la position des nombres que je vais te dire. Sur cette ligne (nous montrons la ligne à la gauche de l'enfant) marque la position qui correspond au nombre ... » (items à l'oral : 53, 27, 76 ; à l'écrit : 17, 59, 83).

**Cotation :** Le total est compris entre 0 et 24 points, soit 12 points par partie.

- a) 2 points pour chaque réponse correcte, sinon 0 point.
- b) Les points sont attribués selon une grille de cotation superposée sur la feuille de réponse de l'enfant. 2 points si la distance du point idéal est inférieure ou égale à 5 mm ; 1,5 point si elle est comprise entre 6 et 10 mm ; 1 point si elle est comprise entre 11 et 15 mm ; 0,5 point si elle est comprise entre 16 et 20 mm ; sinon 0 point.

#### A.6 Comparaison de deux nombres présentés à l'oral

**Principes :** Cette épreuve nécessite de passer par la représentation analogique des nombres de Dehaene et Cohen. Elle mobilise également la mémoire de travail verbale, d'autant plus si le nom des nombres à comparer est long. Enfin, elle permet d'observer la

capacité de l'enfant à différencier la longueur du nom du nombre de la valeur numérique qu'il représente (exemple de 612 contre 389 : 612 est plus court à prononcer mais sa valeur est plus grande).

**Matériel** : L'épreuve nécessitant une réponse orale, le seul matériel utilisé est la feuille de cotation du Zareki-R. Elle comporte huit items où sont comparées des dizaines, centaines, milliers entre elles, ainsi qu'une centaine avec un millier.

**Procédure** : « Je vais te dire deux nombres et tu dois trouver lequel est le plus grand. Chacune de mes mains tient un nombre. Par exemple ici je te dis « 1 » (l'examineur montre sa main gauche en la fermant) et ici je te dis « 100 » (l'examineur montre sa main droite en la fermant). Le plus grand nombre des deux se trouve ici (montrer la main droite fermée). Touche la main qui tient le nombre le plus grand».

**Cotation** : Le total est compris entre 0 et 12 points. 2 points par réponse correcte, 1 point par réponse correcte après une répétition de l'item ; sinon 0 point.

#### A.7 Comparaison de deux nombres présentés à l'écrit

**Principes** : Cette épreuve évalue les connaissances du système de position qui caractérise le code arabe. En effet, l'enfant peut procéder par comparaison séquentielle des chiffres composant le nombre (Fayol, Perros et Seron, 2004).

**Matériel** : Une page comportant dix items présentés sur une ligne chacun. Ils comparent des nombres de deux à cinq chiffres. La moitié des items sont composés des mêmes chiffres mais dont la position varie (exemple : 201/102).

**Procédure** : « J'ai écrit deux nombres (les montrer). J'aimerais que tu entoures le plus grand des deux. Tu vois ici (montrer le haut de la page) tu entourerais celui-ci (entourer le 100). A toi maintenant ».

**Cotation**: Le total est compris entre 0 et 10 points. 1 point par réponse correcte, sinon 0 point.

#### A.8 Estimation visuelle de quantités

**Principes** : Cette épreuve évalue la capacité à appréhender approximativement la taille d'une collection d'objets. Cette aptitude est liée au code analogique. Elle ne nécessiterait pas d'apprentissage et serait présente chez tous les sujets (Deloche et al. 1999).

**Matériel** : L'épreuve comporte cinq items. Les deux premiers représentent une collection de points en quantité réduite, les deux suivants respectivement des balles et des verres en plusieurs dizaines d'exemplaires.

**Procédure :** Le temps est limité pour empêcher l'enfant de dénombrer (2 secondes pour l'item 1 et 2, 5 secondes pour l'item 2 et 3). « Je vais te montrer des feuilles sur lesquelles il y a des points, des balles, des verres. J'aimerais que tu me dises combien à peu près il y a d'objets. Tu pourras regarder seulement un petit moment et tu n'auras pas le temps de compter les objets un à un. Tu es prêt ? ». Pour le dernier item : « il y avait plus de balles ou plus de verres ? ».

**Cotation :** Le total est compris entre 0 et 5 points. 1 point si sa réponse est comprise dans l'intervalle indiqué pour chaque item, sinon 0 point.

#### A.9 Estimation qualitative de quantités en contexte

**Principes :** Cette épreuve évalue la capacité à juger la valeur d'un nombre dans un contexte particulier. Ainsi, un même nombre peut correspondre à une quantité importante ou petite selon son contexte. Elle mobilise la compréhension du sens du nombre, ainsi que des connaissances du monde.

**Matériel :** L'épreuve comporte dix items. L'enfant fait face à une planche comportant trois cercles de taille grande, moyenne et petite, correspondant respectivement à trois réponses possibles : « beaucoup », « moyen », « peu ».

**Procédure :** « Je vais te dire des quantités de différentes choses et tu me diras si c'est peu, moyen ou beaucoup. Par exemple deux enfants qui jouent dans une cour de récréation, c'est peu (insister) alors tu montres le petit cercle (montrer) ». A chaque item, nous demandons « est ce que c'est peu, moyen ou beaucoup ? »

**Cotation :** Le total est compris entre 0 et 10 points. 1 point par réponse correcte, sinon 0 point.

#### A.10 Problèmes arithmétiques présentés oralement

**Principes :** Cette épreuve évalue la compréhension de phrases, la capacité à retenir les données numériques, à choisir l'opération permettant de résoudre le problème et à traiter la ou les opérations. En cela, elle mobilise également la mémoire de travail verbale.

**Matériel :** Il y a six items. Ce sont des problèmes courts, nécessitant d'effectuer des soustractions et des additions simples. La difficulté ne réside pas dans les calculs, mais plutôt dans la rétention des informations présentées oralement et dans la compréhension des énoncés. Les problèmes 1, 2 et 4 sont de type changement, ils consistent à trouver l'état initial, final ou intermédiaire. Les problèmes 3, 5 et 6 sont de type comparaison.

**Procédure** : « Maintenant, je vais te dire quelques petits problèmes. Tu dois essayer de les résoudre comme tu penses. J'aimerais que tu réfléchisses à voix haute, car je suis très curieuse, et comme j'aimerais bien savoir comment tu arrives à la solution, je te demanderai toujours comment tu as fait pour trouver la réponse. Tu verras dans tous les problèmes, on trouve toujours Pierre et Anne qui jouent aux billes ». Chaque item est chronométré.

**Cotation** : Le total est compris entre 0 et 12 points. 2 points par réponse correcte, 1 point par réponse correcte après une répétition de l'énoncé ; sinon 0 point.

## **B Tedi-Math**

Ce test est élaboré par Van Nieuwenhoven, Grégoire et Noël en 2001. Il est étalonné sur une population de 583 enfants, de la MSM au CE2. Nous avons proposé les épreuves de comptage, transcodings et opérations avec énoncé arithmétique. Cela a permis de compléter l'évaluation du Zareki-R, en obtenant des informations plus précises par des items d'un niveau de difficulté moindre.

### **B.1 Comptage**

**Principes** : Le comptage est une compétence arithmétique de base. D'après Fuson et coll. (1982), de 4 à 7-8 ans, les enfants passent par différents stades d'acquisition. Cette épreuve évalue le niveau d'acquisition de l'enfant (jusqu'où peut-il compter), ainsi que le niveau d'élaboration de la chaîne numérique verbale (peut-il compter avec et entre des bornes, en avant, en arrière). Cela examine également la connaissance d'algorithmes numériques (comptage par pas).

**Matériel** : L'épreuve nécessitant une réponse orale, le seul matériel utilisé est la feuille de cotation du Tedi-Math. Elle comporte six parties, soit onze à douze items.

**Procédure** : Les consignes sont les suivantes :

- a) « Peux-tu compter tout haut le plus loin possible ? Vas-y. » Si l'enfant se trompe, il lui est demandé de recommencer.
- b) « Peux-tu compter jusqu'à ... » (items : 9, 6)
- c) « Peux-tu compter à partir de ... ? » (items : 3, 7)
- d) « Peux-tu compter de ... à ... ? » (items : 5 à 9, 4 à 8)
- e) « Maintenant on va compter à l'envers. On va faire comme si on faisait décoller une fusée. Peux-tu compter en commençant à ... ? » (items : 7, 15)



- f) « Maintenant on va compter d'une autre façon, on va compter par deux. Vas-y compte.» « Maintenant on va compter d'une autre façon, on va compter par pas de géants, par 10. Vas-y compte. »

**Cotation :** Le total est compris entre 0 et 12 points.

- g) La séquence est correcte quand il n'y a pas d'erreurs et qu'elle atteint 31. 2 points si elle est correcte au 1er essai, 1 point au 2ème essai, 0 si l'enfant échoue au 2ème essai.
- h) 1 point par item si la séquence est correcte et la borne d'arrêt respectée ; sinon 0 point.
- i) 1 point s'il n'y a pas d'erreurs, la borne de démarrage est respectée, et si la séquence atteint 10 pour le 1er item, 15 pour le 2ème ; sinon 0 point. Si l'enfant compte à voix basse les nombres précédant la borne de démarrage, ou le temps de démarrage est long (indice de comptage subvocal), nous comptons 0 également.
- j) 1 point si la séquence est correcte et les bornes respectées ; sinon 0 point.
- k) Une amorce (deux 1ers nombres) est autorisée, sans que cela n'enlève de points. 1 point si la séquence est correcte ; sinon 0 point.
- l) 1 point s'il n'y a pas d'erreur, et si la séquence atteint 12 pour le 1er item, 90 pour le 2ème ; sinon 0 point.

## B.2 Transcodages

**Principes :** Nous renvoyons à l'épreuve de transcodage du Zareki-R

**Matériel :** La dictée comporte vingt items, que l'enfant écrit sur une feuille vierge. La lecture contient également vingt items, présentés chacun sur une feuille. Les réponses de l'enfant sont transcrites sur la feuille de cotation du Tedi-Math. Les items sont des nombres de un à trois chiffres.

**Procédure :** Les consignes sont les suivantes :

- a) « Je vais te dire des nombres, je te demande de les écrire en chiffres. »
- b) « Voila des nombres, peux-tu les lire tout haut ? »

**Cotation :** Le total en dictée et lecture est compris entre 0 et 40 points. 1 point par réponse correcte ; sinon 0 point. La qualité du graphisme et la présence de chiffres miroirs ne sont pas pris en compte dans la cotation. C'est également le cas de la qualité d'articulation à l'oral.

### B.3 Opérations avec énoncé arithmétique

**Principes** : Cette épreuve évalue les capacités de calcul mental, ainsi que les connaissances conceptuelles impliquées dans l'addition, la soustraction et la multiplication (exemple : neutralité du 0). Cette tâche fait appel à diverses stratégies de résolution, telles que le comptage, la récupération de faits arithmétiques et la décomposition.

**Matériel** : L'épreuve comporte cinq subtests, soit quarante items. Il s'agit d'additions et de soustractions simples et lacunaires, et de multiplications. Chaque item est présenté sur une feuille A4. Les réponses de l'enfant sont transcrites sur la feuille de cotation du Tedi-Math.

**Procédure** : Le ou les 1ers items sont lus à l'enfant, puis nous faisons défiler les pages sans rien dire. Si nous avons un doute sur la bonne perception de l'item par l'enfant, nous le lui faisons lire à voix haute.

- a) « Deux plus deux, c'est égal à combien ? » (12 items)
- b) « Quatre plus combien est égal à huit ? » (4 items)
- c) « Quatre moins deux, c'est égal à combien ? » (10 items)
- d) « Neuf moins combien est égal à un ? » (4 items)
- e) « Une fois sept, c'est égal à combien ? » (10 items)

**Cotation** : Le total est compris entre 0 et 40 points. 1 point par réponse correcte ; sinon 0 point. Nous relevons les temps de latence, cependant cela n'impacte pas la note.

#### 1.3.2.2 *Evaluation des compétences sous-jacentes au traitement numérique*

##### **A Lecture de mots (Timé 2)**

Le Test d'Identification de Mots Ecrits est créé par Ecalle en 2004. Il est destiné aux enfants âgés de 6 à 8 ans. Nous n'avons pas présenté cette épreuve lors des évaluations, celle-ci ayant déjà été proposée par l'équipe de l'hôpital du Kremlin-Bicêtre. Nous avons donc récupéré les scores des enfants pour compléter nos données.

**Principes** : Il s'agit d'associer un mot écrit à un mot présenté sur entrée auditive (partie a)). Cette épreuve sollicite également la compréhension en lecture de mots (partie b)). Enfin, elle met en jeu le réseau orthographique et sémantique (partie c)).

**Matériel** : L'épreuve est composée de trois tâches. Dans chacune d'elles, l'enfant doit identifier douze mots cibles, chaque mot cible étant accompagné de 4 distracteurs : un homophone, un voisin phonologique, un voisin orthographique et un pseudo-mot dont

l'orthographe n'est pas plausible (exemple : pour le mot cible « plume », le mot correct est « plume » et les distracteurs sont « plumme, plumeau, plune et pmeul »).

**Procédure :**

- a) La première tâche est une reconnaissance de mot écrit sur entrée auditive. L'examineur lit un mot et l'enfant doit associer, parmi plusieurs propositions, le mot correctement écrit à l'image qu'il a sous les yeux.
- b) La deuxième tâche est une reconnaissance de mot écrit sur entrée visuelle. L'enfant doit retrouver, parmi plusieurs propositions, le mot correctement écrit correspondant à l'image qu'il a sous les yeux.
- c) La troisième tâche évalue la reconnaissance de mot écrit sur entrée sémantique. Après avoir lu un mot, l'enfant doit trouver parmi d'autres mots un mot sémantiquement proche de la cible et correctement orthographié.

**Cotation :** Le total est compris entre 0 et 36 points. 1 point par mot correct.

## **B EDA**

Cette batterie de tests est créée par Billard et Touzin en 2012. Elle est destinée à l'évaluation des fonctions cognitives et des apprentissages. Elle est étalonnée sur une population de 626 enfants de MSM au CM2. Nous avons proposé cinq épreuves relatives au langage, ainsi que les épreuves de raisonnement visuo-spatial, de praxies constructives et de praxies gestuelles.

### **B.1 Phonologie**

**Principes :** Il s'agit d'une épreuve de répétition de non-mots. Elle évalue la boucle phonologique, soit la capacité à maintenir temporairement une information non sémantisée dans le stock phonologique et à la restituer immédiatement.

**Matériel :** L'épreuve comporte six items de trois à quatre syllabes.

**Procédure :** « Je vais te dire des mots qui n'existent pas et toi tu vas les répéter du mieux que tu peux ». Si nous n'avons pas bien entendu, nous demandons à l'enfant de répéter à nouveau sans redonner l'item. Nous énonçons le logatome sans syllabation et à un débit normal. .

**Cotation :** Le total est compris entre 0 et 20 points. 1 point par syllabe correctement répétée, sinon 0 point.

## B.2 Evocation lexicale

**Principes :** Cette épreuve évalue le lexique actif de l'enfant, soit les capacités d'accès au stock lexical.

**Matériel :** Elle comporte trente images en noir et blanc, d'objets de toutes catégories. Elles sont présentées quatre par page.

**Procédure :** L'enfant dénomme les images que nous lui désignons : « qu'est-ce que c'est ? ». Comme indiqué pour les enfants de Primaire, nous commençons par l'item 11. Si les items 11 ou 12 sont échoués, nous reprenons à partir de l'item 1. L'épreuve est stoppée au bout de cinq échecs successifs. Quand la réponse n'est pas celle escomptée, nous donnons une deuxième chance : « c'est bien mais plus précisément ».

**Cotation :** Le total est compris entre 0 et 30 points. 2 points par réponse correcte, 1 point par réponse correcte après précision ; sinon 0 point. Lorsque l'enfant parvient à dénommer les items 11 et 12, les points des items précédents sont attribués. Les déformations articulatoires ne sont pas prises en compte.

## B.3 Compréhension lexicale

**Principes :** Elle évalue le lexique passif, soit le contenu du stock lexical.

**Matériel :** L'épreuve comporte seize pages, sur lesquelles se trouvent deux séries de six images disposées en ligne.

**Procédure :** Parmi six images, l'enfant désigne celle qui correspond au mot que nous lui énonçons (nom sans article ou verbe) : « je vais te dire des mots et tu vas choisir la bonne image ». Nous balayons du doigt la bande de dessins et disons le mot cible : « montre-moi ... ». Comme indiqué pour les enfants de Primaire, nous commençons par l'item 13. Si les items 13 ou 14 sont échoués, nous reprenons à partir de l'item 1.

**Cotation :** Le total est compris entre 0 et 34 points. 1 point par désignation correcte, sinon 0 point. Lorsque l'enfant parvient à dénommer les items 13 et 14, les points des items précédents sont attribués.

## B.4 Expression syntaxique

**Principes :** Cette épreuve évalue la capacité de l'enfant à construire une phrase syntaxiquement correcte à l'oral.

**Matériel :** L'épreuve comporte vingt pages composées chacune de deux dessins en couleurs.

**Procédure :** « Je vais te montrer des images et tu vas continuer la phrase que j'ai commencée. Attends bien que j'aie fini de parler ». Comme indiqué pour les enfants de Primaire, nous commençons à l'item 5. Si l'enfant échoue aux items 5 ou 6, nous reprenons au premier item.

**Cotation :** Le total est compris entre 0 et 40 points. 2 points par réponse correspondant à la réponse exacte attendue, 1 point par réponse syntaxiquement correcte ou correspondant au langage parlé ; sinon 0 point.

### B.5 Compréhension syntaxique

**Principes :** Cette épreuve évalue la compréhension de phrases dont la structure et la longueur varient. Elle comporte notamment certains termes logiques (« et, ou, tous, sauf »). Elle fait également intervenir la mémoire de travail, avec la nécessité de retenir un nombre croissant d'informations.

**Matériel :** L'épreuve comporte deux parties, soit quinze items. Nous disposons d'une planche, où sont représentés des ronds et carrés de diverses tailles et couleurs. Pour la 2<sup>ème</sup> partie de l'épreuve, nous plaçons des jetons similaires sur les formes correspondantes.

**Procédure :** Tout en montrant les figures, nous énonçons la consigne « Tu vois le tableau, il y a des ronds, des carrés, des grands, des petits, des rouges, des jaunes... Je vais te dire des phrases et tu vas faire ce que je demande. ». Si l'enfant se trompe, nous lui donnons une seconde chance : « Je te redis la phrase. ».

**Cotation :** Le total est compris entre 0 et 30 points. 2 points si la désignation ou la manipulation est correcte d'emblée, 1 point si elle est correcte après une répétition ; sinon 0 point.

### B.6 Raisonnement visuo-spatial

**Principes :** Cette épreuve nécessite un traitement logique et visuo-spatial.

**Matériel :** Nous disposons de quinze planches. Chacune représente une image comportant un espace vide. En-dessous de cette image figurent six éléments susceptibles de la compléter.

**Procédure :** Nous énonçons la consigne suivante, tout en désignant les éléments concernés : « C'est un puzzle, dans lequel il manque une pièce. Laquelle de ces pièces va là ? ». Si l'enfant se trompe, nous lui donnons une seconde chance : « Non, ce n'est pas ça, choisis-en une autre. ». Nous arrêtons l'épreuve après cinq erreurs successives cotées à 0 point.

**Cotation :** Le total est compris entre 0 et 30 points. 2 points si la réponse est correcte, même après une autocorrection spontanée, 1 point si la réponse est correcte au 2<sup>ème</sup> essai ; sinon 0 point.

### B.7 Praxies constructives

**Principes :** Cette épreuve évalue les capacités visuo-constructives de l'enfant par l'assemblage d'objets. Plus précisément, elle observe l'aptitude à reproduire des constructions en trois dimensions, à partir d'un modèle imagé en deux dimensions.

**Matériel :** Nous disposons d'un chronomètre, dix-huit cubes, quatre planches. Sur chacune est représentée une construction en perspective.

**Procédure :** « Essaie de reproduire cette construction du mieux que tu peux, le plus vite possible. » A chaque item, nous laissons le modèle et tous les cubes à l'enfant, et nous chronométrons ses réalisations. L'enfant dispose de 2 minutes maximum par réalisation.

**Cotation :** La note standard concerne les deux 1ers items uniquement. Le total de la note brute est compris entre 0 et 4 points pour la réalisation. 2 points par réponse correcte, 1 point si elle manque de précision, 0 point si un/des cubes est/sont ajouté(s) ou omis, ou si la réalisation est impossible. On obtient également une note standard de temps pour ces items.

### B.8 Praxies gestuelles

**Principes :** Il s'agit d'évaluer les capacités d'exécution motrice, par la reproduction de postures non symboliques. Les gestes sont réalisés avec une ou deux mains, et sont séquentiels ou simultanés.

**Matériel :** Le modèle est présenté par l'examineur. Le seul matériel utilisé est le cahier où sont reportées toutes les réponses de l'enfant. L'épreuve est composée de cinq items.

**Procédure :** « Regarde bien ce que je fais, et essaie de faire la même chose que moi. ». Chaque item se déroule en trois temps :

- d) Nous montrons la série une fois à l'enfant.
- e) Nous la reproduisons ensemble trois fois.
- f) L'enfant réalise la série seul : « A toi maintenant, fais-le tout seul. » Nous le stoppons après trois réalisations correctes successives. Sinon, nous l'incitons à poursuivre, sans remonter la séquence.

**Cotation :** 1 point pour chacune des trois réalisations correctes, 0,5 point si l'enfant réussit mais hésite ; sinon 0 point. La note standard concerne les items 2 et 3 uniquement.

### C Figure Complexe de Rey

La Figure Complexe de Rey (FCR) est élaborée en 1965, par un psychologue du même nom. Nous utilisons le nouvel étalonnage de Wallon et Mesmin (2009). Il est effectué sur une population de 1800 sujets, âgés de 3 ans à l'âge adulte. Il s'agit de la FCR-B, administrée à partir de l'âge de 6 ans.

**Principes** : Cette épreuve explore les fonctions visuo-perceptives et graphomotrices, exécutives (planification) et mnésiques (mémoire de travail ; encodage, stockage et récupération pour la reproduction de mémoire). Elle nécessite de percevoir la structure, les éléments et les rapports qu'ils entretiennent. Elle est suffisamment complexe pour avoir un effet désorganisateur.

**Matériel** : Nous disposons de feutres de différentes couleurs, d'un chronomètre et de deux feuilles A5 vierges. Le modèle figure sur une feuille A5, présentée horizontalement.

**Procédure** : Le modèle doit demeurer dans la position horizontale, mais l'enfant peut tourner sa feuille. L'épreuve se déroule en deux temps :

- a) « J'aimerais que tu copies cette figure. Je te ferai changer de feutre de temps en temps. » Nous lui proposons d'autres feutres en cours d'épreuve, afin de se rappeler les étapes de la réalisation. L'enfant ignore qu'il devra reproduire la figure de mémoire. Nous chronométrons la durée de la copie.
- b) « J'aimerais que tu redesses la figure de tout à l'heure. Celle où il y avait plusieurs couleurs. » Nous chronométrons la durée de la restitution de mémoire.

**Cotation** : Nous disposons d'une note standard pour les deux réalisations, ainsi que pour le temps de copie. Le total de la note brute par réalisation est compris entre 0 et 72 points. La figure est décomposée en dix-huit éléments, auxquels on attribue des points de la façon suivante :

- a) 4 points si l'élément est correctement tracé et bien placé
- b) 3 points s'il est un peu déformé mais bien placé
- c) 2 points s'il est correctement tracé mais mal placé, ou déformé/incomplet mais bien placé
- d) 1 point s'il est déformé/incomplet et mal placé.
- e) 0 point s'il est méconnaissable ou absent.

