HAL
open science

Évaluation du calepin visuo-spatial chez des enfants dyscalculiques âgés de 8 à 13 ans

Julie Roncier

▶ **To cite this version:**

Julie Roncier. Évaluation du calepin visuo-spatial chez des enfants dyscalculiques âgés de 8 à 13 ans. Sciences cognitives. 2013. dumas-00847761

HAL Id: dumas-00847761

https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-00847761v1

Submitted on 24 Jul 2013

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.

Julie RONCIER

Née le 14/12/1989

EVALUATION DU CALEPIN VISUO-SPATIAL CHEZ DES ENFANTS DYSCALCULIQUES AGES DE 8 A 13 ANS

Mémoire présenté en vue de l'obtention du certificat de capacité d'Orthophoniste

Université Bordeaux Victor Segalen Département d'Orthophonie

Année universitaire 2012-2013

UNIVERSITÉ
BORDEAUX
SEGALEN

Mémoire d'Orthophonie

TITRE : Evaluation du calepin visuo-spatial chez des enfants dyscalculiques âgés de 8 à 13 ans.

DATE DE PASSATION : 23 Juillet 2013

NOM DE L'ETUDIANT : Julie RONCIER

MEMBRES DU JURY :
- *Directrice Adjointe :* Anne LAMOTHE-CORNELOUP
- *Directeur de Mémoire :* Sophie LE MAROIS
- *Membres du Jury :* - Anne FRANCOIS SAINT CYR
-
-

APPRECIATION : Très Honorable – Honorable – Satisfaisant – Passable

COMMENTAIRES : Mémoire novateur avec une approche originale de la dyscalculie. La partie sur l'approche neuro-psychologique aurait cependant mérité d'être approfondie. La démarche de recherche est bien comprise et menée malgré certains biais. Il manque des liens entre les résultats et la bibliographie et les approches théoriques.
Les résultats ouvrent un champ de questions assez vaste.

Signature de la Directrice Adjointe

A. Lamothe-Corneloup

Signatures des membres du jury

146, rue Léo Saignat - 33076 Bordeaux cedex - France
Tél. : 05 57 57 10 10 - www.u-bordeaux2.fr

UNIVERSITÉ DE BORDEAUX

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier toutes les personnes qui m'ont aidée dans l'élaboration de ce mémoire :

Mme Sophie Le Marois, mon directeur de mémoire pour m'avoir suivie et conseillée dans ce travail pendant cette année,

Mme Lamothe-Corneloup, directrice du Département d'orthophonie

Mme Stéphanie Dumas, maître de stage pour son soutien et nos échanges tout au long de l'année.

Mme Amirault, neuropsychologue, pour son aide.

Tous les enfants et leurs parents pour m'avoir accordé leur temps.

Alicia, Sarah, Laureline, Lucile et Aurore pour ces années d'orthophonie bien remplies.

Je voudrais également remercier ma famille et mes proches pour leur soutien tout au long de ces années d'études et dans l'élaboration de ce mémoire.

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS 4

TABLE DES MATIERES 5

INTRODUCTION 8

PARTIE I : Partie théorique 10

A. Développement normal des capacités numériques chez l'enfant 11

1. La théorie piagétienne 11
1.1. Stade de l'intelligence sensorimotrice 11
1.2. Stade préopératoire 12
1.3. Stade des opérations concrètes 12
1.4. Stade des opérations formelles 13

2. La théorie neuropsychologique 14
2.1. Capacités précoces 14
2.2. Les premiers apprentissages 14
2.2.1. Acquisition de la chaîne numérique verbale 15
2.2.2. Processus de quantification 15
2.2.3. Savoirs arithmétiques - les opérations simples 17

B. La mémoire de travail 21

1. Modèles de la mémoire de travail 21
1.1. Baddeley : le modèle dominant 21
1.2. Le modèle de Baddeley 22
1.3. L'administrateur central 23
1.4. La boucle phonologique 23
1.5. Le calepin visuo-spatial 24
1.5.1. Le visual cache 25
1.5.2. L'inner scribe 25

2. Développement normal de la mémoire de travail chez l'enfant 26

C. La dyscalculie 29

1. Données numériques 29

2. Définitions 30

3. Classifications 31
3.1. Classifications anatomo-fonctionnelles 31

3.2. Classifications basées sur la neuroanatomie de l'adulte 32

D. Mémoire et calcul 34

1. Implication de la mémoire de travail dans le calcul 34

2. La mémoire de travail comme l'une des causes de la dyscalculie 34
2.1. Revue de la littérature 34
2.2. Arguments neuroanatomiques 35

3. Conséquences des capacités limitées en mémoire de travail 37

PARTIE II : Expérimentation 40

A. Matériel et méthode 41

1. Méthodologie 41
1.1. Problématique 41
1.2. Hypothèses et objectifs 41

2. Recrutement de la population 42
2.1. Critères d'inclusion et d'exclusion 42
2.1.1. Critères d'inclusion 42
2.1.2. Critères d'exclusion 42
2.2. Description de la population 43