## **D Répétition de chiffres (Zareki-R)**

**Principes** : Cette épreuve permet d'évaluer les mémoires verbales à court terme et de travail. Rappelons qu'elles sont également sollicitées dans d'autres épreuves du Zareki-R (calcul mental oral, comparaison de deux nombres présentés oralement et problèmes arithmétiques présentés oralement). D'après le modèle de Baddeley (1992), l'empan envers mobilise davantage l'administrateur central de la mémoire de travail que l'empan endroit.

La répétition de chiffres étant une mesure classique de mémoire de travail, elle n'est pas incluse dans le calcul de la note totale du Zareki-R.

**Matériel** : La répétition de chiffres endroit est suivie de la répétition envers. Ces tâches sont composées de quatre parties correspondant chacune à un empan différent allant jusqu'à six chiffres. Chaque empan comporte trois essais.

**Procédure** : Les consignes sont les suivantes :

- a) Pour l'empan endroit « je vais te dire des nombres. J'aimerais que tu écoutes en faisant très attention et que tu les répètes tous dans l'ordre quand je te fais signe. Voici un exemple : 2-3 ».
- b) Pour l'empan envers « je vais encore te dire quelques nombres. Cette fois je voudrais que tu les répètes à l'envers. Ecoute bien voici un exemple : si je te dis 4-9, qu'est-ce que tu dois dire ? ». Si la réponse est correcte, nous commençons l'épreuve. Sinon, nous donnons la bonne réponse et proposons un autre exemple.

Nous prononçons un nombre par secondes. L'épreuve est arrêtée après trois échecs successifs aux essais d'un même empan. Aucun essai n'est répété afin d'éviter un effet d'apprentissage.

**Cotation** : Le total est compris entre 0 et 24 points, soit 12 points par tâche. 1 point par essai correct, sinon 0 point. Nous considérons que l'empan est acquis si au moins un des trois essais est réussi. Théoriquement, à cet âge l'empan endroit est de  $5 \pm 2$ , et de  $7 \pm 2$  à l'envers. Nous observons également l'écart entre ces deux empan.

## **E Cubes de Corsi**

**Principes** : Cette épreuve évalue les capacités de mémoire à court terme et de mémoire de travail visuo-spatiales. Rappelons qu'elles interviennent également dans l'épreuve de dénombrement du Zareki-R.

**Matériel** : Nous utilisons une planche sur laquelle sont fixés neuf cubes bleus identiques. Sur la face des cubes orientée vers l'examineur apparaissent des chiffres de 1 à 9



pour faciliter la passation de l'épreuve. Cette tâche est composée d'une liste de séquences allant de deux à neuf chiffres à mémoriser. Un item se caractérise par une longueur d'empan et chaque item est constitué de deux essais.

**Procédure** : La planche est placée en face de l'enfant de sorte que les faces avec des chiffres ne soient pas visibles. ». Ensuite nous pointons dans un ordre déterminé un nombre croissant de cubes. Le pointage doit se faire à environ un cube par seconde.

a) « Je vais te montrer des cubes et tu montreras pareil que moi ». Une fois fini, l'enfant doit reproduire la séquence dans le même ordre.

b) « Je vais te montrer des cubes, et tu montreras à l'envers ». Une fois fini, l'enfant doit reproduire la séquence dans l'ordre inverse.

Les trois premières séquences proposées sont des exemples et ne sont donc pas cotées.

**Cotation** : Le total par tâche endroit ou envers est compris entre 0 et 16 points. 1 point par essai si l'enfant reproduit correctement la séquence, 0 point s'il fait une erreur et nous passons directement à l'essai suivant. Chaque item ou empan comprend deux essais, il est donc noté sur 0, 1 ou 2 points. On considère qu'un empan est acquis si au moins un des deux essais est réussi.

## **F Attention auditive et réponses associées (NEPSY)**

La NEPSY est un bilan neuropsychologique. Elle est élaborée par Korkman, Kirk et Kemp en 1997, mais son adaptation française date de 2003. Elle est étalonnée sur une population de 325 enfants, âgés de 3 ans à 12 ans. On propose l'épreuve d'Attention auditive et Réponses associées uniquement.

**Principes** : Cette épreuve évalue les capacités de vigilance et de maintien de l'attention auditive sélective. Elle examine également l'aptitude à changer un pattern de réponses complexe et à le maintenir. Elle sollicite des compétences d'inhibition et de flexibilité.

**Matériel** : Nous disposons d'une boîte contenant quarantaine de carrés de quatre couleurs différentes, d'un magnétophone sur lequel sont enregistrés les items (un mot par seconde), et d'une feuille de cotation. L'épreuve est composée de deux parties.

**Procédure** : Au début des deux parties, on propose à l'enfant trois entraînements. Cela permet de vérifier la compréhension et l'intégration de la consigne.

a) « Tu vas entendre des mots. Quand tu entends le mot « rouge », prends un carré rouge et mets-le dans la boîte, comme ceci (exemple). »

- b) « Ce jeu est un petit peu différent. Tu vas entendre d'autres mots. Cette fois, lorsque tu entends le mot « rouge », mets un carré jaune dans la boîte (exemple). Lorsque tu entends le mot « jaune », mets un carré rouge dans la boîte (exemple). Lorsque tu entends le mot « bleu », mets un carré bleu dans la boîte (exemple). »

Les consignes communes aux deux parties sont les suivantes : « Lorsque tu entends un autre mot, n'importe lequel, ne fais rien. Tu entendras beaucoup de mots, donc écoute attentivement jusqu'à la fin. Ne touche les carrés que lorsque tu veux en mettre un dans la boîte. Si tu te trompes, ne recommence pas, continue juste à écouter. ».

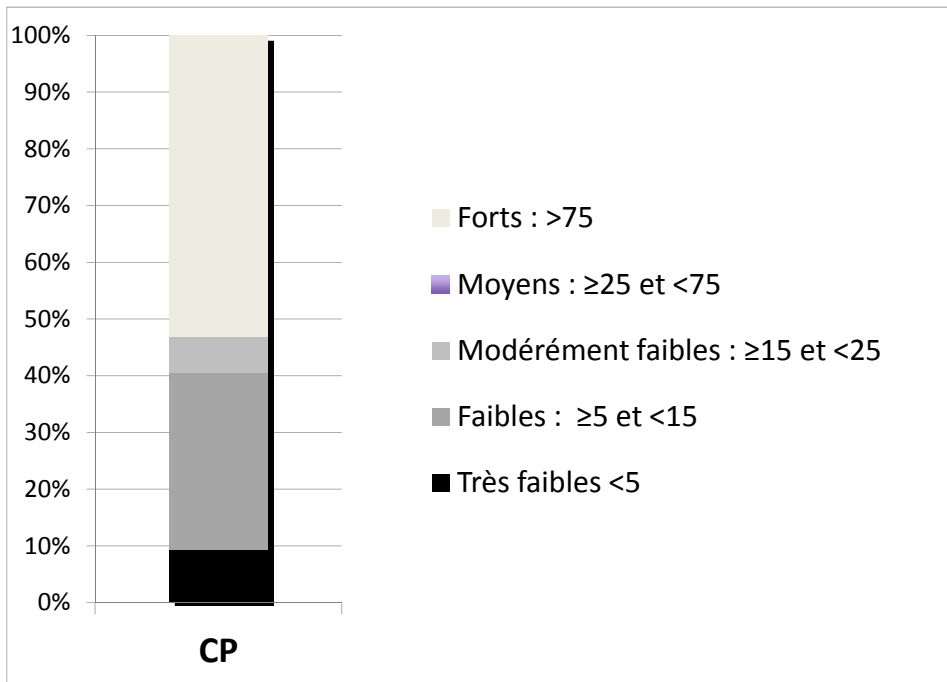
**Cotation :** Une réponse est correcte quand l'enfant prend un carré de la bonne couleur. 2 points si l'enfant réagit en même temps qu'est énoncé le mot, 1 point s'il réagit 1 à 2 secondes après l'énonciation du mot ; sinon 0 point. Les réponses survenant à plus de 2 secondes, les erreurs et les omissions sont comptabilisées ensemble (Fausses alarmes). Ce score est soustrait au score de Bonnes réponses. Le total par partie est compris entre – 180 et 60 points. La somme des deux totaux est ensuite convertie en note standard.

## ***2. Analyse globale des données***

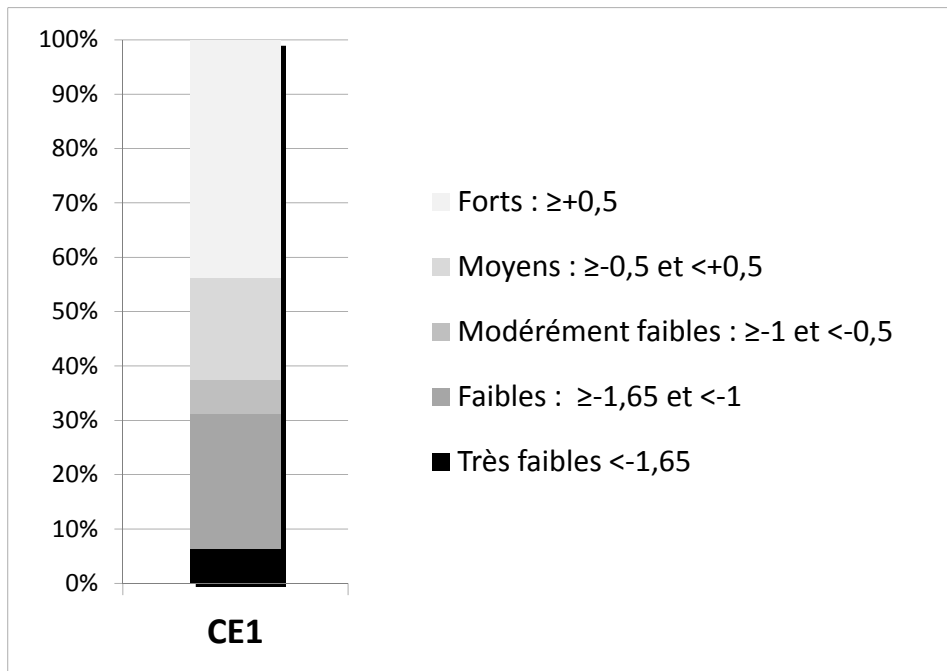
Afin de faciliter la compréhension des analyses qui suivent, nous rappelons le processus de sélection des enfants, ainsi que les caractéristiques générales de notre échantillon. Les enfants faisant l'objet de notre mémoire ont été évalués en CP. Nous avons récupéré les résultats de l'évaluation en mathématiques de mars 2012 des 107 sujets, puis en avons établi des scores globaux (Bitche & Bougon, 2012). A partir de ces derniers, nous avons formé deux groupes : celui des « forts », composé des 20 enfants ayant eu les meilleurs scores, et celui des « faibles », composé des 20 enfants ayant eu les scores les plus faibles. Après exclusion des redoublants et des enfants n'étant plus disponibles, nous en sommes arrivés à un échantillon de 32 enfants, 17 « forts » et 15 « faibles », dont 20 filles et 12 garçons, âgés de 7 à 8 ans (moyenne en décembre 2012 : 7 ans 6 mois), scolarisés en CE1 ordinaire, et issus de milieux socioculturels divers.

### **2.1 Evolution des compétences arithmétiques entre le CP et le CE1**

Nous avons observé l'évolution générale des compétences arithmétiques des enfants entre le CP et le CE1 (Tableau n° 3, Graphe n° 1 et Graphe n° 2). Le Graphe n° 1 décrit la répartition des enfants en CP à partir des scores composites obtenus en mathématiques dans l'échantillon de 32 enfants, issu de l'ensemble de la cohorte de 107 sujets (Bitche & Bougon, 2012). Par choix méthodologique, les enfants de l'échantillon correspondent aux deux groupes des « forts » et des « faibles ». Leur répartition est décrite en percentiles. Le Graphe n° 2 représente la répartition de ce même échantillon en CE1 selon les scores totaux obtenus au Zareki-R en CE1. Leur répartition est décrite en écart-types. **Au CP et CE1, différents niveaux de compétence sont observables.**



**Graphe n° 1 - Répartition en CP des enfants selon leur score composite en mathématiques, (Percentiles)**



**Graphe n° 2 - Répartition des mêmes enfants en CE1 selon leur score total au Zareki (ET)**

Le Tableau n° 3 vise à déterminer si les enfants situés aux différents niveaux sont les mêmes au CP et au CE1, autrement dit d'observer l'évolution de chaque enfant. La comparaison des scores composites en mathématiques de CP, exprimés en notes brutes et percentiles, et des scores totaux du Zareki au CE1, exprimés en notes brutes et écart-types, a été réalisée pour chaque enfant. Cela nous a permis d'établir un classement du plus fort au plus faible en mathématiques par classe de CP et CE1.

Parmi les enfants qui appartenaient au groupe des « faibles » au CP :

- Sept enfants faibles au CP le restent au CE1 :
  - L'enfant n°27 qui était faible voit ses performances diminuer et passer dans le niveau très faible
  - Cinq enfants qui étaient faibles ou très faibles au CP le sont toujours au CE1 (sujets n° 25, 26, 28, 29, 31)
  - Le sujet n°30 qui était très faible améliore un peu ses performances mais ne rejoint pas la norme (niveau faible au CE1)
- Quatre enfants dans le niveau modérément faible au CP passent au niveau des faibles au CE1 (sujets n°18, 19, 21, 22).
- Quatre enfants modérément faibles, faibles ou très faibles au CP voient leur score se normaliser au CE1 (sujets n°20, 23, 24, 32).

Au total, **on observe diverses trajectoires d'évolution des enfants en difficulté au CP.**

Classement	CP				CE1			
	Groupe *	Numéro du sujet	Score composite brut	Score composite Percentile	Groupe *	Numéro du sujet	Score total Zareki brut	Score total Zareki Ecart-Type
1 er	2	1	100,00	100	2	1	154,5	2,5
2 ème	2	2	100,00	100	2	4	152	2,4
3 ème	2	3	99,73	99	2	16	147,5	2,21
4 ème	2	4	98,81	97	2	5	147	2,19
5 ème	2	5	98,63	96	2	3	145,5	2,14
6 ème	2	6	98,46	95	2	12	140	1,9
7 ème	2	7	98,15	94	2	10	139,5	1,89
8 ème	2	8	97,99	93	2	9	132,5	1,6
9 ème	2	9	97,59	92	2	11	131,5	1,56
10 ème	2	10	97,34	91	2	7	130	1,5
11 ème	2	11	96,47	90	2	14	125,5	1,36
12 ème	2	12	96,15	89	2	2	115	0,89
13 ème	2	13	96,06	88	2	8	113	0,8
14 ème	2	14	95,93	87	2	17	111	0,7
15 ème	2	15	95,28	85	2	15	101	0,31
16 ème	2	16	94,02	82	1	24	99,5	0,3
17 ème	2	17	94,00	82	2	6	99,5	0,25
18 ème	1	18	78,44	15	2	13	98,5	0,21
19 ème	1	19	78,06	15	1	20	95	0,07
20 ème	1	20	77,85	14	1	23	91	-0,1
21 ème	1	21	76,58	13	1	32	75,5	-0,7
22 ème	1	22	75,90	12	1	30	69	-1
23 ème	1	23	73,40	10	1	18	68	-1,04
24 ème	1	24	73,36	10	1	19	68	-1,04
25 ème	1	25	72,44	9	1	21	68	-1,04
26 ème	1	26	71,15	7	1	28	66,5	-1,1
27 ème	1	27	71,13	7	1	26	65,5	-1,14
28 ème	1	28	70,50	6	1	22	64	-1,2
29 ème	1	29	69,18	5	1	25	59	-1,41
30 ème	1	30	68,15	4	1	31	55,5	-1,55
31 ème	1	31	67,45	3	1	27	50,5	-1,76
32 ème	1	32	65,73	2	1	29	46	-1,94

\* 1 : "groupe des faibles", 2 : "groupe des forts" au CP

**Tableau n° 3 - Evolution des sujets en mathématiques du CP au CE1  
et classement du plus fort au plus faible en mathématiques**

## **2.2 Comparaison des groupes des « faibles » et des « forts » au CP par épreuve en mathématiques du CE1**

Les épreuves sont issues de deux batteries : le Zareki-R et le Tedi-math. Le Zareki-R a été administré dans sa totalité, mais les épreuves d'empans endroit et envers n'étant pas des épreuves purement arithmétiques, nous ne les avons pas prises en compte. Concernant le Tedi-math, seules les épreuves de comptage, calcul et transcodages ont été proposées.

Selon les principes généraux des tests d'hypothèses, nous testons la probabilité de l'hypothèse nulle, c'est-à-dire d'une absence de différence. Si la probabilité est grande, soit strictement supérieure à 0,01, alors on accepte l'hypothèse nulle, ce qui signifie qu'il n'y a pas de différence. **Quand la probabilité est petite, c'est-à-dire strictement inférieure à 0,01, alors il y a une différence significative.**

Nous avons comparé les moyennes des scores composites en CP des deux groupes des « faibles » (1) et des « forts » (2). Il s'agit du t de student pour échantillons indépendants. Les résultats montrent que **la différence entre les scores composites des enfants « forts » ou « faibles » est comme attendue significative au CP ( $p < 0,01$ ).**

Ensuite, notre objectif est de savoir **si la différence entre la moyenne du groupe des « forts » et celle des « faibles » reste significative au CE1** pour chaque épreuve arithmétique en CE1 (voir Tableau n° 4). En jaune sont notées les épreuves pour lesquelles la différence entre la moyenne des deux groupes n'est pas significative. Nous avons comparé deux groupes indépendants sur des variables quantitatives. Pour cela, nous avons appliqué deux analyses statistiques aux scores bruts. La première est le test paramétrique de Fisher, choisi pour sa fiabilité. La deuxième est le test non paramétrique de Mann-Whitney, plus approprié à la taille de notre échantillon.

Les deux analyses convergent. **Au CE1 la différence entre la moyenne du groupes des « forts » et celle du groupe des « faibles » est significative pour toutes les épreuves sauf pour les tâches de dénombrement et d'estimation visuelle de quantités.** Autrement dit, la moyenne du groupe des « faibles » et du groupe des « forts » est relativement proche pour ces deux épreuves.

Epreuve	Groupe*	Moyenne	Ecart-type	Moyenne / 100	Ecart-type / 100	p-level Fischer	p-level Mann et Withney
Tedi-math "Comptage"	1	9,3	1,53	78	13	0,009	0,005
	2	10,9	1,75	91	15		
Tedi-math "Transcodages"	1	31,2	7,05	78	18	0,000	0,000
	2	38,8	1,91	97	5		
Tedi-math "Opérations"	1	17,7	7,51	44	19	0,000	0,000
	2	33,5	4,37	84	11		
Zareki "Dénombrement"	1	4,7	1,18	78	20	0,210	0,052
	2	5,4	0,62	90	10		
Zareki "Comptage à rebours"	1	1,7	1,39	43	35	0,000	0,000
	2	3,4	0,78	85	20		
Zareki "Dictée"	1	5,6	3,02	35	19	0,000	0,000
	2	11,7	3,95	73	25		
Zareki "Lecture"	1	7,7	3,27	48	20	0,000	0,000
	2	13,7	2,85	86	18		
Zareki "Calcul mental"	1	11,5	8,13	26	18	0,000	0,000
	2	32,8	9,45	75	21		
Zareki "Positionnement de nombres sur une échelle"	1	9,8	4,54	41	19	0,000	0,000
	2	16,1	4,35	67	18		
Zareki "Comparaison de nombres à l'oral"	1	12,7	2	79	13	0,014	0,005
	2	13,8	1,9	86	12		
Zareki "Comparaison de nombres à l'écrit"	1	8,3	1,49	83	15	0,000	0,000
	2	9,8	0,43	98	4		
Zareki "Estimation visuelle de quantités"	1	3,1	1,34	62	27	0,091	0,145
	2	3,8	1	76	20		
Zareki "Estimation de quantités en contexte"	1	3,1	1,78	31	18	0,000	0,000
	2	6,7	2,72	67	27		
Zareki "Problèmes"	1	1,9	3,24	16	27	0,000	0,000
	2	7,7	2,85	64	24		
Zareki Total	1	69,4	15,42	43	9	0,000	0,000
	2	125,4	22,54	77	14		

\* 1 : "groupe des faibles", 2 : "groupe des forts" au CP

#### Tableau n° 4 - Analyses paramétrique de Fisher et non paramétrique de Mann-Withney

Cette absence de différence significative entre les moyennes des « forts » et des « faibles » aux épreuves de **dénombrement** et **d'estimation visuelle de quantités** peut s'expliquer par le fait que :

- **Le dénombrement est une activité saturée à cet âge.** Cela confirme ce que dit la littérature à savoir que la mise en œuvre des principes de Gelman et Gallistel (1978) est attestée entre 3 ans et demi et 4 ans. Par ailleurs, dans le livret du Zareki-R il est attesté que la majorité des élèves réussissent cette épreuve et que les principes de Gelman et Gallistel sont maîtrisés dès 6 ans.



- **l'estimation des quantités serait universelle, présente dès le plus jeune âge** d'après la littérature. En effet, c'est une capacité qui peut être acquise en dehors de l'école sans apprentissage explicite, même par des sujets qui ne savent pas compter (Deloche et al., 1999).

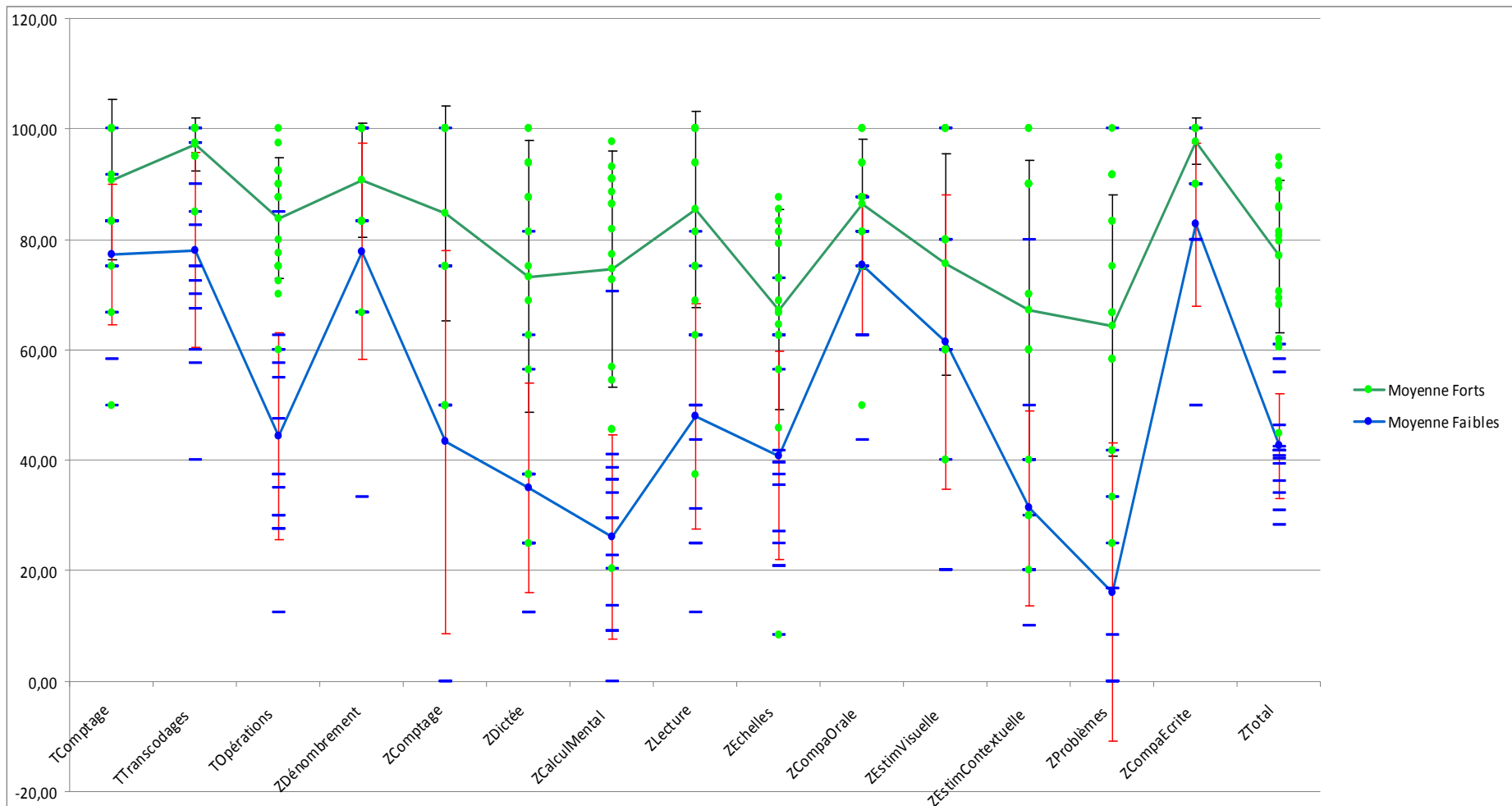
Il est intéressant de noter que pour la validation du Zareki-R, des corrélations entre les épreuves de ce test et les résultats scolaires en mathématiques (TAS Test des Acquisitions Scolaires) ont été calculées. Il en ressort que toutes les épreuves sont corrélées aux résultats sauf deux : le dénombrement et l'estimation visuelle de quantités. Ces deux tâches font partie des épreuves (avec l'estimation qualitative de quantités en contexte) des moins corrélées aux autres épreuves du Zareki-R (voir livret du Zareki-R).

Nous en déduisons que **le dénombrement et l'estimation visuelle de quantités sont maîtrisés par une grande majorité des enfants de CE1, qu'ils aient des compétences bonnes ou faibles en arithmétique.** Ces deux épreuves ne seraient donc pas liées au niveau de l'enfant dans les autres tâches puisqu'elles ne présentent plus de variance.

Les analyses statistiques des données de CP et CE1 révèlent que la tendance centrale des résultats des « faibles » aux différentes épreuves arithmétiques reste faible, et que la tendance centrale des résultats des « forts » reste bonne au CE1. Néanmoins, **la plupart de ces compétences sont en cours d'acquisition à cet âge.** De plus, Dowker (1998, 2005) indique que **les performances à différentes compétences varient considérablement chez tous les enfants dans les premières années de Primaire. Il paraît donc intéressant d'observer les écarts-types**, soit la dispersion des notes autour de la moyenne dans chaque groupe, **ainsi que l'étendue des notes.**

### **2.3 Analyse de la dispersion des notes au CE1 à travers les écarts-types dans le groupe des « forts » et des « faibles » au CP**

Pour cela, nous renvoyons au Tableau n° 4. Les moyennes et écart-types ont été harmonisés sur 100, afin de permettre des comparaisons quantitatives. En rouge sont inscrites les notes considérées comme peu dispersées autour de la moyenne. Pour cette analyse, nous nous référons également au Graphe n° 3 ci-dessous, où figurent deux courbes représentant la moyenne du groupe des « forts » (en vert) et celle du groupe des « faibles » (en bleu), ainsi que la répartition des enfants (nuage de points) et les écarts-types (lignes verticales « en moustaches ») pour chaque épreuve. Notons que pour une meilleure lisibilité du graphique, tous les scores ont ici aussi été harmonisés sur 100.



**Graphe n° 3 - Répartition des enfants « forts » ou « faibles » au CP par rapport à la moyenne de leur groupe au CE1**

**Dans le groupe des « faibles », les notes sont dispersées autour de la moyenne pour chaque épreuve.** Cela s'explique d'abord par le fait que ce sont des composantes arithmétiques en cours d'acquisition et que les enfants réussissent ou échouent dans des épreuves différentes. Ensuite, cela est lié à l'évolution des performances des enfants depuis le CP. En effet, si la moyenne du groupe indique la tendance centrale, une analyse plus fine des résultats montre que certains enfants ont vu leurs scores se normaliser au CE1 tandis que d'autres ont encore des scores faibles voire « pathologiques ». Par ailleurs, les difficultés des enfants faibles sont multiples. Ils constituent donc un groupe hétérogène. Ces observations seront développées à travers les études de cas.

**Dans le groupe des « forts », nous remarquons que pour quatre épreuves seulement, à savoir les transcodages et les opérations du Tedi-math, la comparaison nombres écrits et le dénombrement, les scores des enfants sont globalement proches de la moyenne.** Ainsi, les enfants du groupe des « forts » maîtrisent ces épreuves. Ces résultats ne sont pas surprenants car ces épreuves sont normalement saturées à cet âge.

**Pour les autres épreuves, les notes sont davantage dispersées autour de la moyenne.** Ainsi, il existe d'importantes différences intra-groupes. Cela s'explique par le fait que les enfants ayant un score total au Zareki dans la norme peuvent aussi rencontrer des difficultés dans certaines épreuves proposées dans ce test. Le livret du Zareki-R indique un effet de l'âge dans toutes les épreuves. D'après la littérature, pour les épreuves de :

- **Transcodages** : dans le livret du Zareki-R, il est indiqué que seules la lecture et l'écriture des nombres des dizaines est apprise au CE1. Par ailleurs, Fayol (2012) mentionne que beaucoup de jeunes français écrivent encore 42013 le nombre « quatre-vingt-treize » en deuxième année primaire.
- **Calcul mental** : à 6-7 ans environ 50 % des enfants réussissent les additions les plus faciles, et une minorité d'enfants parvient à résoudre les soustractions et les multiplications (voir livret du Zareki-R). Nous constatons chez les enfants des disparités dans l'utilisation des stratégies.
- **Comptage oral à rebours** : le livret du Zareki-R indique que cette épreuve est globalement réussie par les enfants de 7 à 8 ans. Nous interprétons les erreurs de certains enfants comme des diminutions de recrutement attentionnel du fait de l'apparence facile de cette tâche. En effet, certains échouent au premier essai et se reprennent au second.

- **Comptage du Tedi-math** : si de nombreux enfants « forts » ont un niveau de structuration de la chaîne verbale au stade terminal, nous avons néanmoins remarqué que certaines consignes de cette épreuve n'étaient pas toujours comprises (« compter à partir de », « compter de...à... »). De plus cette épreuve est très sensible, donc une erreur à un item donne rapidement un score standard faible.
- **Comparaison orale de nombres** : cette tâche implique la mémoire de travail. Des difficultés de mémoire de travail ou une considération de la longueur du nom du nombre au détriment de sa valeur réelle peuvent être à l'origine d'erreurs.
- **Estimation visuelle de quantités** : si cette capacité est très primitive, des élèves peuvent néanmoins se sentir en difficulté face à une épreuve pour laquelle ils ne peuvent pas donner de réponse précise (voir livret du Zareki-R).
- **Estimation qualitative de quantités en contexte** : cette épreuve nécessite une certaine maturité et des connaissances sur le monde (voir livret du Zareki-R). Il arrive que les élèves ne traitent que le nombre sans prise en compte du contexte, ce qui engendre des erreurs.
- **Positionnement de nombres sur une échelle** : Fayol (2012) indique que pour cette composante, le pourcentage d'erreurs passe de 14% en fin de première année primaire à 4% en troisième de Primaire. De fait, cet apprentissage est encore en cours d'acquisition au CE1.
- **Problèmes** : cette composante est une épreuve difficile pour les enfants de cet âge. En effet, seulement la moitié des enfants de 7ans à 7ans 11 mois ont une note supérieure à 3 à cette épreuve (voir livret du Zareki-R). De plus, le livret du Zareki mentionne également un effet du bilinguisme et du sexe (les garçons sont meilleurs que les filles).

Notons que, de manière générale, les enfants que nous avons évalués ont des âges, niveaux socioculturels et éducations variés. Cela participe donc aux différences intra-groupes dans les deux groupes.

### ***3. Etudes de cas***

L'analyse globale de notre échantillon montre que la différence entre la moyenne des « faibles » et celle des « forts » reste significative pour presque toutes les composantes arithmétiques testées avec le Zareki-R au CE1. En revanche, la moyenne qui indique la tendance centrale de nos deux groupes ne nous permet pas de connaître véritablement l'évolution de chaque enfant. Or, certains d'entre eux se dissocient de cette tendance générale, puisque d'un score composite faible (entre percentile 10 et 15) ou pathologique (score < au percentile 10) en mathématiques au CP, ils passent à un score total dans la norme au Zareki-R au CE1 (voir enfant n°23 et 24). Ainsi, il nous est apparu intéressant d'étudier les facteurs de telles progressions.

Par ailleurs, chez les enfants en difficulté, nous observons de nombreuses variabilités interindividuelles (voir enfants n°18 et 29). Cela confirmerait l'hypothèse de l'hétérogénéité des facteurs en cause dans les difficultés de l'apprentissage des mathématiques chez ces enfants. Il s'agirait **du niveau langagier** (Cohn, 1971 ; Manor et al., 2000), de **l'attention** (Badian, 1983 ; Gross-Tsur et al., 1996), de **la capacité de la mémoire de travail** (Swanson & German, 2006), et de **la vitesse de traitement** (Durand et al., 2005). Enfin, parmi les enfants testés, une élève a de bonnes compétences arithmétiques au CP et reste performante au CE1 malgré un important déficit langagier. Il nous a semblé intéressant d'observer comment ce déficit pouvait être compensé (enfant n°8).

Afin d'illustrer au mieux ces observations, nous avons choisi les cas des enfants suivants. **Nous parlerons de compétences faibles lorsque l'écart-type se situe entre -1.5 et -1 ET, ou entre le percentile 10 et 15, et de compétences pathologiques lorsque l'écart-type est strictement inférieur à -1.5 ET, ou le percentile strictement inférieur à 10.**

### 3.1 Enfant n°24 née en novembre 2005

Chaîne numérique orale	P35	Phonologie	0.5	
Comptage à rebours	0.5	Evocation lexicale	1.39	
Calcul mental		Compréhension lexicale	1.1	
- Tedi	P80	Expression syntaxique	1.12	
- Zareki	1.3	Compréhension syntaxique	1.64	
Comparaison de nombres à l'oral	-0.3	Langage écrit		
Echelles	-1.6	- Dictée	-0.72	
Estimation visuelle de quantités	-0.1	- Lecture**	26	bonne
Estimation de quantités en contexte	1.33	Mémoire verbale ***		
Dénombrement	-1.3	- MCT	6	
Transcodages		- MdT	5	
- Tedi	P30	Raisonnement visuo-spatial	-0.15	
- Dictée	-1.3	Figure de Rey		
- Lecture	-0.35	- Copie	-0.2	P50-75*
Comparaison de nombres à l'écrit	-0.91	- Mémoire	1.15	
Problèmes	2.8	Mémoire visuo-spatiale ***		
Total du Zareki	0.3	- MCT	4	
		- MdT	3	
		Praxies constructives	0.25	
		Praxies gestuelles	0.1	
		Attention auditive	-0.23	

\*score en temps \*\*note brute \*\*\*empan. Les autres scores sont exprimés en percentile (P) ou en écart-type.

L'enfant 24 est de sexe féminin. Elle est âgée de 7 ans 1 mois au moment de l'évaluation des compétences arithmétiques. Elle vient d'un milieu socioculturel élevé (CSP 2 et 3). Lors des épreuves, elle se montre coopérative.

#### 3.1.1 Evolution

En CP ses performances aux épreuves mathématiques sont faibles (score composite au Percentile 10). Cette année, elles sont dans la norme (score total au Zareki-R de 0,3 ET).

Nous remarquons une amélioration des performances **dans la même épreuve mathématiques testée** au CP et au CE1 à savoir en **comptage** (scores pathologiques en CP : P1 et score normal au CE1: P35).

#### 3.1.2 Compétences arithmétiques au CE1

*Tedi-math et Zareki-R « Comptage »* : les scores se situent dans la norme. **La structuration de la chaîne numérique verbale est donc au stade de la chaîne terminale et bidirectionnelle.** Cela est cohérent avec les bonnes compétences en langage oral et en mémoire de travail verbale.

*Tedi-math et Zareki-R « Calcul mental oral »* : l'enfant obtient un score dans la norme haute pour le calcul mental. Ceci met en évidence de bonnes capacités de mémoire de travail verbale.

*Zareki-R « Code analogique »* : les résultats aux épreuves de comparaison orale de nombres, d'estimation visuelle de quantités et d'estimation de quantités en contexte sont dans

la norme. En revanche, l'enfant obtient un score pathologique à l'épreuve de positionnement de nombres sur une échelle verticale. On en déduit **une difficulté à accéder à une représentation linéaire à partir de codes symboliques**. Autrement dit, elle a encore une représentation comprimée des grands nombres. De plus, elle obtient un score faible à l'épreuve de dénombrement. En effet, à deux reprises, nous notons des erreurs caractérisées par des oublis de points, traduisant une difficulté à conserver en mémoire de travail visuo-spatiale les éléments pointés et encore à pointer. Ainsi, les principes de Gelman sont acquis mais des difficultés de mémoire de travail visuo-spatiale entraînent des oublis de pointage. **Le code analogique est donc en partie fonctionnel mais son lien avec les codes symboliques n'est pas encore fiable. L'épreuve de dénombrement révèle des capacités d'organisation et de stratégies visuo-spatiales fragiles.**

*Tedi-math et Zareki-R « Transcodages »* : **les résultats de lecture de nombres sont dans la norme** et témoignent de bonnes capacités d'accès aux noms de nombres à partir du format arabe. En revanche, en dictée de nombre, l'enfant obtient un score faible révélant une **difficulté d'accès au format arabe**. Nous notons de nombreuses erreurs syntaxiques lors du transcodage des unités numératives (un ajout de zéro : « cent soixante-neuf » écrit 1069, un ajout de 1 pour cent : « six cent cinquante-trois » écrit 6153 et des erreurs lexicales dues à un transcodage erroné d'une primitive lexicale (Deloche & Seron 1982) : « deux-cents » écrit 102 et « cent cinquante » écrit 500. Néanmoins ces résultats sont à relativiser puisque si les structures à deux chiffres sont maîtrisées aux alentours de 7ans, les structures à trois chiffres sont encore en voie d'acquisition (voir partie théorique). D'autant plus que ces épreuves ont été proposées en décembre, donc en début d'année scolaire.

*Zareki-R « Comparaison de nombres à l'écrit »* : le score à cette épreuve impliquant la compréhension du système de position est dans la norme.

*Zareki-R « Problèmes »* : **les résultats à cette épreuve sont excellents** et traduisent de bonnes capacités de raisonnement, de traitement du langage oral, de mémoire de travail verbale et de flexibilité mentale.

### 3.1.3 Contexte cognitif général

Tous les processus cognitifs intervenant dans la cognition arithmétique sont effectifs chez cette enfant à savoir la mémoire à court terme et les mémoires de travail de verbale et visuo-spatiale, l'attention auditive, les capacités visuo-spatiales (scores dans la norme en raisonnement visuo-spatial, reproduction de la figure de Rey et praxies constructives) et le langage oral et écrit.



En conclusion, de nombreuses composantes concernant le traitement du nombre et du calcul sont maîtrisées chez cette enfant.

**L'utilisation du code verbal est fonctionnelle.** En effet, la structuration de la chaîne se situe au stade terminal. De plus, de nombreux faits arithmétiques et des algorithmes sont connus et facilement résolus, traduisant de bonnes connaissances déclaratives et procédurales.

**Les transcodages** montrent des capacités de lecture dans la norme témoignant d'un accès facile aux noms de nombres à partir du format arabe. Par ailleurs, en dictée nous relevons un score faible caractérisé par des erreurs lexicales et syntaxiques. Toutefois celles-ci sont à relativiser, les items concernés étant des nombres à trois chiffres encore en voie d'acquisition à cet âge et d'autant plus à cette période de l'année (décembre). Le score en comparaison de nombres arabes montre que le système de position est compris. **La manipulation du code arabe est donc effective.**

Le **code analogique est fonctionnel** mais son accès à partir d'un code symbolique n'est pas encore représenté de façon linéaire. Cependant, en référence au modèle développemental de la cognition numérique à quatre paliers (Von Aster & Shalev, 2007), **les codes verbal et arabe étant fonctionnels**, cette représentation mentale abstraite et spatiale de l'étendue des nombres devrait s'améliorer avec l'âge. Nous remarquons également un score faible au dénombrement. En effet, les principes de Gelman sont acquis mais l'enfant commet des erreurs caractérisées par des oublis de points, lesquelles traduisent une fragilité de mise en œuvre de la mémoire de travail visuo-spatiale avec cependant des performances en mémoire de travail visuo-spatiale dans la norme (empan de 4 à l'endroit et 3 à rebours à l'épreuve des Cubes de Corsi).

Enfin, elle obtient d'excellents résultats en résolution de problèmes traduisant de bonnes capacités de raisonnement, de traitement du langage oral, de mémoire de travail verbale.

Ainsi, cette élève qui était dans le groupe des faibles en CP obtient des scores dans la norme au CE1. Notons que de nombreux processus cognitifs sont présents chez celle-ci, parmi lesquels l'attention, la mémoire de travail, les fonctions exécutives ainsi que le langage oral et écrit. Ce résultat concorde avec l'idée de nombreux auteurs, selon lesquels la maturation des capacités cognitives de haut niveau sont un prérequis à la mise en place et au développement des représentations numériques. Nous pouvons poser l'hypothèse que cette élève était jeune au CP, puisque née en fin d'année, mais que ses bonnes compétences attentionnelles, de mémoire de travail et exécutives lui ont permis de compenser au CE1. Parmi les facteurs

d'évolution, notons également une amélioration des capacités visuo-spatiales. En effet, les scores pathologiques aux épreuves de raisonnement visuo-spatial et de praxies constructives de l'EDA de l'an dernier sont cette année dans la norme. Cet exemple d'évolution confirme l'idée de Geary (2000) selon lequel chez certains enfants les difficultés ne sont pas stables entre les grades 1 et 2. D'après lui, il est probable que certains évoluent et que d'autres soient mal identifiés au départ, ce qui n'est pas exclu pour cette enfant. Notons par ailleurs qu'elle fait partie d'une école de bon niveau (Keller), ce qui a pu contribuer favorablement à son évolution.

## 3.2 Enfant n°23 née en mai 2005

Chaîne numérique orale	P≤1	Phonologie	0.5	
Comptage à rebours	0.5	Evocation lexicale	-2.8	
Calcul mental	P25	Compréhension lexicale	-1.4	
- Tedi	-0.31	Expression syntaxique	-2.45	
- Zareki	0.64	Compréhension syntaxique	0.93	
Comparaison de nombres à l'oral	0.17	Langage écrit		
Echelles	1.9	- Dictée	-1.86	
Estimation visuelle de quantités	-1.17	- Lecture**	16	moyenne
Estimation de quantités en contexte	-0.2	Mémoire verbale ***		
Dénombrement		- MCT	4	
Transcodages	P100	- MdT	3	
- Tedi	-0.2	Raisonnement visuo-spatial	-0.38	
- Dictée	-0.46	Figure de Rey		
- Lecture	0.91	- Copie	0.6	P50-75*
Comparaison de nombres à l'écrit	-1.17	- Mémoire	0	
Problèmes		Mémoire visuo-spatiale ***		
Total du Zareki	-0.1	- MCT	4	
		- MdT	4	
		Praxies constructives	0.25	
		Praxies gestuelles	0.6	
		Attention auditive	-0.8	

\*score en temps \*\*note brute \*\*\*empans. Les autres scores sont exprimés en percentile (P) ou en écart-type.

L'enfant n°23 est de sexe féminin, droitère. Lors de l'évaluation des compétences arithmétiques, elle est âgée de 7 ans 7 mois. Elle est bilingue et parle espagnol à la maison. Elle se montre agréable et très consciencieuse. Elle exprime son goût pour les mathématiques.

### 3.2.1 Evolution

**Elle obtient un score composite pathologique au CP (Percentile 10), et le score total au Zareki est dans la moyenne au CE1 (-0.1 ET).**

### 3.2.2 Compétences arithmétiques au CE1

*Tedi-math et Zareki-R « Comptage »* : le score du Tedi est pathologique. L'enfant échoue à la tâche de comptage à partir d'une borne inférieure, mais réussit entre deux bornes. On en déduit que cet échec est lié à une mauvaise compréhension de la consigne. Par ailleurs, le comptage à rebours est maîtrisé. **La structuration de la chaîne numérique orale se situe donc au stade terminal.** D'autre part, on constate une connaissance de l'algorithme de comptage par 10, mais pas par 2.

*Tedi-math et Zareki-R « Calcul mental oral »* : les scores sont normatifs (moyenne basse au Tedi). Elle utilise préférentiellement le surcomptage pour résoudre les additions mais on constate le stockage **de faits arithmétiques en mémoire à long terme, ainsi que de connaissances conceptuelles.** Elle peut également effectuer des décompositions pour accéder aux opérations plus complexes (exemples : 20+30, 24+18), **stratégie d'un niveau élaboré.** On observe une **dissociation des performances entre les additions et les**

**soustractions, au détriment de ces dernières.** En effet, elle procède par décrémentation, **stratégie normale à cet âge, mais se révélant coûteuse** et peu efficace même pour les petites opérations (exemple : 9-5).

*Zareki-R « Code analogique »* : les scores obtenus en comparaison orale de nombres, estimation visuelle de quantités et dénombrement sont normatifs. **Le code analogique est donc préservé.** Grâce à l'épreuve de positionnement de nombres sur une échelle, on constate la présence **d'une représentation linéaire des codes symboliques effective.** Le score en estimation qualitative de quantités en contexte est faible, en lien avec des difficultés de compréhension du langage. Les autres épreuves étant réussies, nous considérons ce score comme étant peu significatif.

*Tedi-math et Zareki-R « Transcodages »* : les scores sont situés dans la norme. **Les compétences en dictée sont préservées.** Notons la présence de chiffres écrits en miroir. **Les capacités de lecture sont épargnées également.** Elle accède en partie aux nombres à trois chiffres, conformément au niveau CE1 de décembre.

*Zareki-R « Comparaison de nombres à l'écrit »* : le score est dans la norme. Cela corrobore l'acquisition du code arabe, traduisant une bonne compréhension du système positionnel.

*Zareki-R « Problèmes »* : le score est faible. Elle retient les données du problème, mais **les stratégies immatures utilisées pour résoudre les soustractions sont coûteuses et l'empêchent d'accéder au résultat.** D'autre part, **le raisonnement opératoire est juste pour la plupart des problèmes,** et peut être verbalisé clairement.