3. Evaluation 45
3.1. Evaluation de l'inner scribe : Cubes de Corsi 45
3.1.1. Présentation 45
3.1.2. Description du matériel 45
3.1.3. Consignes 46
3.1.4. Cotation 46
3.2. Evaluation du visual cache : "Localisation de points" (CMS) 47
3.2.1. Présentation 47
3.2.2. Description du matériel 47
3.2.3. Consignes 48
3.2.4. Cotation 49
3.3. Déroulement de l'évaluation 49

B. Résultats 50

1. Lecture des résultats 50

2. Résultats à l'épreuve des cubes de Corsi 51
2.1. Répartition des résultats à l'épreuve des cubes de Corsi 51
2.2. Résultats à l'épreuve des cubes de Corsi en fonction de l'âge 52
2.3. Résultats à l'épreuve des cubes de Corsi en fonction du trouble orthophonique 54
2.3.1. Comparaison des résultats des deux groupes 54
2.3.2. Résultats des enfants avec troubles du calcul seulement 54

2.3.3. Résultats des enfants avec troubles du calcul et du langage écrit 55
2.4. Résultats à l'épreuve des cubes de Corsi en fonction du sexe 56

3. Résultats à l'épreuve "Localisation de points" (CMS) 57
3.1. Répartition des résultats à l'épreuve "Localisation de points" (CMS) 57
3.2. Résultats à l'épreuve "Localisation de points" (CMS) en fonction de l'âge 58
3.2.1. Résultats pour la population totale en fonction de l'âge 58
3.2.2. Résultats pour la population de 8 et 9 ans 60
3.2.3. Résultats pour la population de 10 à13 ans 61
3.3. Résultats à l'épreuve "Localisation de points" (CMS) en fonction du trouble orthophonique 62
3.3.1. Comparaison des résultats des deux groupes 62
3.3.2. Résultats des enfants avec troubles du calcul seulement 62
3.3.3. Résultats des enfants avec troubles du calcul et du langage écrit 63
3.4. Résultats à l'épreuve "Localisation de points" (CMS) en fonction du sexe 64

4. Comparaison des résultats des deux épreuves 65
4.1. Comparaison des performances aux deux épreuves 65
4.2. Comparaison en fonction de l'âge 66
4.3. Comparaison des résultats aux deux épreuves en fonction du trouble orthophonique 66
4.3.1. Corrélation des résultats aux deux épreuves chez les enfants LM 67
4.3.2. Corrélation des résultats aux deux épreuves pour les enfants LM+LE 68
4.4. Comparaison des scores aux deux épreuves en fonction du sexe 68

C. Discussion 70

1. Rappel des objectifs 70

2. Rappel des résultats 70

3. Discussion des résultats 72

4. Biais et limites méthodologiques de l'étude 76

5. Perspectives 78

CONCLUSION 79

BIBLIOGRAPHIE 80

LISTE DES TABLEAUX 87

LISTE DES FIGURES 89

ANNEXES 91

INTRODUCTION

Depuis le début du XXème siècle, les recherches sur la dyscalculie se multiplient. "Trouble du calcul" ou "trouble du raisonnement logico-mathématique" (Van Hout, 2005), ces différentes qualifications recouvrent des définitions bien spécifiques, ce qui rend difficile la tâche de définition de ce trouble. L'apprentissage des mathématiques occupe une place centrale dans le cursus scolaire, et la dyscalculie met à mal ces apprentissages pour de nombreux enfants (entre 3 et 6% des enfants scolarisés) (INSERM, 2007). Ainsi, les orthophonistes reçoivent aujourd'hui un grand nombre de patients souffrant de dyscalculie.

Deux courants existent actuellement quant à la conception et à la rééducation de la dyscalculie. On distingue le courant piagétien pour lequel ces troubles seraient dus à l'absence ou au dysfonctionnement des structures fondamentales qui sous-tendent la construction du nombre. L'approche neuropsychologique considère que les troubles du calcul et du raisonnement logico-mathématiques sont dus au dysfonctionnement de différentes compétences cognitives (langage, compétences logiques, compétences visuo-spatiales, habiletés mnésiques et exécutives), pédagogiques, organiques ou psychologiques.
Les deux courants s'opposent également concernant l'émergence des compétences numériques : le courant piagétien n'attribue pas ces compétences numériques innées au bébé. On a une notion de progression, avec le passage successif et intégratif de plusieurs stades. Le courant neuropsychologique affirme au contraire que le bébé possède des compétences numériques, voire arithmétiques dès ses premiers mois de vie.

L'intérêt croissant pour la neuropsychologie ainsi que les échanges de plus en plus fréquents entre neuropsychologues et orthophonistes amènent notre profession à intégrer la rééducation des fonctions cognitives à la prise en charge de différentes pathologies - dont la dyscalculie.