Au vu de ces observations, ainsi que de la nécessité de répéter systématiquement l'énoncé, on constate une **charge en mémoire de travail verbale, en lien avec des stratégies de calcul mental des soustractions immatures.**

### 3.2.3 Contexte cognitif général

Cette enfant présente de bonnes capacités visuo-spatiales (scores normatifs en raisonnement visuo-spatial, reproduction de la figure de Rey et praxies constructives). L'attention auditive l'est également (score normal). Les empan de mémoire à court terme et de travail visuo-spatiales et verbales sont dans la norme (empan à 4, sauf l'envers chiffré qui est à 3). Une évaluation des fonctions langagières, réalisée à l'hôpital Bicêtre (mars 2013), révèle l'existence d'un **trouble du langage oral touchant principalement l'expression** (scores pathologiques en expression, faibles en compréhension), **ainsi que des difficultés**

**d'acquisition du langage écrit** (scores faible en dictée, moyen en lecture mais associé à une lenteur importante).

Pour conclure, **l'utilisation du code verbal se révèle fonctionnelle malgré le déficit de langage oral**. En effet, la structuration de la chaîne se situe au stade terminal, autrement dit celle-ci est arithmétisée et bidirectionnelle. Les calculs sont dans la norme, l'enfant utilise diverses stratégies en fonction des opérations. Notons que si les stratégies sont élaborées pour les additions, ces dernières ne sont pas efficaces dans les soustractions. En effet, l'enfant est lent et ne parvient pas forcément au bon résultat, Nous en déduisons une difficulté de manipulation de la réversibilité opératoire. Par ailleurs, des faits arithmétiques sont récupérés directement en mémoire à long terme et l'enfant utilise ses connaissances conceptuelles de règles algébriques.

Les transcodages montrent des performances dans la norme. Ainsi, la mise en correspondance du code verbal et du code écrit est effective. Par ailleurs, les scores dans la norme en comparaison écrite montrent que **le code arabe est correctement appréhendé et que le système positionnel est compris**.

**Le code analogique est fonctionnel et une représentation linéaire à partir des codes symboliques est possible**.

Enfin, les problèmes montrent de bonnes capacités de raisonnement. En revanche, la résolution de ces derniers est entravée par l'utilisation de stratégies de calcul des soustractions immatures et coûteuses.

**Cette enfant, qui était faible en CP, voit ses scores se normaliser au CE1**. Elle présente **des capacités cognitives transversales** (attention, mémoire de travail, raisonnement, fonctions visuo-constructives). Elles **ont permis de soutenir l'apprentissage des compétences arithmétiques, et notamment des codes, en dépit des difficultés d'acquisition du langage oral et écrit**. Ses capacités de raisonnement lui permettent également de compenser la charge en mémoire de travail verbale. Nous observons cela en calcul mental, où la dissociation entre les performances en additions et en soustractions est liée au niveau d'élaboration des stratégies.

Notons que ces apprentissages s'inscrivent dans un contexte de **bilinguisme**. En cela, nous soulignons le fait que pour cette enfant **l'apprentissage des mathématiques se déroule bien malgré les obstacles** (déficit langagier, bilinguisme) **qui pourraient l'entraver**.

### 3.3 Enfant n°18 née en juin 2005

Chaîne numérique orale	P10	Phonologie	-0.75	
Comptage à rebours	-1.64	Evocation lexicale	-4.72	
Calcul mental		Compréhension lexicale	-1.9	
- Tedi	P10	Expression syntaxique	-3.6	
- Zareki	-1.55	Compréhension syntaxique	-0.14	
Comparaison de nombres à l'oral	0.64	Langage écrit		
Echelles	-0.88	- Dictée	-1.86	
Estimation visuelle de quantités	-0.1	- Lecture**	10	faible
Estimation de quantités en contexte	-0.75	Mémoire verbale***		
Dénombrement	-1.3	- MCT	4	
Transcodages		- MdT	4	
- Tedi	P100	Raisonnement visuo-spatial	-0.82	
- Dictée	0	Figure de Rey		
- Lecture	-0.35	- Copie	-0.6	P25-50*
Comparaison de nombres à l'écrit	0	- Mémoire	-0.8	
Problèmes	-0.5	Mémoire visuo-spatiale ***		
		- MCT	4	
Total du Zareki	-1.04	- MdT	4	
		Praxies constructives	0.25	
		Praxies gestuelles	-1.4	
		Attention auditive		

\*score en temps \*\*note brute \*\*\*empans. Les autres scores sont exprimés en percentile (P) ou en écart-type.

L'enfant n°18 est de sexe féminin, droitère. Lors de l'évaluation des compétences arithmétiques, elle est âgée de 7 ans 6 mois. Elle est issue d'un milieu socioculturel de bas niveau (CSP 6 et 8). Lors des évaluations, elle se montre volontaire et coopérative. Elle semble consciente de ses difficultés.

#### 3.3.1 Evolution

En CP, ses performances aux épreuves mathématiques sont dans la moyenne basse des enfants du même niveau (score composite au Percentile 15). Cette année, **elles demeurent faibles** (score total du Zareki à -1.04 ET).

Par ailleurs, elle possédait une chaîne numérique orale conforme au niveau des enfants de son âge, mais ce n'est plus le cas au CE1 (score au comptage du Tedi-math en CP : P100 ; en CE1 : P10).

#### 3.3.2 Compétences arithmétiques au CE1

*Tedi-math et Zareki-R « Comptage »* : les scores sont pathologiques. Lors de l'épreuve de comptage entre deux bornes, elle ne respecte pas la borne supérieure pour le premier item et continue à compter, mais elle réalise son erreur et s'autocorrige correctement. Le deuxième item est réussi. On en déduit qu'elle sait compter entre deux bornes et que l'erreur au premier item est due à une baisse d'attention. En revanche, une partie des items est échouée au comptage à rebours au Tedi et au Zareki. Cela est donc en cours d'acquisition. Au total, **la**

**structuration de la chaîne se situe au stade sécable. Par ailleurs, l'enfant connaît les algorithmes de comptage par pas de 2 et 10.**

*Tedi-math et Zareki-R « Calcul mental oral »* : les scores sont pathologiques. Elle procède par surcomptage pour les additions et décrémentation pour les soustractions. **Ces stratégies sont normales pour son âge, mais les nombreux temps de latence et erreurs montrent qu'elles sont coûteuses et peu efficaces.** Pour la décrémentation, cela est lié aux difficultés de comptage à rebours. Ensuite, on observe également **une quantité restreinte de faits arithmétiques** en mémoire à long terme. En revanche, **les connaissances conceptuelles relatives aux additions et soustractions sont acquises** (commutativité, neutralité du zéro).

Notons que lors de l'épreuve du Zareki, l'enfant répète quasi systématiquement l'énoncé arithmétique présenté oralement (versus présentation écrite du Tedi). Cela, ainsi que l'épreuve de comptage à rebours, révèle **des difficultés de recrutement attentionnel ou d'automatisation des connaissances.**

*Zareki-R « Code analogique »* : les scores en épreuves de comparaison orale de nombres, d'estimation de quantités visuelle et en contexte sont normaux. **Le code analogique est donc préservé, et peut être associé aux codes arabe et verbal.** L'épreuve de positionnement de nombres sur une échelle révèle que **la représentation linéaire des codes symboliques est possible.** Le score en dénombrement est faible en raison des difficultés d'organisation spatiale pour les items où les points sont nombreux et disposés de façon aléatoire. Cela traduit une charge en mémoire de travail visuo-spatiale (points comptés et à compter), bien que l'empan visuo-spatial envers soit à 4. Cela est également à mettre en lien avec le déficit d'attention visuelle évoqué plus loin. Cependant on constate que **les principes de Gelman sont acquis, en particulier celui de cardinalité.**

*Tedi-math et Zareki-R « Transcodages »* : les scores sont dans la norme. L'épreuve de lecture montre de **bonnes capacités à accéder au nom des nombres à partir du format arabe.** On relève une erreur d'identification visuelle (2/5), corrigée spontanément. **Les performances en dictée sont également préservées.** Les nombres à trois chiffres sont en cours d'acquisition, conformément au niveau de cette enfant.

*Zareki-R « Comparaison de nombres à l'écrit »* : le score est normatif. Cela vient confirmer l'acquisition du code arabe, montrant que le système de position est compris.

*Zareki-R « Problèmes »* : le score est normatif. **Elle trouve le raisonnement opératoire adéquat pour la plupart des problèmes,** qu'elle verbalise en terme de retrait ou d'ajout. Cependant, elle n'accède pas aux résultats en raison de difficultés à retenir les données numériques de l'énoncé, et de calcul mental comme observé auparavant. On

remarque également qu'elle nécessite souvent qu'on lui répète l'énoncé. Au total, cela révélerait à nouveau des difficultés de recrutement attentionnel ou d'automatisation des connaissances, comme observé lors de l'épreuve de comptage à rebours et de calcul mental. Notons que le recours aux doigts pour calculer s'avère être une suppléance efficace à ces difficultés.

### 3.3.3 *Contexte cognitif général*

Les capacités visuo-spatiales sont dans la norme (raisonnement visuo-spatial, reproduction de la figure de Rey, praxies constructives). Les empan de mémoire à court terme et de travail sont homogènes et dans la moyenne en modalité visuo-spatiale et verbale (empan à 4). Les capacités d'attention auditive sont préservées. En revanche, au cours du bilan logico-mathématique on observe des difficultés de recrutement attentionnel, en lien avec un manque d'automatisation des connaissances arithmétiques. De plus, une évaluation effectuée à l'hôpital Bicêtre en janvier 2013 nous informe que l'attention visuelle est faible. L'évaluation signale également **un trouble du langage oral** (tous les scores sont pathologiques, sauf en phonologie et compréhension syntaxique). L'enfant présente aussi des **difficultés pour l'acquisition du langage écrit** (scores pathologiques associés à une grande lenteur et sans accès au sens), dépistées au CP.

Pour conclure, **ce sont les difficultés d'acquisition du code du code verbal qui sont prégnantes chez cet enfant**. En effet, la chaîne numérique verbale se situe au stade sécable, les procédures de comptage sont coûteuses et peu efficaces, et les faits arithmétiques enregistrés en mémoire à long terme sont réduits. Cela est à rapprocher des difficultés de recrutement attentionnel, du manque d'automatisation des connaissances, ainsi que des difficultés en langage oral.

Par ailleurs, **le code analogique semble préservé avec une bonne représentation linéaire des codes symboliques**. Notons cependant des erreurs de dénombrement caractérisées par des difficultés d'organisation visuo-spatiales.

Enfin, **l'utilisation du code arabe est effective**. En effet, les transcodages montrent des performances dans la norme et la comparaison de nombres écrits indique que le système de numération de position est compris.

**Cette enfant était « faible » en mathématiques et reste faible. Les fonctions cognitives transversales ne sont que partiellement présentes** (attention visuelle et mémoire de travail verbale faibles), **et la maturité des lobes frontaux à cet âge limitent les**



**possibilités de compensation** (Flessas, 2009). Aussi, le déficit langagier retentit sur les capacités de calcul mental. Cette influence pourrait s'étendre aux autres activités numériques à l'avenir : transcodages de grands nombres nécessitant un traitement syntaxique et un maintien en mémoire plus importants, problèmes complexes et impliquant d'être lus. Cette gêne serait liée à l'augmentation des exigences scolaires, pouvant engendrer une charge cognitive dans les apprentissages, et à la nécessité de traiter les difficultés d'acquisition du langage écrit en priorité.

Concernant la dissociation entre la maîtrise du code arabe et les difficultés d'acquisition du langage écrit, la **présence de certaines capacités cognitives** (attention auditive, mémoire de travail visuo-spatiale, raisonnement, fonctions visuo-spatiales) **auraient permis à l'enfant d'accéder à ces compétences numériques.**

### 3.4 Enfant n°29 né en avril 2005

Chaîne numérique orale	P≤1	Phonologie		0.5
Comptage à rebours	-1.64	Evocation lexicale		-1.67
Calcul mental	P≤1	Compréhension lexicale		-1.4
- Tedi	-1.55	Expression syntaxique		-1.74
- Zareki	0.33	Compréhension syntaxique		-1.21
Comparaison de nombres à l'oral	-2.54	Langage écrit		
Echelles	0.9	- Dictée		- 4.41
Estimation visuelle de quantités	-0.33	- Lecture**	faible	11
Estimation de quantités en contexte	0.89	Mémoire verbale ***		
Dénombrement		- MCT		4
Transcodages	P≤1	- MdT		3
- Tedi	-1.3	Raisonnement visuo-spatial		-0.38
- Dictée	-2.51	Figure de Rey		
- Lecture	-3.64	- Copie	P50-75*	-1.3
Comparaison de nombres à l'écrit	-0.17	- Mémoire		-0.4
Problèmes		Mémoire visuo-spatiale ***		
Total du Zareki	-1.94	- MCT		4
		- MdT		3
		Praxies constructives		-2.25
		Praxies gestuelles		-0.4

\*score en temps \*\*note brute \*\*\*empans. Les autres scores sont exprimés en percentile (P) ou en écart-type.

L'enfant n°29 est de sexe masculin, droitier. Il est âgé de 7 ans 7 mois au moment de l'évaluation des compétences arithmétiques. Il vient d'un milieu socioculturel modeste. Lors des épreuves, il se montre coopératif mais anxieux. En effet, il a régulièrement besoin de réassurance de la part de l'adulte.

#### 3.4.1 Evolution

En CP, ses performances aux épreuves mathématiques sont pathologiques (score composite au Percentile 5). Cette année, elles demeurent pathologiques (score total au Zareki-R de -1,94 ET).

Nous remarquons des **performances stables dans la même épreuve mathématiques testée** au CP et au CE1 à savoir en **comptage** (scores très faibles en CP : P1 et CE1 : ≤P1).

#### 3.4.2 Compétences en CE1

*Tedi-math et Zareki-R « Comptage »* : les scores sont pathologiques. Il ne peut compter avec une borne inférieure. En revanche, il peut compter entre deux bornes. Nous en déduisons que l'échec à l'item « compter avec une borne inférieure » relève d'une incompréhension de la consigne. Par ailleurs, le rebours n'est possible qu'avec les petits nombres et sous un contrôle attentionnel important. En effet, seuls sont réussis les items : compter à partir de 7 et 15 au Tedi-math. On en conclut que la **structuration de la chaîne se situe au stade sécable**. Notons également une méconnaissance des algorithmes de calcul par pas de 2 et 10.

*Tedi-math et Zareki-R « Calcul mental oral »* : les scores sont pathologiques. Très peu d'additions et de soustractions sont résolues puisque l'enfant ne peut recourir à ses doigts dans ces épreuves. Pour les additions, celles qui sont réussies sont soit des doubles ( $2+2=4$  ;  $4+ \dots=8$ ) ou une addition de type  $20+3$ , pour laquelle l'enfant s'est certainement appuyé sur la mise en œuvre de la syntaxe additive verbale sans recours au calcul. Notons que pour les erreurs, certaines sont à 1 près ( $5+8=12$  ;  $12 +6=17$ ) et témoignent de procédures immatures par surcomptage probablement à partir du premier opérande (stratégie du on). Concernant les soustractions, peu d'items sont réussis. Ils concernent les soustractions  $25-12$ ,  $4-0$  et  $40-20$  et témoignent vraisemblablement d'un recours à une représentation spatiale en calcul écrit. Par ailleurs, aucune multiplication n'est connue, ce qui est normal à cet âge. **Les faits arithmétiques en mémoire à long terme ainsi que les connaissances conceptuelles sont donc très réduites. On en déduit que de faibles capacités de mémoire de travail verbale sont à l'origine de ces difficultés et limitent à la fois le stockage des faits arithmétiques et leur manipulation lors de la mise en œuvre des procédures de calcul mental.**

*Zareki-R « Code analogique »* : l'enfant obtient un score pathologique à l'épreuve de positionnement de nombres sur une échelle verticale. On en déduit **une difficulté à accéder à une représentation linéaire à partir de codes symboliques**. Autrement dit, il a encore une représentation comprimée des grands nombres. Ce constat est cohérent avec le modèle développemental de la cognition numérique à quatre paliers (Von Aster et Shalev, 2007), lequel rapporte que la représentation abstraite et spatiale des nombres suppose au préalable l'élaboration des systèmes verbaux et en chiffres arabes. Or, nous verrons que la maîtrise de ces codes est faible. En revanche, les scores aux épreuves de dénombrement, de comparaison orale de nombres, d'estimation visuelle de quantités et d'estimation qualitative de quantités en contexte sont dans la norme. **Le code analogique est donc préservé mais le lien entre les codes symboliques et analogique n'est pas encore fiable**

*Tedi-math et Zareki-R « Transcodages »* : les résultats sont faibles en dictée et pathologiques en lecture. **La dictée révèle des difficultés d'accès au format arabe**. On observe des erreurs de type syntaxique (zéros ajoutés : « vingt-cinq » écrit 205, erreurs de lexicalisation : « quatre-vingts » écrit 4320). Notons une écriture en miroir des nombres 7 et 3. Par ailleurs, **la lecture de nombres témoigne d'une difficulté à accéder aux noms de nombres** (difficulté d'évocation lexicale déjà présente en CP, voir le score pathologique au RAN) et à appréhender correctement le code arabe qui implique la compréhension de la valeur positionnelle des chiffres composant les nombres. On observe des erreurs de type

lexical (47 lu 87, 80 lu 68). Les erreurs sur les nombres à trois chiffres ne sont pas prises en compte puisque les structures de ceux-ci sont encore en voie d'acquisition à cet âge.

*Zareki-R « Comparaison de nombres à l'écrit »*: cette épreuve révèle un score pathologique. En effet, l'enfant semble ne considérer que le dernier chiffre des nombres (298 plus grand que 511). Le principe de position n'est donc pas compris. Ce score est à mettre en lien avec les difficultés d'appréhension du code arabe mises en évidence dans les transcodages.

*Zareki-R « Problèmes »*: les résultats à cette épreuve sont dans la norme. Nous observons des stratégies de comptage immatures avec un recours au doigt qui, en soulageant la mémoire de travail verbale et en libérant des ressources attentionnelles, se révèle une suppléance efficace au déficit de calcul mental. Ce score, comme celui de l'estimation qualitative de quantités en contexte témoigne de **capacités de raisonnement préservées**, lesquelles peuvent permettre une amélioration du traitement numérique lorsque les nombres sont mis en contexte. (Roux, 2011). Pourtant le raisonnement dépend fortement de capacités en langage oral. De telles discordances peuvent s'expliquer par le fait que cet enfant ne parvient pas toujours à mobiliser sa pensée.

### 3.4.3 Contexte cognitif général

Les capacités de mémoire à court terme et de mémoires de travail verbale et visuo-spatiale sont dans la norme. Cependant, notons que ces scores ne concordent pas avec le score pathologique indiqué par l'indice IMT d'un WISC passé récemment (voir ci-dessous). Il se peut que l'enfant ait davantage mobilisé ses ressources attentionnelles lors de notre passation de mémoire de travail verbale. Par ailleurs, les autres capacités cognitives intervenant dans la cognition arithmétique telles que les capacités visuo-spatiales sont faibles (reproduction de la figure de Rey) voire pathologiques (praxies constructives). Les performances langagières sont également pathologiques.

En conclusion, le **code analogique semble préservé**. Aux épreuves de dénombrement, il se montre performant, les principes de Gelman sont donc acquis. Cependant, on note un accès limité à la représentation linéaire à partir des codes symboliques.

Par ailleurs, c'est **l'utilisation du code verbal qui semble la plus faible** en lien avec la faible mémoire de travail verbale. La structuration de la chaîne se situe au stade sécable, le rebours à partir de 23 étant impossible. La chaîne est stable et conventionnelle jusque 40, au-delà apparaissent des erreurs de type « quarante dix » révélant une faiblesse du stock lexical

des noms de nombres. De telles erreurs ne devraient plus se produire au CE1 et témoignent d'une difficulté de mise en œuvre du lexique et de la syntaxe des nombres en production. Les **connaissances arithmétiques sont très réduites** : les algorithmes de calcul (algorithmes de 2 en 2 et de 10 en 10) ne sont pas automatisés. Les connaissances déclaratives et procédurales mobilisées dans la résolution d'opérations d'additions et de soustractions en calcul mental sont très réduites. Pour les additions résolues, l'enfant s'appuie vraisemblablement sur la syntaxe auditive verbale ( $20+3=23$ ). Des erreurs de résultats à 1 près ( $13+6=17$ ) révèlent des procédures de comptage immatures et inefficaces. Pour les soustractions, la seule réussite montre l'utilisation de procédures de calcul écrit avec un recours à une représentation spatialisée (25-12).

**Les transcodages sont faibles en dictée et pathologiques en lecture.** Ils se caractérisent par des erreurs de type lexical et syntaxique. La lecture de nombres met en évidence des difficultés d'accès aux noms de nombres comme vu dans la récitation de la chaîne.

Par ailleurs, la dictée de nombres et la comparaison écrite de nombre révèlent **une maîtrise du code arabe faible**. On remarque des difficultés d'acquisition de la notion de rang. En effet, l'enfant commet des erreurs syntaxiques pour les structures à deux chiffres (25 écrit 205) et ne considère que les chiffres des unités pour décider quel nombre est le plus grand. Seuls sont réussis les items comportant un nombre de chiffres différent, la taille du nombre fournit la réponse par simple perception visuelle.

Les problèmes mettent en évidence des capacités de raisonnement adaptées à un niveau de résolution peu complexe. En effet, les problèmes réussis sont de type changement avec recherche de l'état final ou de la transformation qui conduisent respectivement à 100% et 56% de réussite au CP (Riley, Greeno, et al. 1983). Notons que le recours aux doigts se révèle une aide précieuse.

**Cet enfant qui était dans le groupe des faibles reste faible au CE1.** Il s'avère que les difficultés de cet enfant s'inscrivent dans le cadre d'un **retard global**. En effet, les résultats du WISC révèlent une homogénéité des difficultés. Elles concernent les compétences langagières (ICV= 76), de raisonnement perceptif (IRP=71), de vitesse de traitement (IVT=64) et de mémoire de travail (IMT=76). Nous remarquons également une fragilité psychologique caractérisée par un besoin de réassurance de la part de l'adulte.

**Par ailleurs, comme vu dans le contexte cognitif général** de nombreux facteurs sont en cause parmi les difficultés observées aux épreuves logico-mathématiques parmi lesquels : **le langage oral** (scores pathologiques aux épreuves de l'EDA sauf en phonologie et

compréhension syntaxique), **le langage écrit** (score faible en lecture), **la mémoire de travail** (IMT=76) **et les aptitudes visuo-spatiales** (scores faibles en reproduction de la figure de Rey et pathologiques à l'épreuves de praxies constructives lesquels concordent avec le faible indice de raisonnement perceptif du WISC).

**En revanche, les praxies gestuelles sont préservées** (scores dans la norme) **et le recours aux doigts s'avère efficace chez cet enfant, critère à prendre en compte pour la remédiation.**

### 3.5 Enfant n°8 née en septembre 2005

Chaîne numérique orale	P10	Phonologie	-4.5	
Comptage à rebours	1.21	Evocation lexicale	-2.5	
Calcul mental		Compréhension lexicale	0.6	
- Tedi	P70	Expression syntaxique	-3.6	
- Zareki	0.56	Compréhension syntaxique	-1.6	
Comparaison de nombres à l'oral	0.33	Langage écrit		
Echelles	1.42	- Dictée	-0.27	
Estimation visuelle de quantités	1.9	- Lecture**	32	moy. forte
Estimation de quantités en contexte	-1.17	Mémoire verbale ***		
Dénombrement	0.89	- MCT	4	
Transcodages		- MdT	3	
- Tedi	P100	Raisonnement visuo-spatial	0.73	
- Dictée	0	Figure de Rey		
- Lecture	1.27	- Copie	-1.3	P10-25*
Comparaison de nombres à l'écrit	0.91	- Mémoire	0.8	
Problèmes	-0.17	Mémoire visuo-spatiale ***		
		- MCT	6	
Total du Zareki	0.8	- MdT	6	
		Praxies constructives	0.25	
		Attention auditive	0.36	

\*score en temps \*\*note brute \*\*\*empans. Les autres scores sont exprimés en percentile (P) ou en écart-type.

L'enfant n°8 est de sexe féminin, droitère. Lors de l'évaluation des compétences numériques, elle est âgée de 7 ans 2 mois. Elle est bilingue et parle chinois à la maison. Lors des évaluations, elle se montre très enthousiaste pour les mathématiques, et rigoureuse dans l'ensemble.

#### 3.5.1 Evolution

En CP, elle présente des compétences arithmétiques dans la moyenne des enfants du même âge (score composite en mathématiques au Percentile 93). Toutes les épreuves sont réussies, mis à part un score pathologique en comparaison de collections. Cette année, **elle demeure dans la moyenne forte** (score total du Zareki à 0.8 ET).

#### 3.5.2 Compétences arithmétiques au CE1

*Tedi-math et Zareki-R « Comptage »* : le score au Tedi est pathologique. A la tâche du Tedi de comptage entre une borne inférieure et supérieure, le premier item est échoué mais pas le deuxième. On en déduit que l'enfant peut compter entre deux bornes, et que l'échec est lié à une mauvaise compréhension de la consigne. Ensuite, le comptage à rebours est réussi au Tedi-math et au Zareki-R (score dans la moyenne forte à ce dernier). **La structuration de la chaîne numérique orale se situe donc au stade terminal.** Par ailleurs, l'algorithme de comptage par 2 est connu mais pas maîtrisé, et l'algorithme par 10 est correct.

*Tedi-math et Zareki-R « Calcul mental oral »* : les scores sont situés dans la **norme**. Elle utilise essentiellement le surcomptage pour résoudre les additions, et la décrémentation pour les soustractions. Elle procède également par récupération de faits arithmétiques en mémoire à long terme pour résoudre de petites opérations (exemple :  $7+7$ ). D'autre part, elle accède en partie aux multiplications par des additions itérées. Cela n'étant pas encore enseigné à cette période, elle est donc légèrement en avance par rapport aux enfants du même niveau. Au total, **elle peut recourir à diverses stratégies de calcul**. Nous observons aussi **une connaissance des concepts pour les additions et les soustractions** (neutralité du zéro) mais pas pour les multiplications ( $8 \times 0 = 8$ ), ce qui est normal à cet âge.

Notons que les stratégies de calcul aboutissent pour la plupart des items. Cela ainsi que l'épreuve de comptage à rebours montrent que malgré de faibles capacités de mémoire de travail verbale mesurées par l'empan, l'enfant **recrute de l'attention pour obtenir des résultats normaux ou dans la norme haute**.

*Zareki-R « Code analogique »* : la tâche de dénombrement nous permet d'observer que **les principes de Gelman sont acquis, notamment celui de cardinalité**. Les résultats obtenus aux épreuves de comparaison de nombres à l'oral et d'estimation de quantités visuelle sont normatifs. Au total, cela révèle une **bonne capacité à associer une quantité analogique aux codes symboliques**. L'épreuve de positionnement de nombres sur une échelle montre également que **la représentation linéaire des codes arabe et verbal est correctement graduée**. Cela est permis par la maîtrise des codes symboliques, constatée lors des transcodages. Par ailleurs, le score en estimation qualitative de quantités en contexte est faible. Les autres épreuves étant réussies, nous relierions cela aux difficultés langagières observées lors de la passation de l'EDA.

*Tedi-math et Zareki-R « Transcodages »* : les scores sont dans la **norme**. Les performances en dictée et lecture sont préservées. Aussi, **les codes symboliques sont maîtrisés** dans leurs aspects lexical et syntaxique. Par ailleurs, l'enfant transcode la plupart des nombres à trois chiffres (deux erreurs en dictée seulement), en cours d'acquisition à cet âge.

*Zareki-R « Comparaison de nombres à l'écrit »* : le score est normatif. Cela confirme la maîtrise du code arabe, en montrant que le système positionnel est compris.

*Zareki-R « Problèmes »* : le score se situe dans la **moyenne**. Les énoncés impliquant une transformation de l'état initial ou final sont réussis. L'enfant peut résoudre un des problèmes de comparaison. **Le développement des capacités de raisonnement ne semble pas entravé par le déficit langagier**. Cependant, elle matérialise les données de l'énoncé par



les objets présents dans la salle, ou nécessite qu'on lui répète l'énoncé. Cela montre une charge en mémoire de travail verbale pour cette épreuve.

### 3.5.3 Contexte cognitif général

**L'enfant présente de bonnes aptitudes visuo-spatiales** (scores en reproduction de la figure de Rey, praxies constructives et raisonnement visuo-spatial normaux). Les capacités de **mémoire de travail et d'attention auditive dans la norme, prérequis à tout apprentissage. Les compétences langagières sont altérées dans la modalité orale** (scores pathologiques, sauf en compréhension lexicale où il est normal). En revanche **le langage écrit est préservé** (scores normatifs).

Pour conclure, **les codes analogique et symboliques sont acquis**. L'enfant **accède sans difficultés aux** activités numériques plus élaborées que sont le **calcul mental et les transcodages**. Concernant la résolution de problèmes, on observe une charge en mémoire de travail verbale, sans toutefois entraîner la production d'un score hors norme.

**Les performances en mathématiques de cette enfant se situaient dans la moyenne forte au CP, et y sont toujours au CE1. Les facteurs susceptibles d'expliquer cela sont la présence de bonnes capacités cognitives transversales**. On s'étonne que les difficultés en langage oral n'aient pas un impact plus important. Cela semble lié à la capacité de l'enfant à mettre en œuvre des stratégies compensatoires efficaces.

## **3.6 Conclusion générale des études de cas et proposition de remédiations**

Nous avons sélectionné deux enfants « faibles » au CP dont les scores restent faibles au CE1, deux enfants « faibles » au CP dont les scores se normalisent, et une enfant « forte » au CP dont les scores restent bons. Ces études de cas nous ont permis de montrer que si la différence entre la moyenne des « faibles » et des « forts » demeure significative, autrement dit que les « faibles » au CP restent faibles et que les « forts » restent forts, certains enfants du groupe des « faibles » voient leur scores se normaliser au CE1. Ensuite, l'objectif était d'étudier la dynamique d'évolution de certains enfants « faibles » ou « forts » et d'en déterminer les facteurs. Enfin, nous montrons chez les enfants en difficulté que toutes les composantes ne sont pas nécessairement touchées, d'où l'importance de proposer des

remédiations personnalisées en prenant en compte les difficultés de l'enfant mais aussi les capacités lui permettant de compenser.

Cette année, par manque de temps, il ne nous a pas été possible de proposer des remédiations aux enfants de notre échantillon présentant des difficultés. En effet, l'évaluation d'enfants, l'analyse de leurs résultats et l'organisation de remédiations ciblées pourrait être l'objet d'une recherche à condition que celle-ci soit menée sur un temps plus long qu'une année. Cependant, nous avons réfléchi à des pistes de remédiations à proposer aux enfants en difficulté en fonction des codes atteints.

Pour les enfants présentant des difficultés dans l'utilisation du **code verbal** à savoir pour l'acquisition de la chaîne numérique verbale et pour le calcul mental, voici quelques idées de remédiations.

- **La chaîne numérique verbale** : il faut au préalable s'assurer que les neuf premiers nombres sont connus. Par ailleurs, la chaîne à partir de 60 peut être abordée si l'enfant maîtrise la chaîne entre 0 et 20. Enfin, l'entraînement du comptage à rebours peut être abordé lorsque la chaîne est maîtrisée à l'endroit. On propose de :
  - Vérifier la connaissance des neuf premiers nombres, puis continuer par l'apprentissage des parties transparentes de la chaîne verbale (dix-sept, dix-huit, dix-neuf)
  - Rendre les particuliers transparents (onze c'est dix-un, douze c'est dix-deux, ...), puis la structure verbale des dizaines syntaxiques (exemple : soixante-dix devrait se dire septante)
  - Faire prendre conscience à l'enfant que le nom de la dizaine combinée avec la suite de un à neuf change quand le nombre qu'il vient d'énoncer se termine par neuf (exemple : vingt-neuf, trente).
- **Le calcul mental** : on propose les remédiations suivantes :
  - Entraîner les doubles, les complémentaires à 10 ( $1+9$ ,  $2+8$ ,  $3+7$ ,  $4+6...$ ), les algorithmes de 2 en 2, de 5 en 5 et de 10 en 10 permettra de soulager la mémoire de travail lors de problèmes ou de calculs plus complexes et d'avoir recours à des procédures plus matures par décomposition.
  - Les doigts peuvent se révéler une aide précieuse pour soulager la mémoire mais encore faut-il que l'enfant sache correctement s'en servir. Donc, sur le principe du jeu « pierre, feuille, ciseaux », l'enfant doit savoir montrer d'un seul coup, sans lever les doigts un par un mais en une fois, sur ses doigts les nombres allant de 1 à 9.

- Une prise de conscience des connaissances conceptuelles telles que la commutativité et la réversibilité opératoire peut aider l'enfant dans ses stratégies de calcul (exemples de commutativité valable pour les additions et multiplications :  $3+2=2+3$ ,  $3 \times 6 = 6 \times 3$  ; exemple de réversibilité opératoire :  $8-5=5+3$  donc  $8-5=3$ ). Si l'enfant a saisi le principe de commutativité, il devrait utiliser la procédure du min, consistant à calculer à partir du plus grand des deux opérandes dans une addition.
- Une bonne maîtrise de la base dix dans la manipulation du code arabe peut aussi aider au calcul mental.

Ensuite pour **les transcodages** arabo-verbal et verbo-arabe, autrement dit la dictée et la lecture de nombres, voici quelques propositions d'exercices.

- **La dictée** : il est essentiel que l'enfant sache combien de chiffres comporte le nombre quand il doit l'écrire. Il s'agit donc d'automatiser les capacités d'attention auditive sélective pour mettre en correspondance les morphèmes verbaux avec le code arabe.
  - Au préalable, il est important d'entraîner l'enfant à extraire les traits pertinents de la chaîne verbale : dans « seize » on entend /ze/ dans « trente », dans « quarante » on entend /ante/, ces nombres s'écrivent donc avec deux chiffres. Quand on entend « cent », le nombre doit comporter trois chiffres, « mille » quatre chiffres. Il serait pertinent de commencer par les chiffres « trente, quarante, cinquante » dans lesquels on retrouve le début des nombres « trois, quatre, cinq » composant le chiffre des dizaines, alors que dans le nombre « vingt », le chiffre « deux » n'est pas perceptible.
  - L'utilisation d'un boulier peut aussi être un bon vecteur du traitement en **code arabe**. Ce matériel est composé de plusieurs tiges sur lesquelles se trouvent des boules. Par exemple : dix boules sur la tige tout à droite représentent une dizaine. Cette dizaine peut aussi être représentée par une boule sur la tige plus à gauche et zéro boule sur la tige la plus à droite. L'enfant retranscrit le chiffre 1 sous la tige de gauche comportant une boule, et le chiffre 0 sous la tige la plus à droite comportant 0 boule. Ensuite, on peut entraîner l'enfant à dire que 1 vaut dix et « rien » vaut zéro. Ce support peut aider l'enfant à écrire les nombres en chiffres, et à comprendre le système de position du code arabe.
  - Par ailleurs, ce travail avec le boulier peut être une occasion de renforcer la manipulation de la base 10. Par exemple, on dirait à l'enfant « tu as composé le nombre 40 avec le boulier, maintenant dis-moi combien il y a de dix dans

« quarante » ». L'enfant compte alors les quatre boules représentant quatre dizaines situées sur la deuxième tige du boulier en partant de la droite pour trouver la réponse.

- **La lecture :**

- Pour accéder à la lecture de nombres, l'enfant doit d'abord évaluer le nombre de chiffres que comporte le nombre, et avoir compris le système de position du code arabe (exemple : pour lire « 123 », l'enfant perçoit que c'est un nombre à trois chiffres, le premier est un « 1 » qui vaut cent, le deuxième un « 2 » qui vaut vingt et le troisième un « 3 » qui vaut trois).
- La compréhension du principe de position devrait également améliorer les capacités de comparaison de nombres écrits.
- Le boulier peut être utilisé dans la remédiation de la lecture de nombres, en début d'apprentissage ainsi que pour les enfants en difficulté.

Enfin, pour les enfants ayant des difficultés de maîtrise du code analogique avec une représentation comprimée des grands nombres, on propose d'utiliser un support de type Montessori avec une équivalence de valeur qui se voit : les unités sont représentées par des petits carrés de 1cm sur 1 cm, les dizaines par des carrés contenant 10 carrés de 1 cm et les centaines par des carrés contenant 100 carrés de 1cm. Ainsi, la base 10 est concrétisée.

Quand la base 10 est comprise, après ce travail sur un matériel analogique, on peut travailler sur le raffinement des nombres sur une échelle linéaire et entraîner par exemple les relations sémantiques de double et de moitié (exemple : si 5 est au milieu d'une échelle allant de 0 à 10, où va se situer 50 sur une échelle de 0 à 100 ?).

Ces exercices ne constituent évidemment pas une liste exhaustive mais pourrait être la base d'un entraînement. Ajoutons qu'il serait intéressant que les pistes visant à remédier aux difficultés mathématiques soient validées par des recherches.

## **VI DISCUSSION**

### ***1. Hypothèses***

**Hypothèse 1 : La différence entre la moyenne des compétences arithmétiques du groupe des « faibles » et des « forts » au CP reste significative au CE1.**

Les résultats confirment cette hypothèse. Ils révèlent que la différence entre la moyenne des groupes des « forts » et des « faibles » au CP est significative au CE1 pour toutes les épreuves du Tedi-math et du Zareki-R, sauf pour le dénombrement et l'estimation visuelle de quantités. Pour ces dernières, les scores élevés dans les groupes des « forts » et des « faibles » sont probablement liés à un effet plafond à cet âge et à ce niveau scolaire. Cependant, les études de cas nous permettent de nuancer ce constat (voir hypothèse 2).

**Hypothèse 2 : Certains enfants présentant des difficultés en mathématiques au CP voient leurs scores se normaliser au CE1.**

Les résultats valident cette hypothèse. En effet, l'analyse de l'évolution des compétences et les études de cas montrent que certains enfants du groupe des « faibles » au CP obtiennent des scores qui rejoignent la moyenne au CE1 (enfants n°23 et 24, voir étude de cas, et enfant n°20 et 32).

Ce constat pourrait en partie expliquer que le diagnostic de trouble du calcul, appelé aussi « innumérisme », ne peut être posé au CE1. En effet, de nombreuses compétences arithmétiques sont encore en voie d'acquisition à ce niveau scolaire et à cet âge. De plus, les enfants, selon leur niveau socioculturel, la langue parlée à la maison et leurs activités, acquièrent les connaissances scolaires à des rythmes différents. Ainsi, des difficultés en mathématiques ne permettent pas d'anticiper leur devenir à cet âge. Ce n'est que lorsque les difficultés persistent dans le temps et résistent à des interventions ciblées sur les différentes composantes que l'on peut évoquer un trouble des capacités arithmétiques.

**Hypothèse 3 : Les enfants présentant des difficultés à traiter les nombres constituent un groupe hétérogène.**

Cette hypothèse est confirmée. En effet, l'étude par épreuve arithmétique du positionnement des enfants « faibles » au CP par rapport à la moyenne de leur groupe au CE1 démontre que ces enfants ont des difficultés dans certaines composantes et pas dans d'autres (Graphe n° 3, Tableau n° 3).

D'autre part, les études de cas des enfants n° 18 et 29 indiquent que l'hétérogénéité des difficultés ne concerne pas seulement la diversité des composantes, mais aussi la sévérité de l'atteinte et la quantité de composantes touchées. En effet, l'enfant n°18 obtient des scores pathologiques en comptage et calcul mental, révélant des difficultés d'acquisition du code verbal, mais les codes analogique et arabe ainsi que les transcodages sont préservés. Quant à l'enfant n°29, il est en difficulté dans l'acquisition des codes symboliques et des transcodages, mais les capacités concernant le code analogique correspondent à la moyenne des enfants de son âge. On explique cela par la variabilité des niveaux intellectuels d'un individu à l'autre. En effet, l'enfant n°18 présente une partie des aptitudes cognitives susceptibles d'étayer les apprentissages, tandis que les difficultés de l'enfant n°29 s'inscrivent dans le cadre d'un retard global avéré.

**Hypothèse 4 : Une atteinte des capacités de traitement visuo-spatial, du langage, de la régulation de l'attention, et des fonctions exécutives entraverait l'apprentissage des mathématiques chez les enfants à l'école élémentaire.**

Cette hypothèse est validée. En effet, chez les enfants n°18 et 29 qui étaient « faibles » au CP et restent en difficulté au CE1, nous constatons que les épreuves évaluant ces capacités sont pour certaines échouées. Pour l'enfant n°29, un bilan neuropsychologique révèle un retard global. Ainsi, de nombreuses épreuves évaluant les capacités cognitives sont échouées. Par ailleurs, chez les enfants n°23 et 24, nous pouvons considérer que leur progrès dans certaines de ces capacités à savoir respectivement le raisonnement et les capacités visuo-spatiales leur ont permis d'obtenir des scores dans la norme en mathématique au CE1.

Toutefois, l'enfant n°8 bilingue qui était « forte » au CP et le reste au CE1 démontre que l'atteinte d'une seule de ces capacités, à savoir le langage oral, peut être compensée et ne pas entraver l'acquisition des compétences numériques. L'impact des difficultés en langue orale française sur l'apprentissage des mathématiques a donc peut-être été contourné grâce à l'autre langue, sous réserve que cette dernière est maîtrisée.

Pour conclure, on déduit que l'apprentissage des mathématiques mobilise de nombreuses compétences cognitives. Ainsi, leur atteinte peut entraver le développement des capacités arithmétiques, de même que leur préservation peut étayer les apprentissages. Toutefois, il est possible que l'atteinte d'une seule fonction cognitive soit compensée par d'autres aptitudes.

D'autre part, sous réserve de la connaissance de l'efficacité intellectuelle de l'enfant n°18, la comparaison de ce cas à l'enfant n°29 qui présente un retard nous amène à réfléchir

sur l'aspect isolé plutôt que global des atteintes. En effet, le cas d'une atteinte ciblée sous-entend que certaines capacités sont préservées et potentiellement exploitables pour compenser, tandis que dans le cas d'un retard global, les possibilités de compensation par l'individu sont plus limitées. Ainsi, cela implique des types de remédiation et des priorités différentes.

## ***2. Biais et limites***

### **2.1 Sélection de la population :**

Notre échantillon est constitué de 32 enfants seulement. Par ailleurs, il aurait été intéressant de sélectionner la même proportion d'enfants « forts » ou « faibles » dans chaque école, afin d'étudier l'impact de l'environnement sur l'apprentissage des mathématiques. En effet, un enfant en difficulté est plus susceptible d'être pris en charge s'il appartient à une classe constituée de peu d'enfants dans le même cas que lui. Ensuite, entrent aussi en jeu le niveau socioculturel et le bilinguisme. Aussi, notre échantillon est peu représentatif de la population générale.

### **2.2 Choix des épreuves :**

L'ajout d'une épreuve de résolution de problèmes présentés à l'écrit aurait permis d'alléger la charge en mémoire de travail verbale, et ainsi de mieux mettre en valeur les capacités de raisonnement pour cette tâche. Toutefois, cela aurait pu poser d'autres difficultés, par exemple celle de la lecture de l'énoncé.

D'autre part, la comparaison des scores aux évaluations des compétences numériques a été limitée. En effet, parmi les épreuves arithmétiques proposées, nous n'en avons qu'une seule en commun entre le CP et le CE1.

### **2.3 Analyses globales :**

Une analyse statistique des corrélations entre les épreuves évaluant les fonctions cognitives et les compétences arithmétiques aurait été intéressante, afin de justifier la mobilisation de ces facteurs dans l'apprentissage des mathématiques. Nous avons préféré aborder ce sujet de façon qualitative et approfondie dans les études de cas, ce qui nous a

permis de favoriser l'étude de l'évolution des compétences arithmétiques dans les analyses globales.

## **2.4 Etudes de cas :**

Afin de montrer plus avant l'hétérogénéité des difficultés chez les enfants « faibles », nous aurions souhaité proposer davantage d'études de cas. Cependant, notre objectif était d'observer différentes dynamiques d'évolution chez les « faibles » et les « forts ».



## **VII CONCLUSION ET PERSPECTIVES**

Notre objectif était : 1) de déterminer si le niveau de performances arithmétiques d'enfants au CP était prédictif du niveau arithmétique au CE1 ; 2) d'étudier l'évolution des compétences arithmétiques d'enfants « forts » ou « faibles » du CP au CE1 ; 3) de rechercher les facteurs susceptibles d'expliquer cette évolution, par le biais d'analyses de groupes et d'études de cas, lesquelles ont permis d'illustrer l'implication de ces facteurs.

Notre échantillon est composé de 32 enfants, dont 15 « faibles » et 17 « forts » d'après leur score composite en mathématiques obtenu au CP. Ils sont âgés en moyenne de 7 ans 6 mois, et viennent de milieux socioculturels variés. Pour notre étude, nous leur avons administré des épreuves issues de batteries de tests standardisés (Zareki-R et Tedi-math), évaluant les compétences numériques ainsi que les fonctions cognitives générales : le langage, l'attention, la mémoire de travail et les fonctions visuo-spatiales.

Une analyse statistique portant sur les moyennes de deux groupes indépendants, ici les « forts » et les « faibles », permet d'affirmer que la différence entre les moyennes des deux groupes demeure significative pour presque toutes les épreuves. Autrement dit, au CE1 les « faibles » demeurent globalement faibles en mathématiques et les « forts » globalement forts.

Ensuite, la comparaison des résultats individuels des enfants au CP et au CE1 nuance notre premier constat. En effet, l'étude de l'évolution de chaque enfant montre que les « forts » restent forts, que des « faibles » restent au même niveau ou produisent des performances moindres qu'au CP, et que certains « faibles » rejoignent la norme. Il y a donc une hétérogénéité des niveaux de performances au sein des deux groupes, et différentes trajectoires d'évolution dans le groupe des « faibles ». Par ailleurs, tous ne présentent pas les mêmes capacités et difficultés selon les composantes arithmétiques. Ceci s'observe grâce à l'analyse des écarts-types par épreuve et par groupe.