Marie-Pascale Noël ((2), 2005) affirme qu'un déficit de la mémoire de travail a des conséquences sur les mathématiques.
La mémoire de travail est définie par Baddeley (1986) comme un "système de maintien temporaire et de manipulation [traitement] de l'information, nécessaire pour réaliser des activités cognitives complexes". Elle permet donc de maintenir de façon limitée (dans le temps et la quantité) des informations, visuelles ou auditives dans le but de les manipuler.

Baddeley la divise en plusieurs parties : l'administrateur central, qui régit deux systèmes esclaves : la boucle phonologique et le calepin visuo-spatial (chacun étant respectivement responsable du traitement des informations auditives et visuelles). Dans son modèle révisé (Baddeley, 2000), la mémoire de travail comprend un dernier composant : le buffer épisodique. Mais cette mémoire de travail est-elle déficitaire dans son ensemble ou certains de ses composants sont-ils incriminés de façon plus spécifique dans la dyscalculie ?

A partir de la littérature, nous avons décidé de nous pencher plus spécifiquement sur le calepin visuo-spatial, composant sur lequel peu de recherches ont été menées. La composition du calepin visuo-spatial a été précisée par Logie (1997) qui le divise en deux parties : l'*inner scribe* et le *visual cache*, chacun responsable d'un type d'information privilégié (spatial et visuel respectivement). Si la question se pose sur un déficit d'un ou plusieurs composants de la mémoire de travail dans la dyscalculie, alors au sein même du calepin visuo-spatial, il pourrait exister un déficit spécifique de l'une de ces deux entités chez les enfants dyscalculiques : déficit visuel ou spatial. Nous formulons l'hypothèse que **les enfants dyscalculiques souffrent d'un déficit spécifique de l'un des deux composants du calepin visuo-spatial** (*inner scribe* ou *visual cache*).

Nous avons décidé de respecter un plan articulé en deux parties, respectivement théorique et expérimentale :

Une première abordera l'approche piagétienne puis le développement normal des capacités numériques chez l'enfant. Puis nous détaillerons le modèle de mémoire de travail de Baddeley (2000), choisi comme base théorique pour la suite de notre étude. Dans une troisième partie, nous détaillerons ce qu'est la dyscalculie et les différentes définitions et classifications qu'elle recouvre. Enfin, nous établirons un lien entre les deux domaines présentés précédemment, à savoir la mémoire de travail et le calcul.

Dans une seconde partie expérimentale, nous détaillerons la méthodologie utilisée lors de notre étude en présentant la population choisie et le matériel d'évaluation. Les résultats seront ensuite présentés puis analysés. Pour finir, une discussion permettra de reprendre les éléments importants de notre étude et d'interpréter les conclusions obtenues.

PARTIE I
Partie théorique

A. DEVELOPPEMENT NORMAL DES CAPACITES NUMERIQUES CHEZ L'ENFANT

Dans son développement, l'enfant construit son langage mais également ses capacités numériques. Nous commencerons par aborder la théorie piagétienne, puis nous détaillerons la théorie neuropsychologique.

1. La théorie piagétienne

Selon Piaget (1967), l'enfant construit le concept de nombre grâce à ses capacités logiques. Il les acquiert ainsi progressivement et de façon hiérarchique.

La pensée logique se développe au cours du développement intellectuel de l'enfant que Piaget décompose en quatre stades successifs et intégratifs, l'acquisition d'un nouveau stade nécessitant l'acquisition complète du précédent. Ces stades sont :

- le stade sensorimoteur (de la naissance à 2 ans)
- le stade préopératoire (de 2 à 6-7 ans)
- le stade des opérations concrètes (de 6-7 ans à 11-12 ans)
- le stade des opérations formelles (de 11 à 14 ans)

Nous allons donc développer ces différents stades puis aborder les différentes structures logiques.

1.1. Stade de l'intelligence sensorimotrice

De la naissance à 2 ans, le stade de l'intelligence sensorimotrice est caractérisé par l'absence de langage. Cette intelligence est essentiellement pratique : elle permet à l'enfant de structurer le monde à travers la perception et le mouvement. Le stade sensori-moteur aboutit à la construction de conduites de plus en plus structurées et complexes à partir de réflexes simples (entre 0 et 1 mois) et d'habitudes acquises (entre 1 et 4 mois). Le corps de l'enfant

n'est pas le centre du monde mais fait partie de celui-ci, dont il va progressivement mettre les objets en interaction.

Les acquisitions fondamentales faites à ce stade sont :

- La permanence de l'objet : l'enfant devient capable de se représenter l'existence et les déplacements d'un objet investi qui a disparu de son champ visuel.
- L'organisation de l'espace : permet à l'enfant d'organiser les déplacements de son corps.

Avec l'apparition du langage, l'enfant pourra, au cours des stades suivants, reconstruire en pensée et en représentation mentale ce qu'il avait acquis lors du stade de l'intelligence sensorimotrice.