Chez les « forts », les écarts-types sont proches dans quatre composantes (voir l'analyse globale), elles sont donc acquises par les enfants présentant de bonnes compétences arithmétiques. Pour les autres épreuves, les notes sont dispersées autour de la moyenne, donc il existe aussi des disparités au sein du groupe des « forts ». En effet, comme il est indiqué dans la littérature, certains enfants « forts » rencontrent des difficultés et d'autres pas. Nous en déduisons que ces composantes sont en cours d'acquisition et que leur niveau dépendrait de l'âge des enfants, de leur milieu socio-éducatif ainsi que du bon fonctionnement des aptitudes cognitives sous-jacentes aux compétences arithmétiques.

Pour nous préparer au travail qui sera le nôtre, soit le diagnostic et la mise en place d'interventions adaptées, nous avons effectué des études de cas. Elles ont permis d'analyser l'évolution de cinq enfants de l'échantillon : un enfant « fort » au CP restant fort au CE1, deux enfants « faibles » au CP rejoignant la norme au CE1, deux enfants « faibles » demeurant faibles au CE1. Celles-ci révèlent que :

- Chez l'enfant « fort » qui reste fort : les codes analogique et symboliques sont acquis. Les aptitudes cognitives telles que la mémoire de travail, l'attention auditive et les capacités visuo-spatiales sont fonctionnelles et ont vraisemblablement permis à cet enfant bilingue de compenser un déficit de langage.
- Chez les deux enfants « faibles » qui rejoignent la norme : l'un présente de bonnes capacités cognitives transversales, lesquelles auraient permis de soutenir l'apprentissage arithmétique, notamment celui des codes analogique et symboliques. Chez l'autre enfant, les trois codes sont fonctionnels et toutes les fonctions cognitives sont présentes, avec une amélioration des capacités visuo-attentionnelles entre le CP et le CE1. Chez ces enfants des difficultés sont présentes, mais elles sont moins sévères et moins nombreuses que chez les enfants d'un niveau faible.
- Chez les deux enfants « faibles » demeurant faibles : l'un présente des difficultés dans le cadre d'un retard global. La maîtrise des codes symboliques est très faible, seul le code analogique est préservé. Ces difficultés sont à rapprocher d'une faiblesse dans toutes les fonctions cognitives impliquées dans les mathématiques. L'utilisation des doigts pourrait suppléer le déficit en mémoire de travail. Chez l'autre enfant, on note des difficultés d'acquisition du code verbal en lien avec une mémoire de travail faible, tandis que les codes arabe et analogique sont préservés. Notons aussi chez cette enfant une faiblesse de l'attention visuelle. Ainsi, les atteintes diffèrent chez ces deux enfants.

La poursuite de l'étude de l'acquisition des compétences arithmétiques dans les prochaines années de Primaire permettrait d'observer si les scores des enfants en difficultés au CE1 se normalisent. Par ailleurs, une analyse plus approfondie des corrélations entre les processus cognitifs et les compétences numériques pourrait également faire l'objet d'un mémoire. Enfin, l'objectif d'une autre étude pourrait être de proposer des remédiations ciblées des composantes pour lesquelles des enfants demeurent en difficultés au CE1. En effet, plusieurs travaux ont déjà mis en évidence l'efficacité d'interventions ciblées plutôt que généralisées. Ces interventions auraient le double avantage d'aider les enfants à améliorer leurs performances, et d'évaluer la pertinence et l'efficacité des dispositifs conçus à cet effet.

## **BIBLIOGRAPHIE**

- Allport A., (1989) Visual attention. *Foundation of cognitive science*, 631-682. Cambridge : The MIT press.
- Ashcraft M.H., Battaglia J., (1978) Cognitive arithmetic : evidence for retrieval and decision processes in mental addition. *Journal of experimental psychology : human memory and learning*, 4, 527-538.
- Ashcraft M.H., Fierman B.A., (1982) Mental addition in third, fourth and sixth graders. *Journal of experimental child psychology*, 33, 216-234.
- Baddeley A.D., (1986) *Working memory*. Londres : Oxford university press.
- Baroody A.J., (1986) Counting ability of moderately and mildly mentally handicapped children. *Education and training of the mentally retarded*, 21, 289-300.
- Baroody A.J., Hank M., (1990) Elementary mathematics activities. *Teacher's guide book*. Boston : Allyn and Bacon.
- Barrouillet P., Billard C., De Agostini M., Démonet J-F., Fayol M., Gombert J-E., Habib M., Le Normand M-T., Ramus F., Sprenger-Charolles L., Valdois S., (2007) *Dyslexie, dysorthographe, dyscalculie : bilan des données scientifiques*. INSERM.
- Barrouillet P., Fayol M., (1998) From algorithmic computing to direct retrieval : evidence from number and alphabetic arithmetic in children and adults. *Memory and cognition*, 26, pp. 355-368.
- Barrouillet P., Fayol M., Lathulière E., (1997) Selecting between competitors in multiplications tasks : an explanation of the errors produced by adolescents with learning disabilities. *International journal of behaviora development*. 21, 253-275.
- Barrouillet P., Fayol M., Marinthe C., (1999) Performances perceptivo-tactiles et performances arithmétiques chez le jeune enfant. *Rééducation orthophonique, les activités logico-mathématiques*. N°199. Paris : Fédération nationale des orthophonistes.
- Baruk S., (2003) *Comptes pour petits et grands : pour un apprentissage du nombre et de la numération fondé sur la langue et le sens*. Vol.1. Paris : Magnard.
- Bideaud J., Lehalle H., Villette B., (2004) *La conquête du nombre et ses chemins chez l'enfant*. Lille : Presses universitaires du Septentrion.

- Bideaud J., Meljac C., Fisher J.C., (1991) *Les chemins du nombre*. Lille : Presses universitaires de Lille.
- Bitche H., Bougon H., (2012) *Etude longitudinale des compétences arithmétiques au CP, relation avec les fonctions cognitives*. Mémoire pour le certificat de capacité d'orthophonie. Paris : Université Paris 6.
- Blaye A., Lemaire P., (2007) *Psychologie du développement cognitif de l'enfant*. Bruxelles : De Boeck.
- Bugden S., Ansari D., (2011) *Individual differences in children's mathematical competence are related to intentional but not automatic processing of Arabic numerals*. Numerical cognition laboratory, department of psychology. Canada, Ontario : Elsevier.
- Bull R., Johnston R.S., Roy J.A., (1999) Exploring the roles of the visual-spatial sketch pad and central executive in children's arithmetical skills : views from cognition and developmental neuropsychology. *Developmental neuropsychology*. 15, 421-442.
- Butterworth B., (1999) *The mathematical brain*. Londres : Macmillan.
- Butterworth B., (2010) Foundational numerical capacities and the origin of dyscalculia. *Special issue : space, time and number. Trends in cognitive science*, Vol. 14, N. 12. London : CePress.
- Camos V., (1999) Le dénombrement, une activité complexe à deux composantes. *Rééducation orthophonique*. 199, 21-32.
- Camos V., Fayol M., Lacert P., Bardi A., Laquière C., (1998) Le dénombrement chez des enfants dysphasiques et des enfants dyspraxiques. *ANAE*, 48, 86-91.
- Carpenter T., Moser J., (1982) The development of addition and subtraction problem solving skills. In Carpenter T., Moser J., Romberg T. *Addition and subtraction : a cognitive perspective*, pp. 9-24. Hillsdale.
- Carpenter T.P., Moser J.M., (1983) The acquisition of addition and subtraction concepts. In Lesh R., Landau M. *The acquisition of mathematical concepts and processes*, pp.7-44. New York Academic Press.
- Cowan H., Elliott E. M., Saults J. S., (2002) The search for what is fundamental in the development of working memory. *Advances in child development and behaviour*. 29, 1-49.
- Dehaene S., (1992) Varieties of numerical abilities. *Cognition*, 44.1-42.
- Dehaene S., (1997) *La bosse des maths*. Paris : Odile Jacob.

- Dehaene S., Cohen L., (2000) Un modèle anatomique et fonctionnel de l'arithmétique mentale. *La neuropsychologie des troubles du calcul et du traitement des nombres*. Marseille : Solal.
- Delazer M., (2000) Neuropsychologie des faits arithmétiques. *La neuropsychologie des troubles du calcul et du traitement des nombres*. Marseille : Solal.
- Dellarosa-Cummins D., Kintsch W., Reusser K. et al., (1988) The role of understanding in solving word problems. *Cognitive psychology*, 20, 405-438.
- Denckla M., Rudel R., (1976) Naming-speed processes and developmental reading disabilities: an introduction to the special issue on the double-deficit hypothesis. *Journal of learning disabilities*, July 2000 33: 322-324.
- Deloche G., Seron X., (1982) Les faits arithmétiques et le langage. *Neuropsychologie des faits arithmétiques*. Marseille : Solal.
- Donaldson M., (1978) *Children's minds*. London : Flamingo/Fontana Paperbacks.
- Dowker A.D., (2005) *Individual differences in arithmetic : implications for psychology, neuroscience and education*. Hove : Psychology press.
- Dowker A., Sigley G., (2010) Targeted interventions for children with arithmetical difficulties. In The British psychological society (Ed.) *Understanding number development and difficulties*, 65-81, BJEP Monograph Series II, 7.
- Duquesne-Belfais F., (2006) Les difficultés en arithmétique des enfants dyspraxiques. *A.N.A.E.*, 88-89, 184-190.
- Ellis N., Harris R.J., (ed) (1992) Linguistic relativity revisited : the bilingual word-length effect in working memory during counting, remembering numbers and mental calculation. *Cognitive processes in bilingual*. Amsterdam : Elsevier Publishers.
- Fayol M., (1990) *L'enfant et le nombre*. Neuchâtel : Delachaux et Niestlé.
- Fayol M., (2008) *L'acquisition de l'arithmétique élémentaire*. Médecine sciences.
- Fayol M., ((2009) *L'acquisition du nombre*. Paris : Presse universitaire de France.
- Fayol M., Abdi H., Gombert J.E., (1987) Arithmetical problem formulation and working memory load. *Cognition and instruction*, 4, 183-202.
- Fayol M., Camos V., Roussel J-L., (2000) Acquisition est mise en œuvre de la numération pour les enfants de 2 à 9 ans. *La neuropsychologie des troubles du calcul et du traitement des nombres*. Marseille : Solal.
- Fayol M., Fluss J., Sacchet J., Siclier J., Mirassou A., Billard C., (2009) Associations et dissociations en lecture et mathématiques. *ANAE* , 102, 145-151.

- Fayol M., Seron X., (2005) About Numerical Representations. *Handbook of mathematical cognition*, 1.
- Fisher J-P., (2009). Six questions ou propositions pour cerner la notion de dyscalculie développementale. *ANAE*, 102, 117-133.
- Flessas J., Lussier F., (2009) *Neuropsychologie de l'enfant : troubles développementaux et de l'apprentissage*. Paris : Dunod.
- Fuson K., Richard J., Briard D., (1982) The acquisition and elaboration of the number words sequence. In C. J. Brainerd (Ed). *Children's logical and mathematical cognition*. New York : Springer-Verlag.
- Galaburda A.M., (1999) Developmental dyslexia : a multilevel syndrome. *Dyslexia*. 5 : 183-191.
- Gathercole S.E., (1998) The development of memory. *Journal of child psychology and psychiatry*, 39, 3-27.
- Gathercole S.E., Adams A-M., Hitch G.J., (1994) Do young children rehearse ? An individual differences analysis. *Memory and cognition*. 22, 201-207.
- Geary D.C., (1993) Mathematical disabilities : cognitive, neuropsychological and genetic components. *Psychological bulletin*, 114, 45-362.
- Geary D.C., (2005) Les troubles des apprentissages en arithmétique : le rôle de la mémoire de travail et des connaissances conceptuelles. *La dyscalculie : trouble du développement numérique de l'enfant*. Marseille : Solal.
- Geary D. C., (2011a) Cognitive predictors of achievement growth in mathematics: a five year longitudinal study. *Developmental psychology*, 47(6), 1539-1552.
- Geary D. C., (2011b) Consequence, characteristics and causes of mathematical learning disabilities and persistent low achievement in mathematics. *Journal of developmental and behavioral pediatrics*, 32:250-263.
- Geary D. C., Bailey D.H., Hoard M.K., (2009) Predicting mathematical achievement and mathematical learning disability with a simple screen tool : the Number Sets Test. *J Psychoeduc assess*, 27 (3), 265-279. University of Missouri.
- Geary D.C., Frensch P.A., Wiley J.G., (1993) Simple and complex mental subtraction : strategy choice and speed-of-processing differences in younger and older adults. *Psychology and aging*, 8, 242-256.
- Geary D.C, Hoard M.K., Hamson C.O., (1999) Numerical and arithmetical cognition : patterns of functions and deficits in children at risk for a mathematical disability. *Journal of experimental child psychology*. 74, 213-239.

- Geary D.C., Hamson C.O., Hoard M.K., (2000) Numerical and arithmetical cognition : a longitudinal study of process and concept deficits in children with learning disability. *Journal of experimental psychology*, 77, 236-263.
- Gelman R., Gallistel C.R., (1978) *The child's understanding of number*. Cambridge : MA Harvard university press.
- Gersten R., Jordan N.C., Flojo J.R., (2005) Early identification and interventions for students with mathematics difficulties. *Journal of learning disabilities*. Vol 38, p 293-304.
- Groen G.J., Parkman J.M., (1972) A chronometric analysis of simple addition. *Psychological review*, 79, 329-343.
- Gross-Tsur V., Manor O., Shalev R.S., (1996) developmental dyscalculia : prevalence and demographic features. *Developmental medicine and child neurology*. 38, 25-33.
- Habib M., Noël M.-P., Georges-Porracchia F., Brun V., (2011) *Calculs et dyscalculies. Des modèles à la rééducation*, Paris : Elsevier Masson.
- Houdé O., Leroux G., (2008) *Psychologie du développement cognitif*. Paris : Presse universitaire de France.
- Hudson T., (1983) Correspondences and numerical differences between disjoint sets. *Child development*, 54, 84-90.
- Hurtrez E., (2006) Apprentissage de la lecture et des mathématiques chez de jeunes élèves présentant une dyspraxie visuo-spatiale : exemples de stratégies pédagogiques. *A.N.A.E.*, 88-89, 191-200.
- Jordan N.C., Hanich L.B., Kaplan D., (2003) Arithmetic fact mastery in young children : a longitudinal investigation. *Journal of experimental child psychology*. 85, 103-119.
- Kail R., (1990) *The development of memory in children*. New York : W.H. Freeman
- Kaufman L., Handl P., Thöny B., (2003) Evaluation of a numeracy intervention program focusing on basic numerical knowledge and conceptual knowledge : a pilot study. *Journal of learning disabilities*, 36(6), 564-573.
- Kilpatrick J., (1987) What constructivism might be in mathematics education. *Proceedings of the eleventh conference of the international group for the psychology of mathematics education*, 2-27. Bergeron J.C., Herscovics N., Kieran C. Montreal.
- Kosc L., (1974) Developmental dyscalculia. *Journal of learning disabilities*. 7 : 164-177.
- Lemaire P., Barrett S.E., Fayol M., Abdi H., (1994) Automatic activation of addition and multiplication facts in elementary school children. *Journal of experimental child psychology*, 57, 224-258.

- Lewis C., Hitch G.J., Walker P., (1994) The prevalence of specific arithmetic difficulties in 9- and 10-year-old boys and girls. *Journal of child psychology and psychiatry*, 35(2) 283-292.
- Logan G.D., Klapp S.T., (1991) Automatizing alphabet arithmetic : is extended practice necessary to produce automaticity ? *Journal of experimental psychology : learning, memory, and cognition*, 17, 177-193.
- Logie R.H., Gilhooly K.J., Wynn V., (1994) Counting on working memory in arithmetic problem solving. *Memory and cognition*. 22(4), 395-410.
- Lonigan C.J., Schatschneider C., Westberg L., (2008) Identification of children's skills and abilities linked to later outcomes in reading, writing and spelling. *Developing early literacy : report of the national early literacy panel. 2* : 55-106.
- Luria A.R., (1978) *Les fonctions corticales supérieures de l'homme*. Paris : PUF coll. « Psychologie d'aujourd'hui ».
- Lyytinen H., Ahonen T., Eklund K., Guttorm T., Kulju P., et coll. (2004) Early development of children at familial risk for dyslexia-follow-up from birth to school age. *Dyslexia*. 10 : 146-178.
- Mazeau M., (2005) *Neuropsychologie et troubles des apprentissages : du symptôme à la rééducation*. Paris : Masson.
- Metz-Lutz M-N., Demont E., Seegmuller C., De Agostini M., Bruneau N., (2004) *Développement cognitif et troubles des apprentissages : évaluer, comprendre, rééduquer et prendre en charge*. Marseille : Solal.
- Mc Closkey M., (1992) Cognitive mechanisms in numerical processing : evidence from acquired dyscalculia. *Cognition*, 44, 107-157.
- Mc Neil J., Warrington E., (1994) A dissociation between addition and subtraction with written calculation. *Neuropsychologia*. 32, 717-724.
- Ménissier A., (2002) Le bilan des activités logico-mathématiques : indications et pratiques cliniques. *Rééducation orthophonique, le bilan orthophonique*. N°212. Paris : Fédération nationale des orthophonistes.
- Miura I.T., Okamoto Y., Kim C.C. et al., (1993) First grader's cognitive representation of numbers and understanding of place value: cross national comparison France, Japan, Korea, Sweden and the United States. *Journal of educational psychology*, 85, 24-30.
- Molko N., Wilson A., Dehaene S., (2005) *La dyscalculie développementale, un trouble primaire de la perception des nombres*. Médecine et enfance, p165.



- Nairne J.S., Healy A.F., (1983) Counting backward produces systematic errors. *Journal of experimental psychology : general*, 112, 37-40.
- Newell A., Simon H., (1972) *Human problem solving*. Pentice-Hall : Englewoods Clifs
- Noël M-P., (2000) La dyscalculie développementale : un état de la question. *La neuropsychologie des troubles du calcul et du traitement des nombres*. Marseille : Solal.
- Noël M-P., (2001) Rôle de la mémoire de travail dans l'apprentissage du calcul. *Troubles du calcul et dyscalculie chez l'enfant*, 9, 171-178. Paris : Masson.
- Noël M-P., (2005a) *La dyscalculie : trouble du développement numérique de l'enfant*. Marseille : Solal.
- Noël M.P., (2005b) Finger gnosis: a predictor of numerical abilities in children? *Child Neuropsychology*, 11(5), 413–430. Sous la direction de Blaye A. et Lemaire P. Bruxelles : De Boeck Université.
- Noël M.P., (2007) Le développement numérique. *Psychologie du développement cognitif de l'enfant*. Sous la direction de Blaye A. et Lemaire P. Bruxelles : De Boeck Université.
- Pagani L.S., Fitzpatrick C., Archambault I., Janosz M., (2010) School readiness and later achievement : a french canadian replication and extension. *Developmental psychology*, Vol. 46, No. 5, 984-994. Montreal : American psychological association.
- Palmer S., (2000) Working memory : a developmental study of phonological recording. *Memory*, 8, 179-193.
- Passolunghi M.C., Cornoldi C., De Liberto S., (1999) Working memory and intrusions of irrelevant information in a group of specific poor problem solvers. *Memory and cognition*, 27, 779-790.
- Passolunghi M.C, Siegler L.S., (2001) Short-term memory, working memory and inhibitory control in children with difficulties in arithmetic problem solving. *Journal of experimental Child Psychology*, 80.44-57.
- Piaget J., (1967) *La psychologie de l'intelligence*. Armand Collin, coll. « U2 ».
- Piaget J., Szeminska A., (1972) *La genèse du nombre*. Genève, Delachaux et Niestlé.
- Pickering S.J., (2004) Développement de la mémoire de travail visuo-spatiale et troubles des apprentissages. *Développement cognitif et troubles des apprentissages*, p. 51-68.
- Pesenti M., (2000) Diagnostic et évaluation des troubles du calcul et du traitement des nombres. *La neuropsychologie des troubles du calcul et du traitement des nombres*. Marseille : Solal.

- Pesenti M., Seron X., (2000) Neuropsychologie des troubles du calcul : une introduction. *La neuropsychologie des troubles du calcul et du traitement des nombres*. Marseille : Solal.
- Pesenti M., Seron X., (2004) *La cognition numérique*. Paris : Hermès science.
- Pickering S.J., (2004) Développement de la mémoire de travail et troubles des apprentissages. *Développement cognitif et troubles des apprentissages : évaluer, comprendre, rééduquer et prendre en charge*. Marseille : Solal.
- Shalev R.S., (2004) Developmental dyscalculia. *Journal of child neurology*, 18, 765-771.
- Shalev R.S., Gross-Tsur V., (2001) Developmental dyscalculia. *Pediatric neurology*. 24 : 337-342.
- Shallice T., (1982) Specific impairments of planning. In Broadbent, D. E., Weiskrantz, L. (Eds.). *The Neuropsychology of Cognitive Functions*, pp. 199-209. London : The Royal Society.
- Shallice T., Warrington E., (1970) Independent functioning of verbal memory stores : a neuropsychological study. *Quarterly journal of experimental psychology*, 22, 261-273.
- 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., (1988) Individual differences in strategy choice : good students, not-so-good students and perfectionists. *Child development*, 59,833-851.
- Siegler R.S., Shrager J., (1984) Strategy choices in addition and subtraction : how do children know what to do ? In Sophian C. (Ed.). *Origins of cognitive skills*. Hillsdale : Erlbaum.
- Siegler R. S., Opfer J. (2003) The development of numerical estimation: evidence for multiple representations of numerical quantity. *Psychological Science*, 14, 237-243.
- Siéoff E., (1994) Les mécanismes attentionnels. *Neuropsychologie humaine*, 127-151. Liège : Mardaga.
- Resnick L.B., (1983) A developmental theory of number understanding. In Ginsburg H.P., (Ed.) *The development of mathematical thinking*, pp.109-151. New York : Academic Press.
- Rocher T., (2008) *Lire, écrire et compter : les performances des élèves de CM2 à vingt ans d'intervalle de 1987 à 2007*. Ministère de l'Éducation Nationale, DEPP, 08-38.
- Rosenthal J.A., Resnick L.B., (1974) Children's solution processes in arithmetic word problems. *Journal of educational psychology*, 66 (6), 817-825.

- Rousselle L., Noel M-P., (2007) Basic numerical skills in children with mathematics learning disabilities: a comparison of symbolic versus non-symbolic number magnitude processing. *Cognition*, 102, 361-395.
- Roux M-O., (2011) A propos des difficultés en mathématiques à la fin de l'école élémentaire : apport d'un test spécifique (Zareki-R) à la description des troubles numériques chez les enfants en difficulté d'apprentissage. *ANAE*, 112-113, 255-264.
- Temple C. (1992) Developmental dyscalculia. *Handbook of neuropsychology*, vol.7, Child neuropsychology.
- Thioux M., (2000) Le transcodage des numéraux : revue critique des études de cas en neuropsychologie et leurs implications sur la modélisation des traitements numériques. *La neuropsychologie des troubles du calcul et du traitement des nombres*. Marseille : Solal.
- Tulving H.H., (1972) Episodic and semantic memory. *Organisation of memory*. New York : Academic press.
- Tulving H.H. (1983) *Elements of episodic memory*. Londres : Oxford university press.
- Vandenborre F., (2002) *Essai de compréhension des stratégies déficitaires de calcul chez trois enfants avec troubles sévères du développement du langage oral*. Thèse de médecine.
- Van Hout A, Meljac C, Fischer J-P., (2001) *Troubles du calcul et dyscalculies chez l'enfant*. Paris : Masson.
- Van Nieuwenhoven C., De Vriendt S., (2010) *L'enfant en difficulté d'apprentissage en maths : pistes diagnostiques et supports d'intervention*. Marseille : Solal.
- Van Zomeren A.H., Brouwer W.H., (1994) *Clinical neuropsychology of attention*. New York : Oxford university press.
- Vannetzel L., Eynard L-A., Meljac C., (2009) Dyscalculie : une rencontre difficile. *ANAE*, 102 ; 135-144.
- Vilette B., (1996) *Le développement de la quantification chez l'enfant*. Lille : Presses universitaires du Septentrion.
- Von Aster M.G., (2009) Le problème de la comorbidité dans les troubles du calcul. *ANAE*, 102 ; 152-157.
- Xu, Spelke E.S., (2000) Large number discrimination in 6 month old infants. *Cognition*, 74, B1-B11.

Yoshida H., Kuriyama K., (1991) Learning to count in Japanese. In Durkin K., Shire B. (Eds).  
*Language in mathematical education : research and practice*. Milton Keynes : Open  
university press.

# **GLOSSAIRE**

## **Légende des tableaux de scores obtenus aux évaluations en CE1**

Nsuj	Numéro du sujet
Groupe	Groupe 1 = « faibles », 2 = « forts »
Sexe	Sexe 1 = fille, 2 = garçon
Latéralité	Latéralité 1 = droitier, 2 = gaucher
DN	Date de naissance
CSPP	Catégorie socioprofessionnelle du père
CSPM	Catégorie socioprofessionnelle de la mère
LGM	Nombre de langues maternelles parlées
DP	Date de passation
Ecole	Ecole 1 = Keller, 2 = Télégraphe
Examin	Examinatrice

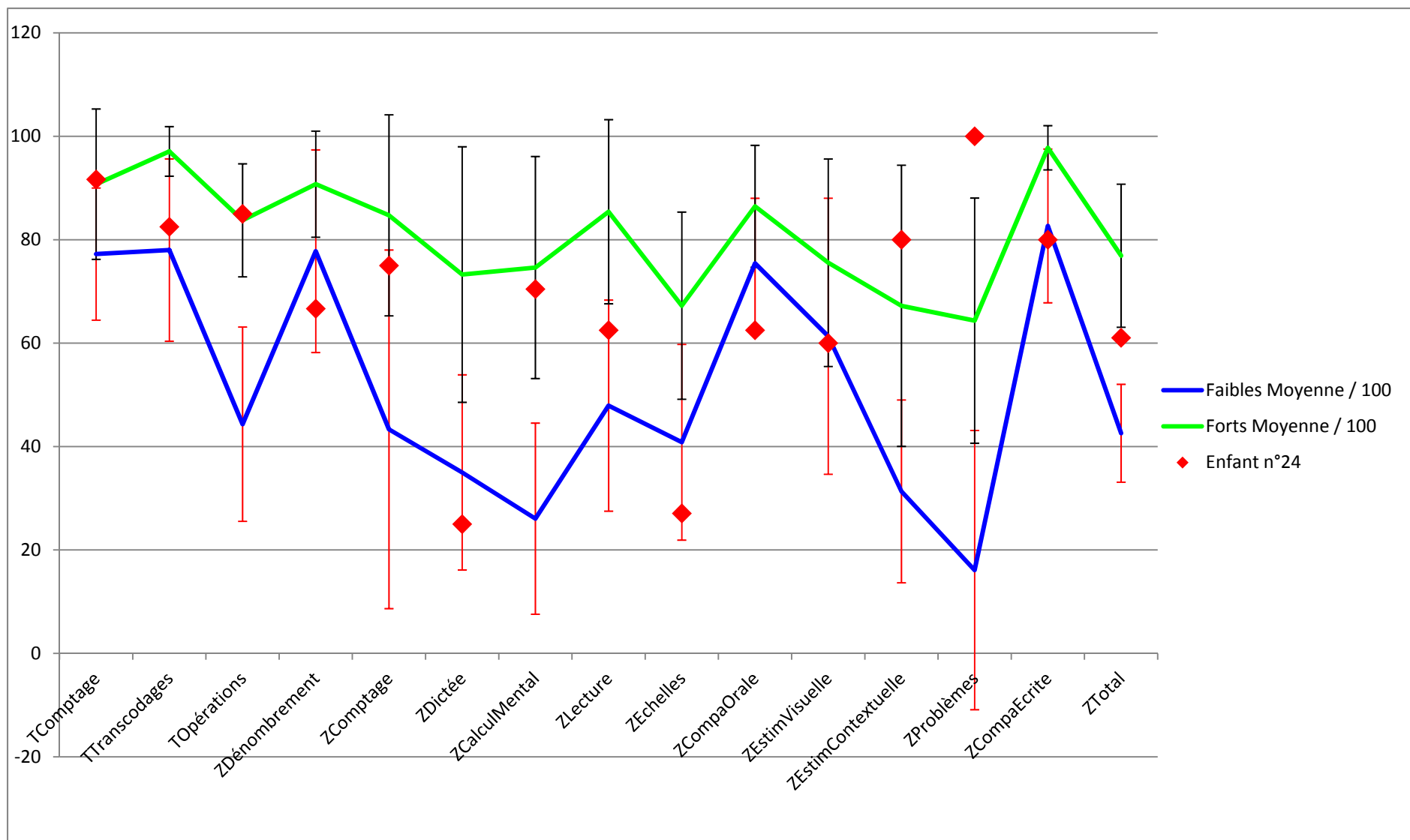
## **Tableau A**

TCG	Tedi-math Comptage
TTR	Tedi-math Transcodages
TOP	Tedi-math Opérations
ZDE	Zareki-R Dénombrement
ZCG	Zareki-R Comptage
ZTRL	Zareki-R Transcodage dictée
ZTRD	Zareki-R Transcodage lecture
ZCM	Zareki-R Calcul mental
ZL	Zareki-R Positionnement de nombres sur une échelle
ZCOO	Zareki-R Comparaison de nombres présentés à l'oral
ZCOE	Zareki-R Comparaison de nombres présentés à l'écrit
ZESV	Zareki-R Estimation visuelle de quantité
ZESQ	Zareki-R Estimation qualitative en contexte
ZPR	Zareki-R Problèmes
ZTOT	Zareki-R Total

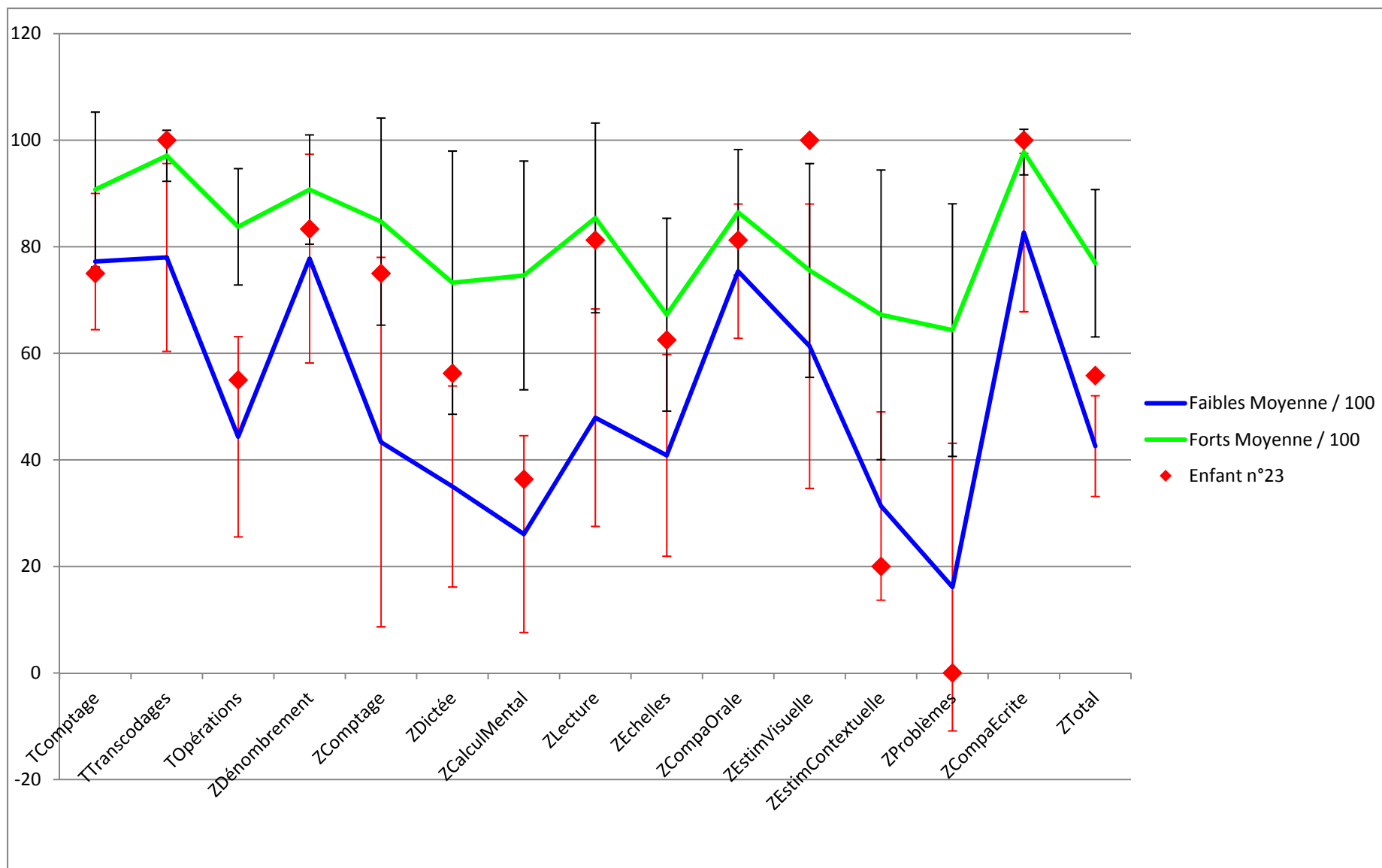
Les scores sont exprimés en Percentile pour les épreuves du Tedi-math et en Ecart-type pour le Zareki-R.

## Tableau B

EPH	EDA Phonologie
EEV	EDA Evocation lexicale
ECOL	EDA Compréhension lexicale
EEX	EDA Expression syntaxique
ECO	EDA Compréhension syntaxique
TIMETOT	Timé 2 total en note brute
TIMETOTS	Timé 2 total niveau
EDIC	EDA Dictée
ERAI	EDA Raisonnement visuo-spatial
EPCTOT	EDA Praxies constructives total niveau CP/CE1
EPCPTP	EDA Praxies constructives temps de réalisation de la Pyramide (sec)
EPCCTP	EDA Praxies constructives temps de réalisation de la Croix (sec)
EPG	EDA Praxies gestuelles
REYC	Figure de Rey en copie
REYCTP	Figure de Rey temps de copie (sec)
REYM	Figure de Rey de mémoire
COREE	Cubes de Corsi empan endroit
CORRE	Cubes de Corsi empan rebours
NEP	NEPSY Attention auditive et réponses associées total

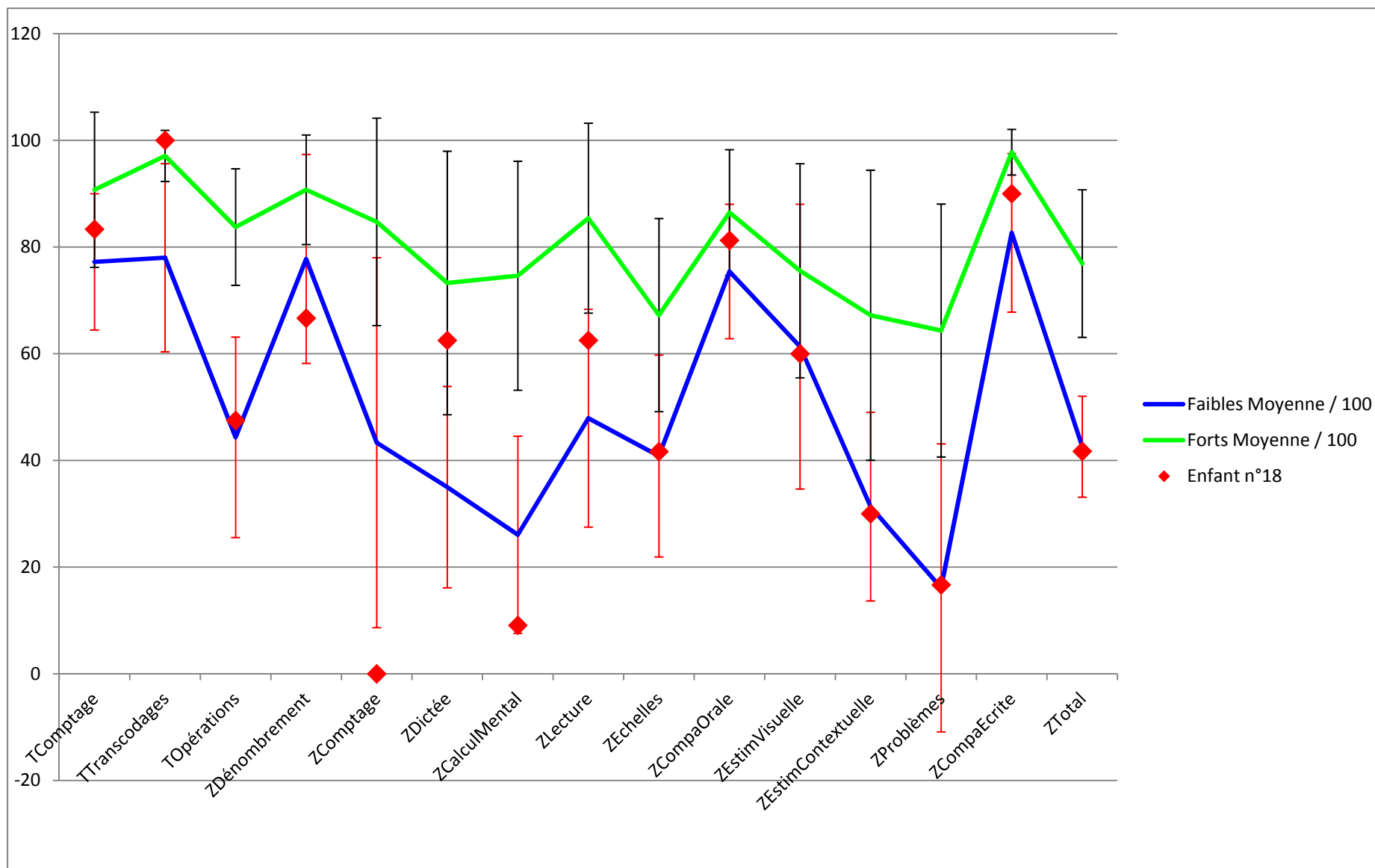


**Annexe n° 1 – Situation de l'enfant n°24 par rapport aux moyennes des 2 groupes aux épreuves arithmétiques au CE1**

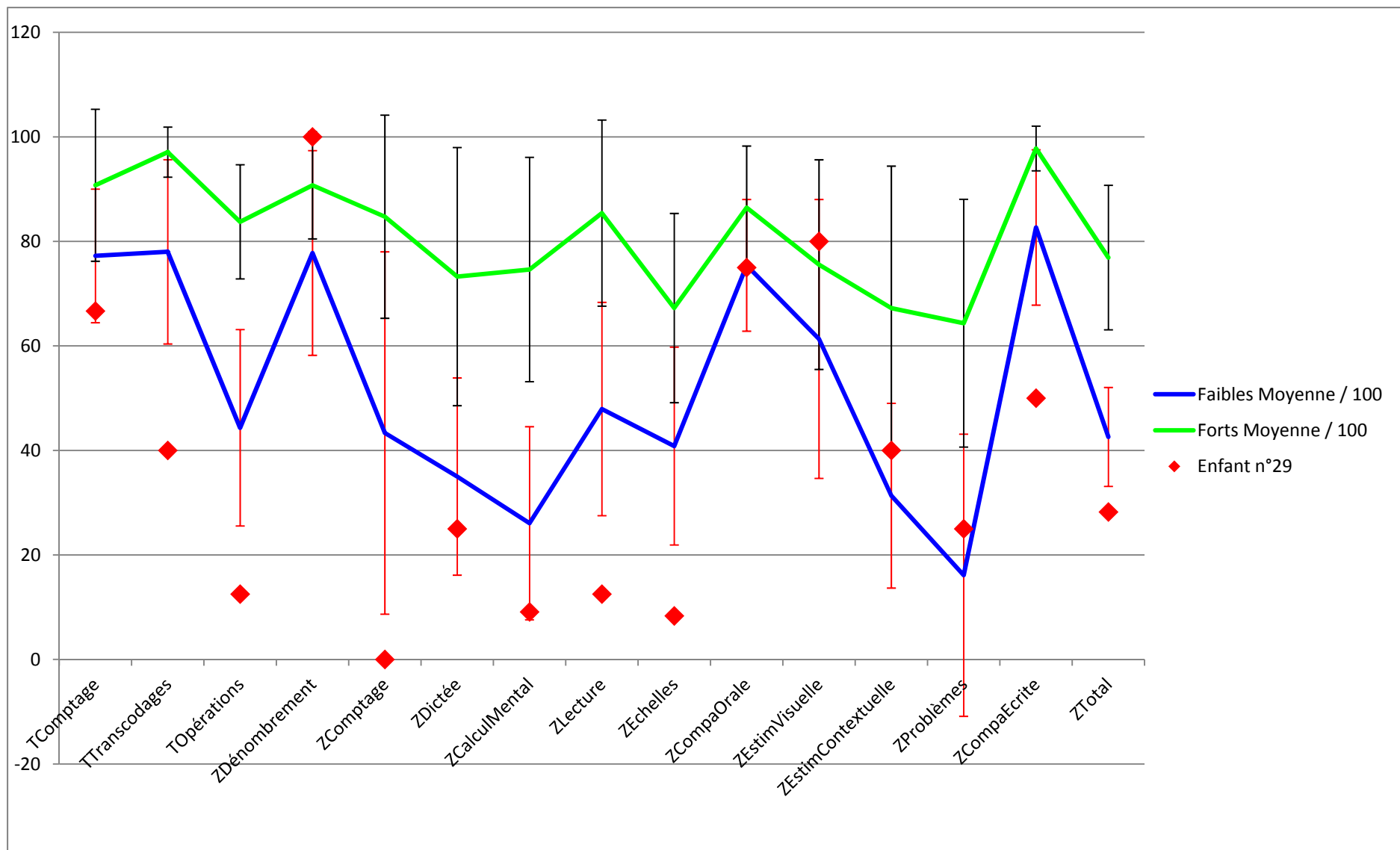


**Annexe n° 2 – Situation de l'enfant n°23 par rapport aux moyennes des 2 groupes aux épreuves arithmétiques au CE1**

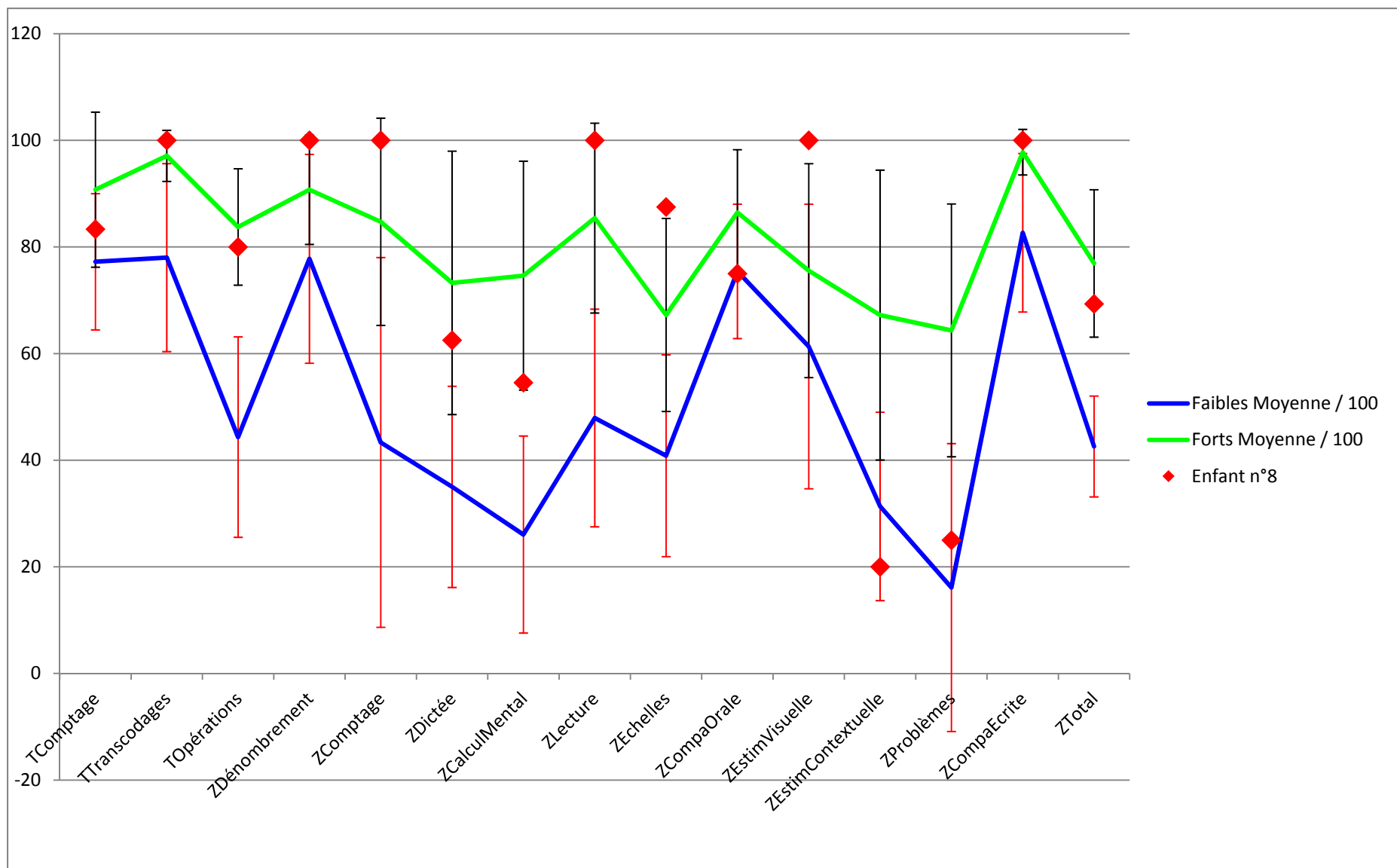




**Annexe n° 3 – Situation de l'enfant n°18 par rapport aux moyennes des 2 groupes aux épreuves arithmétiques au CE1**



**Annexe n° 4 - Situation de l'enfant n°29 par rapport aux moyennes des 2 groupes aux épreuves arithmétiques au CE1**



**Annexe n° 5 - Situation de l'enfant n°8 par rapport aux moyennes des 2 groupes aux épreuves arithmétiques au CE1**

	Groupe des "faibles"		Groupe des "forts"		Effectif total
	Keller	Télégraphe	Keller	Télégraphe	
<u>CSP (INSEE)</u>					
3. Professions libérales et cadres supérieurs	<b>2</b>	0	<b>7</b>	0	<b>9</b>
4. Cadres moyens	0	0	<b>4</b>	0	<b>4</b>
5. Employés	1	0	1	0	<b>2</b>
6. Ouvriers	0	0	1	0	<b>1</b>
8. Autres catégories	0	1	1	0	<b>2</b>
Non renseigné	1	10	1	<b>2</b>	14
<u>Genre</u>					
Fille	2	6	11	1	20
Garçon	2	5	4	1	21
<u>Nombre de langues parlées</u>					
1	1	2	10	2	15
1 et plus	<b>3</b>	<b>9</b>	<b>5</b>	0	<b>17</b>