1.2. Stade préopératoire

La fonction symbolique est la capacité d'évoquer des objets ou des situations absents du champ de la perception, en utilisant des symboles ou des signes. Grâce au développement de cette fonction symbolique, l'enfant passera, entre 2 et 7 ans, de l'action sensorimotrice à la représentation mentale de cette action. Il devient alors capable de voir ce qu'il évoque. Il mettra en relation chaque objet avec une image mentale. L'accès à la représentation mentale se fait grâce au développement de l'imitation différée, du jeu symbolique, du dessin, des images mentales et bien sûr du langage.

La période préopératoire est également caractérisée par l'égocentrisme de la pensée de l'enfant : sa vision du monde se fait toujours à travers ses expériences personnelles. Il n'accède pas encore au changement de point de vue.

1.3. Stade des opérations concrètes

La maîtrise de la réversibilité est l'une des notions clés de ce stade (entre 7 et 11 ans) : l'enfant parvient à revenir mentalement à une situation initiale. Cette réversibilité explique l'acquisition de la conservation (de la matière, du poids, du volume).

On parle d'opérations "concrètes" car elles portent sur des objets manipulables. L'enfant a encore besoin d'un support visuel.

L'égocentrisme de la pensée de l'enfant va peu à peu laisser place à une capacité de décentration.

Piaget (Piaget & Inhelder, 1980) divise la période des opérations concrètes en deux sous-périodes en fonction des deux types d'opérations logico-mathématiques qui apparaissent à ce stade :

- La première est caractérisée par les **opérations logico-mathématiques** qui permettent d'organiser les objets en fonction de leurs ressemblances et différences. Elles conduisent aux notions de classification, de sériation et de conservation essentielles à la construction du nombre (c.f. Annexe n°1).
- La seconde, caractérisée par les **opérations infra-logiques** qui permettent de construire l'objet en tenant compte de ses caractéristiques physiques. Les opérations infra-logiques portent sur les quantités continues (nécessitant une mesure, comme le poids)

L'enfant acquiert une pensée mobile (pensée caractérisée par la réversibilité, la capacité d'anticiper, de faire des hypothèses, de coordonner des points de vue), qui lui permettra l'accès au raisonnement hypothético-déductif.

Le stade des opérations concrètes est une des étapes les plus importantes dans le développement du raisonnement logico-mathématique. Les structures logiques s'élaborent progressivement et de façon simultanée jusqu'à la fin du stade des opérations concrètes. L'acquisition du nombre n'est possible qu'une fois que les structures logiques existent et sont efficientes.

1.4. Stade des opérations formelles

Entre 11-12 ans et 14-15 ans, l'enfant atteint une logique formelle et parvient au raisonnement hypothético-déductif : il est capable de penser sans manipuler. Il est libéré du concret et peut raisonner à partir d'hypothèses et de symboles.

La théorie piagétienne a longtemps été le seul fondement théorique connu concernant le développement numérique chez l'enfant. La neuropsychologie, en pleine expansion depuis une trentaine d'année, est une alternative à ce modèle piagétien.

2. La théorie neuropsychologique

2.1. Capacités précoces

En 1980, Starkey et Cooper (1980, cités par Rousselle, 2005) sont les premiers à affirmer l'existence d'une sensibilité précoce au changement de numérosité. Agés de quelques mois, les bébés auraient ainsi la capacité de discriminer les numérosités. Cette discrimination est précise jusqu'à 4 éléments (petite numérosité) mais devient plus floue quand les éléments sont plus nombreux (Blanc & Camos, 2006). Deux systèmes de quantification existeraient chez le bébé :

- L'une pour les petites quantités (jusqu'à 4)
- L'autre, approximative pour les grands nombres (Blanchet & Ionescu, 2007)

Brannon (2002, cité par Rousselle & Seron, 2005) a montré que les bébés détectaient la différence entre des séquences d'ensembles de numérosité croissante (A<B<C) et décroissante (A>B>C) à partir de 11 mois.

Enfin, la question des capacités arithmétiques chez les bébés (additions et soustractions simples) se pose encore actuellement. Wynn (1992, cité par Rousselle & Seron, 2005) atteste de l'existence d'un système numérique inné chez les bébés qui leurs permettrait de calculer le résultat précis d'opérations simples (additions et soustractions).

Cependant, de nombreux résultats contradictoires rendent la validité de l'existence de cette dernière compétence incertaine.

2.2. Les premiers apprentissages

Fuson, Richards et Briars (1982, cités par Pesenti, 1995) ont montré que les enfants mettent en place très tôt les composantes indispensables au développement des concepts numériques. "L'acquisition et la maîtrise de la suite des nombres, le comptage et le dénombrement apparaissent comme des précurseurs cognitifs et linguistiques fondamentaux pour le calcul" (Pesenti, 1995).

Ces apprentissages sont les suivants :

2.2.1. Acquisition de la chaîne numérique verbale

Elle s'accroit entre 2 et 6 ans pour les nombres jusqu'à 20. Fuson, Richards et Briars (1982, cités par Pesenti, 1995) ont détaillé la succession d'étapes. L'enfant commencera par apprendre par cœur la suite des noms des nombres pour arriver, vers 4 ans ½, à une suite numérique stable et conventionnelle dont le nombre de formes verbales disponibles va rapidement augmenter.

La construction de la chaîne verbale s'effectue par la mémorisation. Or, l'apprentissage par cœur étant limité à un nombre restreint de mots-nombres, l'enfant devra découvrir les principes qui régissent la formation de ces nombres (Barrouillet & Camos, 2006).

C'est entre 6 et 7 ans que la chaîne verbale est définitivement maîtrisée (bien qu'il existe une grande variabilité interindividuelle) (Fayol, 1990).

L'acquisition et la maîtrise de la chaîne verbale numérique influent sur l'acquisition de la correspondance terme à terme et de la cardinalité, de la conservation et des opérations simples (addition, soustraction…) (Gelman et Fuson, cités par Pesenti, 1995).

2.2.2. Processus de quantification

Les processus de quantification **permettent de déterminer la numérosité d'un ensemble d'objets, de collections.** Ces processus sont : le dénombrement, le subitizing et l'estimation.

Bien que les bébés soient capable de discriminer, l'acquisition de la valeur cardinale des mots-nombres prend du temps car elle ne résulte pas d'une simple correspondance entre mot et représentation numérique préexistante, mais nécessite la création d'une représentation numérique exacte. (Blaye & Lemaire, 2007).

- Le dénombrement :

Le dénombrement a une place importante dans la construction du concept de nombre mais est également impliqué dans l'estimation et le subitizing. Il a été décrit en situation naturelle chez l'enfant dès 2 ans par Saxe, Guberman et Gearhart (1987).

Dénombrer, c'est faire le compte des unités composant un ensemble discontinu (Brin et coll, 2004). L'enfant doit ainsi pointer du doigt chaque objet de l'ensemble et énoncer les nombres dans un ordre correct, tout cela de façon coordonnée. De plus, le dénombrement nécessite des capacités mnésiques (notamment en mémoire de travail).

Les points de vue théoriques concernant le dénombrement dans l'enfance sont de deux types :

- Des chercheurs comme Gelman et Gallistel (1978, cités par Lecointre, Lépine & Camos, 2005) affirment l'existence innée des principes guidant le dénombrement. C'est "la théorie des principes en premier".
- D'autres pensent au contraire que ces principes sont acquis progressivement, via la pratique répétée de procédures de dénombrement (Fuson, 1988, cité par Camos, 2006). C'est la "théorie des principes après". Ce n'est que dans un second temps que l'enfant comprendra le lien entre dénombrement et cardinalité. Ce lien naîtrait par le subitizing.

- <u>Le subitizing :</u>

C'est un processus perceptif d'**appréhension immédiate de la quantité des petites numérosités** (entre 1 et 4 objets). Plusieurs recherches montrent que le subitizing existe de façon très précoce chez l'enfant : dès 2 ans, les enfants peuvent discriminer correctement des collections de 1 à 3 objets (même lorsque l'un d'eux est présenté pendant 200 ms). Cette capacité s'étend à des collections de 4 éléments pour les enfants de 3 à 5 ans. Le subitizing serait donc possible avant même que l'enfant ne puisse dénombrer des collections (Starkey & Cooper, 1995, cités par Blaye & Lemaire, 2007).

L'empan de subitizing est l'intervalle dans lequel l'estimation est suffisamment précise pour produire une seule réponse.

- <u>L'estimation :</u>

Elle **permet de quantifier très approximativement la taille d'un ensemble**. Lorsque la collection est trop grande pour que le subitizing agisse et qu'elle est présentée pendant un temps bref (ne permettant pas le dénombrement), les sujets peuvent quand même estimer de manière approximative le nombre d'objets de la collection. Plus la numérosité est élevée, plus

l'estimation est variable. Il est ainsi plus facile de détecter une différence d'un point entre deux planches représentant 5 et 6 points plutôt que deux planches représentant 9 et 10 points.

Les recherches actuelles soutiennent que lors de la première année de vie (Blaye & Lemaire, 2007) :

- Les bébés utilisent le subitizing pour appréhender les petites numérosités, à raison de 1 à 3 éléments tout d'abord, puis jusqu'à 4 éléments pour les enfants entre 3 et 5 ans.
- Pour des quantités plus grandes, l'estimation permettra de quantifier approximativement la taille de l'ensemble. Avec l'avancée en âge, l'estimation devient plus précise et plus stratégique.
- Dès l'entrée dans le langage, l'enfant se sert de la chaîne numérique verbale afin de dénombrer une collection. Cette aptitude serait maîtrisée vers 6 ou 7 ans. Pour élaborer des stratégies de résolution des opérations arithmétiques, les enfants ont ainsi besoin d'acquérir la chaîne numérique verbale et d'aborder les différents processus de quantification décrits ci-dessus, en particulier le dénombrement.