**Annexe n° 6 - Données démographiques de l'échantillon**

Nsuj	Groupe	Sexe	Latéralité	Age	DN	CSPP	CSPM	LGM	DP	Ecole	Classe
1	2	1	1	7ans8	05/01/2005	3	3	2	13/12/2012	1	CE1B
2	2	1	2	7ans5	22/12/2005	3	3	1	11/12/2012	1	CE1 CE2
3	2	2	1	7ans10	01/02/2005	3	3	1	13/12/2012	1	CE1 CE2
4	2	2	1	7ans7	06/05/2005	4	0	1	10/12/2012	1	CE1A
5	2	1	1	7ans10	04/02/2005	3	3	1	14/12/2012	1	CE1B
6	2	2	1	7ans7	30/04/2005	0	0	1	18/12/2012	2	CE1CE2
7	2	1	1	7ans 9	10/03/2005	3	3	2	10/12/2012	1	CE1A
8	2	1	1	7ans2	24/09/2005	0	0	3	11/12/2012	1	CE1CE2
9	2	1	1	7ans5	25/06/2005	3	4	2	10/12/2012	1	CE1CE2
10	2	2	1	7ans2	01/10/2005	5	2	1	14/12/2012	1	CE1B
11	2	1	1	7ans10	07/02/2005	4	4	1	11/12/2012	1	CE1CE2
12	2	1	1	7ans7	19/04/2005	3	3	1	12/12/2012	1	CE1CE2
13	2	1	1	7ans 9	06/03/2005	3	8	1	10/12/2012	1	CE1A
14	2	1	1	7ans	18/11/2005	3	4	1	10/12/2012	1	CE1A
15	2	2	1	7ans5	11/07/2005	3	3	1	13/12/2012	1	CE1B
16	2	1	1	7ans8	30/03/2005	0	0	1	18/12/2012	2	CE1A
17	2	1	2	7ans 10	03/02/2005	6	5	2	10/12/2012	1	CE1A
18	1	1	1	7ans6	16/06/2005	6	8	2	17/12/2012	2	CE1A
19	1	2	1	7ans2	14/09/2005	0	5	1	10/12/2012	1	CE1A
20	1	2	1	7ans6	24/05/2005	0	0	2	18/12/2012	2	CE1CE2
21	1	2	2	7ans 1	24/10/2005	0	0	2	13/12/2012	1	CE1B
22	1	1	1	7ans	10/12/2005	0	0	2	17/12/2012	2	CE1B
23	1	1	1	7ans7	19/05/2005	0	0	2	20/12/2012	2	CE1B
24	1	1	1	7ans1	03/11/2005	2	3	2	13/12/2012	1	CE1B
25	1	1	1	7ans11	08/01/2005	0	0	2	18/12/2012	2	CE1B
26	1	2	1	7ans11	19/01/2005	0	0	2	18/12/2012	2	CE1B
27	1	2	1	7ans 4	15/08/2005	0	0	1	17/12/2012	2	CE1A
28	1	1	1	7ans4	08/08/2005	0	0	2	17/12/2012	2	CE1A
29	1	2	1	7ans7	27/04/2005	0	0	1	17/12/2012	2	CE1A
30	1	2	2	7ans8	12/04/2005	0	0	2	17/12/2012	2	CE1B
31	1	1	1	7ans	12/12/2005	0	0	3	17/12/2012	2	CE1A
32	1	1	1	7ans	16/11/2005	3	3	2	11/12/2012	1	CE1A

Annexe 7 : Tableau A - Scores obtenus par enfant à l'évaluation des compétences arithmétiques au CE1

Nsuj	Groupe	Sexe	Exam	TCG	TTR	TOP	ZDE	ZCG	ZTRD	ZTRL	ZCM	ZL
1	2	1	2	100	100	100	0,89	1,21	1,11	1	2,16	0,69
2	2	1	2	100	30	60	0,89	0,5	-0,89	0,19	1,55	-0,67
3	2	2	1	35	100	85	-0,22	1,21	1,11	1,27	2,27	1,31
4	2	2	1	10	100	85	0,89	1,21	1,11	1,27	2,1	1,2
5	2	1	1	10	60	85	-0,22	1,21	1,33	1,27	2,5	0,4
6	2	2	1	100	60	65	0,89	-0,21	0,44	-0,08	0,11	0,69
7	2	1	2	100	100	85	-1,33	0,5	0,89	0,46	2,16	0,17
8	2	1	2	10	100	70	0,89	1,21	0	1,27	0,56	1,42
9	2	1	1	100	100	85	-0,22	1,21	0,89	1,27	1,75	0,69
10	2	2	2	0	100	85	-0,22	1,21	1,11	1	2,16	0,69
11	2	1	1	100	100	60	-0,22	0,5	0,89	1,27	1,4	0,5
12	2	1	1	10	100	100	0,89	1,21	0,67	1,27	1,96	1
13	2	1	2	100	55	55	-0,22	0,5	-1,33	-0,35	0,62	-0,15
14	2	1	2	100	60	60	-0,22	0,5	0,22	0,19	1,96	0,27
15	2	2	1	0	55	50	-0,22	-0,21	-0,22	0,19	0,11	0,17
16	2	1	1	100	100	85	0,89	1,21	1,33	1,27	2,16	1,12
17	2	1	1	100	30	85	0,89	-0,21	-0,89	-1,4	1,4	0,4
18	1	1	2	10	100	10	-1,33	-1,64	0	-0,35	-1,55	-0,88
19	1	2	2	100	60	30	-1,33	-0,21	-0,89	-0,35	-0,41	-1,71
20	1	2	2	10	60	35	-3,56	-0,21	0,67	0,19	-0,21	0,17
21	1	2	2	0	20	5	0,89	-1,64	-1,33	-1,7	-0,62	0,17
22	1	1	2	100	30	0	0,89	1,21	-0,89	-0,35	-1,96	-1,08
23	1	1	2	0	100	25	-0,22	0,5	-0,22	-0,46	-0,31	0,17
24	1	1	1	35	30	80	-1,33	0,5	-1,33	-0,35	1,3	-1,6
25	1	1	2	10	20	5	-1,33	-1,64	-0,89	-1,16	-0,93	-1,92
26	1	2	1	10	5	0	-1,33	-1,64	-1,33	-0,89	-1,03	0,69
27	1	2	1	0	0	0	0,89	0,5	-1,33	-1,97	-1,96	-0,98
28	1	1	1	0	0	0	-1,33	-0,21	-1,78	-1,97	-0,31	-0,98
29	1	2	1	0	0	0	0,89	-1,64	-1,33	-2,51	-1,55	-2,54
30	1	2	2	0	15	0	-0,22	0,5	-1,33	-0,89	-0,72	-1,92
31	1	1	2	0	10	30	0,89	-0,92	-1,78	-1,97	-1,34	-0,15
32	1	1	1	10	40	25	-1,33	-0,21	-0,89	-0,89	-0,1	-1,2

Annexe 7 : Tableau A - Scores obtenus par enfant à l'évaluation des compétences arithmétiques au CE1

Nsuj	Groupe	Sexe	ZCOO	ZCOE	ZESV	ZESQ	ZPR	ZTOT
1	2	1	1,55	0,91	1,9	2,17	2,5	2,5
2	2	1	0,94	0	-0,1	0,5	2,5	0,89
3	2	2	0,94	0,91	0,9	1,75	1,17	2,14
4	2	2	1,5	0,91	1,9	1,75	2,8	2,4
5	2	1	1,5	0,91	0,9	2,2	1,17	2,19
6	2	2	0,87	0,91	0,9	-0,33	0,5	0,25
7	2	1	0,33	0,91	-0,1	0,58	2,17	1,5
8	2	1	0,33	0,91	1,9	-1,17	-0,17	0,8
9	2	1	1,24	0,91	-0,1	-0,75	1,83	1,6
10	2	2	0,64	0,91	-1,1	1,75	1,5	1,89
11	2	1	0,94	0	1,9	1,75	1,5	1,56
12	2	1	0,94	0,91	-0,1	0,9	2,2	1,9
13	2	1	1,24	0	0,9	-0,75	1,17	0,21
14	2	1	0,64	0,91	0,9	1,75	0,5	1,36
15	2	2	0,94	0,91	0,9	0,9	-0,2	0,31
16	2	1	0,94	0	-0,1	1,75	2,5	2,21
17	2	1	0,94	0,91	1,9	0,5	1,5	0,7
18	1	1	0,64	0	-0,1	-0,75	-0,5	-1,04
19	1	2	-1,18	0	-2,1	-0,33	0,17	-1,04
20	1	2	0,64	0,91	0,9	-1,17	0,5	0,07
21	1	2	-0,27	0	-2,1	-0,33	-0,83	-1,04
22	1	1	0,94	-0,91	-0,1	-1,17	-0,5	-1,2
23	1	1	0,64	0,91	1,9	-1,17	-1,17	-0,1
24	1	1	-0,3	-0,91	-0,1	1,33	2,8	0,3
25	1	1	0,94	0	-1,1	-1,17	-1,17	-1,41
26	1	2	0,33	-3,64	0,9	-1,17	-1,17	-1,14
27	1	2	0,33	-0,91	-0,1	-1,58	-1,17	-1,76
28	1	1	0,94	-0,91	-0,1	-0,33	-1,17	-1,1
29	1	2	0,33	-3,64	0,9	-0,33	-0,17	-1,94
30	1	2	0,64	0	0,9	0,08	-1,17	-1
31	1	1	-0,27	0	-2,1	-1,17	-1,17	-1,55
32	1	1	0,94	-0,91	1,9	-1,17	-1,17	-0,7

Annexe 7 : Tableau A - Scores obtenus par enfant à l'évaluation des compétences arithmétiques au CE1

Nsuj	Groupe	Sexe	Latéralité	DN	Age	CSPP	CSPM	LGM	DP	Ecole	Classe	Examin	Liste	EPH
1	2	1	1	38357	8ans 1	3	3	2	41310	1	CE1B	1	A	0,5
2	2	1	2	38708	7ans1	3	3	1	41309	1	CE1 CE2	1	A	0,5
3	2	2	1	38384	8ans	3	3	1	41323	1	CE1 CE2	2	B	-0,75
4	2	2	1	38478	7ans10	4	0	1	41319	1	CE1A	2	A	0,5
5	2	1	1	38387	8ans	3	3	1	41319	1	CE1B	2	A	-0,75
6	2	2	1	38472	7ans10	0	0	1	41309	2	CE1CE2	2	A	0,5
7	2	1	1	38421	7ans10	3	3	2	41310	1	CE1A	1	B	0,5
8	2	1	1	38619	7ans4	0	0	3	41309	1	CE1CE2	1	B	-4,5
9	2	1	1	38528	7ans8	3	4	2	41323	1	CE1CE2	2	B	0,5
10	2	2	1	38626	7ans4	5	2	1	41310	1	CE1B	1	B	0,5
11	2	1	1	38390	8ans	4	4	1	406565	1	CE1CE2	2	B	0,5
12	2	1	1	38461	7ans9	3	3	1	41323	1	CE1CE2	2	A	0,5
13	2	1	1	38417	7ans11	3	8	1	41310	1	CE1A	1	A	0,5
14	2	1	1	38674	7ans3	3	4	1	41319	1	CE1A	2	A	0,5
15	2	2	1	38544	7ans7	3	3	1	41310	1	CE1B	1	B	-0,75
16	2	1	1	38441	7ans6	0	0	1	41323	2	CE1A	1	B	0,5
17	2	1	2	38386	8ans	6	5	2	41319	1	CE1A	2	A	-0,75
18	1	1	1	38519	7ans7	6	8	2	41316	2	CE1A	1	B	-0,75
19	1	2	1	38609	7ans4	0	5	1	41310	1	CE1A	1	B	0,5
20	1	2	1	38496	7ans8	0	0	2	41316	2	CE1CE2	1	B	0,5
21	1	2	2	38649	7ans3	0	0	2	41309	1	CE1B	1	A	-0,75
22	1	1	1	38696	7ans4	0	0	2	41319	2	CE1B	1	B	0,5
23	1	1	1	38491	7ans8	0	0	2	41319	2	CE1B	1	B	0,5
24	1	1	1	38659	7ans3	2	3	2	41310	1	CE1B	1	A	0,5
25	1	1	1	38360	8ans1	0	0	2	41319	2	CE1B	1	A	-0,75
26	1	2	1	38371	8ans	0	0	2	41309	2	CE1B	2	A	-0,75
27	1	2	1	38579	7ans6	0	0	1	41310	2	CE1A	2	A	-0,75
28	1	1	1	38572	7ans6	0	0	2	41310	2	CE1A	2	A	0,5
29	1	2	1	38469	7ans9	0	0	1	41310	2	CE1A	2	A	0,5
30	1	2	2	38454	7ans 10	0	0	2	41319	2	CE1B	1	B	-2
31	1	1	1	38698	7ans2	0	0	3	41316	2	CE1A	1	B	0,5
32	1	1	1	38672	7ans3	3	3	2	41319	1	CE1A	2	B	0,5

Annexe 8 : Tableau B - Scores obtenus par enfant à l'évaluation des fonctions cognitives générales au CE1



Nsuj	Groupe	Sexe	EEV	ECOL	EEX	ECO	TIMETOT	TIMETOTS	EDIC	ERAI	EPCTOT	EPCPTPS	EPCCTPS	EPG
1	2	1	1,94	1,1	1,12	1,64	32	bon	1,0625	1,18	0,25	0,7	0,43	0,6
2	2	1	-3,05	-1,4	0,88	0,93	22	bon	-0,1875	0,51	0,25	-0,3	0,92	0,1
3	2	2	0,55	0,6	0,07	0,93	20	bon	-1,4375	0,95	0,25	-0,43	0,43	-0,9
4	2	2	1,67	0,6	0,07	0,93		bon		1,18	0,25	-0,05	0,6	-0,9
5	2	1	-0,28	1,1	0,07	0,93	29	bon	0,4375	1,84	-2,25	0,83	0,76	0,4
6	2	2	0	-0,9	-1,98	1,29				0,07	0,25	-0,55	0,27	0,1
7	2	1	0,3	1,6	0,4	-0,14	32	bon	-0,1875	-0,6	0,25	-0,67	-0,37	0,6
8	2	1	-2,5	0,6	-3,6	-1,6	32	bon	-0,8125	0,73	0,25	-0,92	-1,02	-0,9
9	2	1	0,83	0,6	0,17	1,29		bon	-10,8125	0,73	0,25	0,2	0,27	0,6
10	2	2	1,94	1,6	1,36	1,29	22	bon	-2,0625	1,18	0,25	0,14	0,43	0,6
11	2	1	1,39	1,1	0,4	0,93	32	bon	-0,1875	0,73	0,25	0,07	0,43	0,1
12	2	1	1,39	1,6	1,36	1,64	32	bon	1,0625	1,62	0,25	0,7	0,27	0,1
13	2	1	1,9	1,1	1,12	-0,85	33	bon	1,0625	1,18	0,25	-0,43	-0,37	0,6
14	2	1	1,11	-2,4	0,64	0,93	27	bon	-0,8125	-0,38	0,25	0,2	-0,05	-0,9
15	2	2	0,3	1,1	-0,31	0,93	28	bon	0,4375	-0,15	0,25	-1,3	-0,53	0,6
16	2	1	1,11	1,1	0,88	1,29	35	bon	1,0625	0,95	-2,25	0,57	-0,37	0,6
17	2	1	0,83	0,6	0,07	1,29	26	bon	-0,8125	1,18	-2,25	-0,3	0,92	0,1
18	1	1	-4,72	-1,9	-3,6	-0,14	10	faible	-5,1875	-0,82	0,25	-1,85	-0,85	-1,4
19	1	2	-0,83	-0,4	-1,02	1,64	22	bon	-0,1875	-1,5	-4,75	-13,3	-1,5	0,1
20	1	2	-1,67	-0,9	-1,02	-2,6				-1,5	0,25	-0,05	0,43	-1,4
21	1	2	-1,9	-3,3	-1,3	-3,35	20	bon	-4,25	-3,9	-2,25	-2,17	-0,85	0,1
22	1	1	-1,67	-1,4	-2,21	0,93	28	bon	-1,4375	-0,82	0,25	-1,3	-0,37	0,6
23	1	1	-2,8	-1,4	-2,45	0,93	16	moyen	-5,1875	-0,38	0,25	0,33	0,6	0,6
24	1	1	1,39	1,1	1,12	1,64	26	bon	-2,0625	-0,15	0,25	-0,43	0,43	0,1
25	1	1	-1,11	-0,9	-1,02	-1,21	13	faible	-4,5625	0,29	-2,25	-1,55	-1,98	0,6
26	1	2	-3,61	-4,4	-1,5	-1,57	25	bon	-2,6875	0,07	0,25	-3,8	-1,5	-2,4
27	1	2	-4,44	-2,9	-1,98	-3,71	11	faible	-4,5625	-3,63	-2,25	-0,18	-1,34	-3,9
28	1	1	-1,38	1,1	-2,21	-0,85	20	bon	-3,3125	0,07	-2,25	0,14	0,27	-3,4
29	1	2	-1,67	-1,4	-1,74	-1,21	11	faible	-5,1875	-0,38	-2,25	0,45	-0,21	-0,4
30	1	2	-4,2	-5,9	0,17	-3	13	faible	-5,8125	-1,71	0,25	-5,05	-1,5	0,1
31	1	1	-1,38	-0,9	-0,54	-1,9	19	bon	-1,4375	-0,6	-9,7	-0,8	-0,69	0,1
32	1	1	-0,83	0,1	0,64	0,57	17	moyen	-2,6875	0,07	-2,25	-0,8	-0,05	-1,4

Annexe 8 : Tableau B - Scores obtenus par enfant à l'évaluation des fonctions cognitives générales au CE1

Nsuj	Groupe	Sexe	REYC	REYCTPS	REYM	ZREEE	ZRERE	COREE	CORRE	NEP
1	2	1	1,7	P5-10	2,3	6	5	7	6	1,40080972
2	2	1	-0,9	P25-50	0,5	5	4	5	6	0,91737892
3	2	2	0,1	P25-50	0,9	5	4	4	4	1,6437247
4	2	2	-0,1	P50-75	0,4	6	4	5	4	1,45868946
5	2	1	1,2	P25-50	1,9	6	4	5	6	1,48178138
6	2	2	-0,1	P10-25	-0,23	6	5	8	5	1,002849
7	2	1	0,1	P25-50	-0,2	6	3	5	2	1,03133903
8	2	1	-1,3	P10-25	0,8	4	3	6	6	-0,36467236
9	2	1	-1,2	P10-25	0,46	6	5	6	4	1,48717949
10	2	2	0,2	P50-75	0,5	5	2	6	5	1,08831909
11	2	1	0,9	P75-90	0,5	5	4	3	4	1,15789474
12	2	1	-1,13	P25-50	0,23	5	4	6	4	1,40080972
13	2	1	-0,2	P10-25	-0,5	4	4	6	5	0,46153846
14	2	1	-0,1	P50-75	-0,5	6	5	4	5	0,63247863
15	2	2	-0,1	P25-50	-1	6	3	7	4	1,03133903
16	2	1	0,6	P10-25	0	5	3	5	5	1,17378917
17	2	1	0,4	P25-50	0,84	6	4	5	6	1,19838057
18	1	1	-0,6	P25-50	-0,8	4	4	4	4	0,68945869
19	1	2	-1,13	P25-50	-1	5	3	5	2	0,46153846
20	1	2	-1,5	P25-50	-0,8	4	3	5	4	-1,3048433
21	1	2	-1,9	P10-25	-1,3	4	4	4	4	-2,44444444
22	1	1	-1,4	P10-25	-0,3	3	3	4	2	-2,07407407
23	1	1	0,6	P50-75	0	4	3	4	4	0,8034188
24	1	1	-0,2	P50-75	1,15	6	5	4	3	0,23361823
25	1	1	-2	P25-50	-0,5	6	3	4	2	-1,5951417
26	1	2	-1,4	P50-75	-0,2	4	3	5	2	-0,62348178
27	1	2	-1,3	P25-50	-1,4	4	3	5	2	-0,20512821
28	1	1	-0,8	P<2	-0,6	5	3	4	4	0,91737892
29	1	2	-1,3	P50-75	-0,4	4	3	4	3	incotable
30	1	2	-1,3	P25-50	-0,8	6	4	5	3	0,03418803
31	1	1	-1,2	P<2	-0,2	5	3	5	3	0,20512821
32	1	1	-0,5	P25-50	0,53	5	3	4	5	-0,76353276

Annexe 8 : Tableau B - Scores obtenus par enfant à l'évaluation des fonctions cognitives générales au CE1

## **ENGAGEMENT DE NON PLAGIAT**

Je soussignée Hélène JACQZ, déclare être pleinement consciente que le plagiat de documents ou d'une partie d'un document publiés sur toutes formes de support, y compris l'Internet, constitue une violation des droits d'auteur ainsi qu'une fraude caractérisée. En conséquence, je m'engage à citer toutes les sources que j'ai utilisées pour écrire ce mémoire.

Je soussignée Hélène SECHET, déclare être pleinement consciente que le plagiat de documents ou d'une partie d'un document publiés sur toutes formes de support, y compris l'Internet, constitue une violation des droits d'auteur ainsi qu'une fraude caractérisée. En conséquence, je m'engage à citer toutes les sources que j'ai utilisées pour écrire ce mémoire.

## **RESUME**

Dans le cadre d'une étude longitudinale, notre objectif est d'observer l'évolution des compétences arithmétiques d'enfants entre le CP et le CE1, et d'en déterminer les facteurs. Ainsi, d'une première étude, nous avons extrait un échantillon de 32 enfants, les plus faibles et les plus forts d'après leurs résultats en mathématiques au CP, et nous les avons à nouveau testés à l'aide d'épreuves issues de batteries standardisées. Il en ressort que la différence entre la moyenne des « faibles » et celle des « forts » reste statistiquement significative au CE1 pour la plupart des épreuves. Par ailleurs, les études de cas illustrent diverses dynamiques évolutives : si la plupart des enfants « faibles » au CP demeurent en difficultés au CE1, certains voient leurs scores se normaliser.

**Mots-clefs :** mathématiques, évolution des compétences, CP, CE1, fonctions cognitives

## **ABSTRACT**

Our aim was to observe, in a longitudinal study, the evolution of arithmetic skills in children from their first (CP) to their second (CE1) year of primary school and to look for determining factors.

From a previous study, carried out during their first year, we extracted a sample of 32 of the students who performed either poorly or well in mathematics. These students were tested once again in the course of their second year but this time with standard tests. Results show that, on most tasks, the gap between the average of the weaker students and that of the stronger remains statistically significant. In addition, detailed sub-studies reveal various evolution patterns: most of the weaker children's difficulties remain while the scores of some others reach average.

**Keywords :** mathematic skills, evolution, first year of Primary school, second year of Primary school, cognitive functions

Nombre de pages : 96 et 12 pour les annexes

Nombre de références bibliographiques : 129