2.2.3. Savoirs arithmétiques - les opérations simples

Wynn (1992, cité par Rondal & Seron, 2003) atteste de l'existence précoce de savoirs arithmétiques (dès 5 mois). Les enfants très jeunes auraient ainsi une intuition de l'addition et de la soustraction avant même l'usage des noms des nombres. L'acquisition des savoirs arithmétiques commencerait donc très tôt. Mais c'est à l'école que les techniques opératoires seront apprises. Avec le temps, on observe un accroissement de l'abstraction mais également la découverte et l'utilisation de stratégies de résolution de plus en plus économiques et rapides.

- <u>Addition et soustraction :</u>

Pour <u>l'addition</u>, Siegler (Siegler, 1987 cité par Blaye & Lemaire, 2007) distingue 5 types de stratégies pour réaliser une addition :

- utiliser des objets : l'enfant représente de façon matérielle chaque nombre de l'opération et les manipule (3-4 ans)

- compter sur ses doigts (4-5 ans)
- compter verbalement sans support concret (5 ans-6 ans)
- utiliser des décompositions (6-7 ans)
- récupérer directement les faits numériques en mémoire (8 ans)

Ces stratégies ne sont cependant pas enseignées aux enfants mais découvertes par eux (Siegler et Jenkins, 1989, cité par INSERM, 2007). Le passage du comptage sur les doigts au comptage verbal dépend par exemple de la capacité de l'enfant à "*contrôler mentalement le déroulement du calcul et à conserver une trace de ce qui a déjà été et de ce qui reste à compter*" (INSERM, 2007).

On remarque une évolution assez similaire pour ce qui est de la <u>soustraction</u>. Les mêmes stratégies seront utilisées, auxquelles s'ajoute une autre : faire appel à l'addition indirecte correspondante (ex: 4 + ? = 9 pour résoudre 9 - 4). Dès 4-5 ans, beaucoup d'enfants peuvent résoudre des soustractions avec un matériel manipulable comme support. On observe alors trois stratégies majeures (Carpenter et Moser, 1984, cité par INSERM, 2007). On prend l'exemple de l'opération "5-3" :

- "séparer de" : on enlève 3 objets à un ensemble initial de 5 objets, puis on dénombre les objets restants.
- " ajouter à partir de" : on place 3 objets auxquels on en ajoute d'autre jusqu'à obtenir un ensemble de 5 objets.
- " apparier" : on place deux ensembles de 3 et 5 objets en correspondance terme à terme et on dénombre les objets restés seuls.

Pour la soustraction et l'addition, la fréquence d'utilisation des stratégies de comptage diminue au cours du développement, bien que cette évolution semble plus lente pour la soustraction. De plus, la récupération des faits arithmétiques semble plus fréquente pour l'addition que pour la soustraction, laquelle reste majoritairement résolue par comptage.

- Multiplication et division :

Contrairement à l'addition et à la soustraction, la multiplication et la division ne semblent pas se développer spontanément. D'après Russel, Barrouillet et Fayol (2002, cités par Barrouillet, 2006), cela serait dû à l'inexistence d'algorithmes de calcul suffisamment fiables et rapides pour ces deux opérations. Cependant, certaines procédures de comptage ont été observées :

- L'enfant procède par opérations répétées (ex : 3 x 5 = 5 + 5 + 5)
- Et par le comptage en base n (5 x 4 = 5, 10, 15, 20)
- L'apprentissage de la multiplication se fait également par la répétition orale fréquente des tables (apprentissage "par cœur"). Les résultats sont ainsi récupérés directement en mémoire (Geary, 1994, cité par INSERM, 2007)

La résolution de divisions semble être faite via deux stratégies majeures :

- Récupération de faits multiplicatifs associés
- Soustraction du diviseur jusqu'à atteindre le dividende (ex: pour "20 / 4" : 20 - 4 = 16; 16 - 4 = 12 etc.)

Depuis tout petit et jusqu'à 7-8 ans, les compétences numériques se mettent en place et les performances augmentent. L'acquisition de la chaîne numérique verbale puis son réinvestissement dans les procédures de quantification permettront l'apparition de stratégies de calcul. Ainsi, les enfants pourront résoudre des situations d'addition et de soustraction simples spontanément.

Elaboré dans les années 60, le modèle piagétien reste une référence importante pour l'évaluation et la prise en charge de la dyscalculie; il présente cependant certaines limites.

Le développement du courant neuropsychologique et l'approche cognitive vers 1980 a permis l'émergence de nouvelles notions, parmi lesquelles l'acquisition de la chaîne numérique et les processus de quantification déjà présents chez le bébé, non prises en compte par la théorie piagétienne.

B. LA MEMOIRE DE TRAVAIL

1. Modèles de la mémoire de travail

1.1. Baddeley : le modèle dominant

Les premiers à avoir modélisé la mémoire sont Atkinson et Shiffrin en 1968. C'est un modèle sériel où l'information circule du stimulus sensoriel à la mémoire sensorielle, puis à la mémoire à court terme pour arriver à la mémoire à long terme. Les découvertes neuropsychologiques ont attesté des différents registres mnésiques que l'on retrouvait dans le modèle d'Atkinson et Shiffrin, mais ont infirmé sa forme sérielle. L'étude de différents patients (dont le patient KF de Shallice & Warrington, 1970) a prouvé que l'un des registres mnésiques pouvait être atteint sans que cela ait de conséquence sur les autres. Ainsi, on pourrait comparer les nouveaux modèles de mémoire à des circuits électriques en dérivation et non en série.

La notion de mémoire de travail n'est apparue que tardivement au regard des nombreuses théories sur la mémoire. En 1974, Baddeley et Hitch développent le concept de "mémoire de travail". Aujourd'hui, malgré l'affluence de nombreux modèles de la mémoire de travail, celui de Baddeley reste un appui théorique important.

On notera cependant qu'il existe des modèles alternatifs à celui de Baddeley. Goldman et Radik (1987; 1995, cités par Allain, Godefroy, Le Gall & Jeannerod, 2008) considèrent qu'il n'existe pas une seule mémoire de travail mais plusieurs, chacune spécialisée en fonction du type d'informations à traiter et localisées dans des aires différentes du cortex préfrontal. Le rôle de ces mémoires de travail rejoint celui décrit par Baddeley : il s'agirait de conserver temporairement la représentation d'une information passée pour guider l'action en cours jusqu'à sa réalisation.

1.2. Le modèle de Baddeley

Baddeley définit la mémoire de travail comme "*système de maintien temporaire et de manipulation [traitement] de l'information, nécessaire pour réaliser des activités cognitives complexes, telles que la compréhension, l'apprentissage, le raisonnement*" (Baddeley, 1986). En plus d'être limitée dans le temps, la mémoire de travail a également une capacité limitée.

Le modèle de Baddeley était à l'origine tridimensionnel. Il était composé de l'administrateur central qui régissait deux sous-systèmes esclaves : la boucle phonologique et le calepin visuo-spatial. En 2000, un quatrième composant a été ajouté au modèle afin de palier les difficultés rencontrées dans le modèle initial : le buffer épisodique. Sa fonction est d'intégrer des informations venues de la mémoire à long terme avec les composants de la mémoire de travail (calepin visuo-spatial et boucle phonologique), afin de créer des scènes et épisodes dotés d'une certaine cohérence (Seron, 2007). Il permet ainsi de relier différentes sources d'informations (Baddeley, Allen et Hitch, 2011).

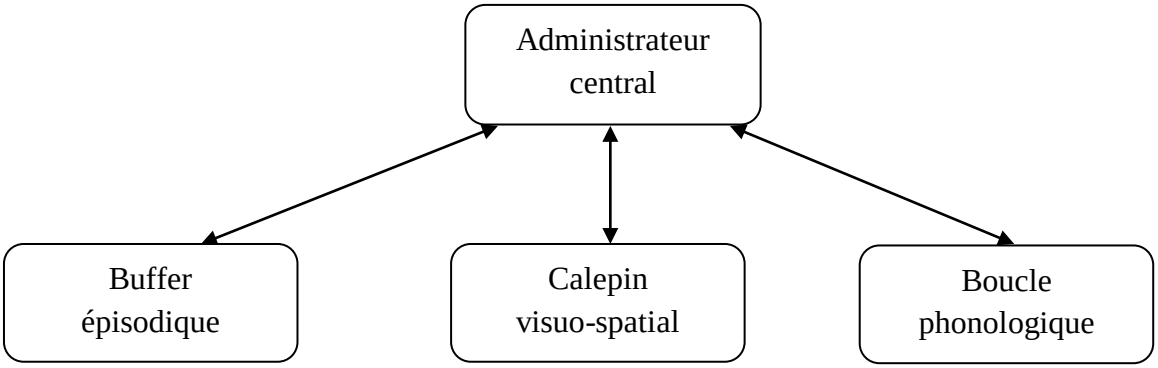


Figure 1 : Modèle de la mémoire de travail de Baddeley (2000)

Nous allons maintenant développer les trois composants principaux du modèle de Baddeley, à savoir l'administrateur central, la boucle phonologique et le calepin visuo-spatial.

1.3. L'administrateur central

L'administrateur central est la composante principale du modèle de Baddeley. Il est chargé de coordonner et superviser les deux systèmes esclaves (boucle phonologique et calepin visuo-spatial) via un "espace de traitement" qui en assure la cohérence (Gaonac'h & Larigauderie, 2000). Il assure aussi un lien avec la mémoire à long terme où sont stockées les représentations sémantiques du sujet, indispensables à la réalisation de la tâche en cours.

Ce système de gestion attentionnel des systèmes esclaves remplit plusieurs fonctions :

- Sélection stratégique des actions les plus efficaces
- Coordination des opérations des sous-systèmes spécialisés
- Contrôle des opérations de traitement
- Coordination de double-tâches
- Modification de stratégies de récupération en mémoire à long terme (MLT)
- Activation (récupération et manipulation) des informations en MLT
- Fonction d'attention sélective (Collette, Peters, Hogge, & Majerus, 2007)
- Processus de mise à jour

1.4. La boucle phonologique

Il s'agit d'un système esclave, destiné au stockage temporaire (maintien et répétition) de l'information verbale. On distingue deux sous-composants :

- Le **stock phonologique** : composant passif permettant le stockage temporaire de l'information phonologique. Il est limité. Il va décroissant mais peut être réactivé ou rafraîchi via la récapitulation articulatoire.

- Le **processus de récapitulation articulatoire** (analogue au langage subvocal) : composant actif permettant le maintien en mémoire à court terme d'items verbaux au-delà de la limite temporelle du déclin de la trace mnésique.

Plusieurs effets agissant sur la boucle phonologique ont pu être observés, et ainsi prouver l'existence de cette boucle (Seron, 2007):

- L'effet de longueur de mots : le rappel sériel de mots courts est meilleur que celui de mots longs. Ce qui prouve l'existence d'un processus de récapitulation articulatoire. Celui-ci sera d'autant plus lent que le mot à récapituler sera long.

- L'effet de similarité phonologique : le rappel de mots phonologiquement proches est plus difficile que le rappel de mots phonologiquement différents. Le stock phonologique reposant essentiellement sur le code phonologique, il semble normal que la grande similarité entre deux stimuli ralentisse la restitution de ceux-ci.

- L'effet de suppression articulatoire : la répétition à voix haute d'une syllabe durant une tâche de rappel immédiat de mots altère la performance pour cette tâche car elle rend difficile le fonctionnement de la récapitulation articulatoire.

1.5. Le calepin visuo-spatial

Le calepin visuo-spatial est le second système esclave de l'administrateur central. Il a pour rôle de stocker à court terme des informations visuo-spatiales, mais est aussi impliqué dans la génération et la manipulation d'images mentales.

Contrairement à la boucle phonologique et à l'administrateur central, peu d'études ont été faites sur ce système. Il a cependant été étudié plus précisément par Logie (1986 ; 1995) qui divisait le calepin en deux sous-systèmes :

- Le *visual cache* (composante visuelle)
- L'*inner scribe* (composante spatiale)

1.5.1. Le visual cache

C'est un système de stockage de l'information visuelle, non verbalisable. Il est à dominance visuelle. Son fonctionnement peut être comparé à celui du stock phonologique. Les informations vont décliner mais pourront être réintroduites dans le stock visuel (mémoire visuelle) grâce au mécanisme de récapitulation (de nature spatiale).

Lors de l'ajout d'une deuxième tâche de même type (visuel), les performances du sujet chutent. En revanche, on n'observe pas d'interférence si la deuxième tâche est à caractère spatial (Collette, Peters, Hogge, & Majerus, 2007).

1.5.2. L'inner scribe

Contrairement au *visual cache*, l'*inner scribe* est de nature spatiale et consiste en un mécanisme de récapitulation. De plus, il est plus spécifiquement en charge des informations à caractère spatial (ex: localisations).

Ce mécanisme de récapitulation spatiale a trois fonctions :

- Réintroduire l'information dans le stock visuel
- Planifier des mouvements en général
- Et plus particulièrement réaliser des mouvements orientés vers une cible

De la même façon que pour le *visual cache*, on observe un effet d'interférence lors d'une double-tâche dans le cas où ces deux tâches sont de même type, mais pas si la deuxième tâche est à caractère visuel (Logie & Marchetti, 1991, cités par Seron, 2007).

Cette division à l'intérieur du calepin visuo-spatial a également été soutenue par Della Sala et son équipe du fait de l'observation de patients présentant un déficit dans une seule des deux composantes (Della Sala, Gray, Baddeley, & Wilson, 1999).

Pickering et al. attestent également d'une séparation entre deux sous-composants du calepin visuo-spatial mais la distinction n'est pas formulée en tant qu'opposition entre composants spatial et visuel, mais entre informations visuo-spatiales dynamiques et statiques (Pickering et al., 2001, cités par Collette, Peters, Hogge, & Majerus, 2007).

2. Développement normal de la mémoire de travail chez l'enfant

Annette Karmiloff-Smith (1998) est la première à émettre l'hypothèse selon laquelle la structure de la mémoire de travail telle qu'on la connaît chez l'adulte pourrait ne pas être en place chez l'enfant. Ainsi, les différents composants, d'abord indissociés, se segmenteraient progressivement au cours de l'enfance et de l'adolescence. Gnys et Willis (1991) montrent l'existence d'étapes particulièrement marquées à 4, 8, 12 ans et à l'adolescence.

D'après Thom et Gathercole (2000, cité par Blaye & Lemaire, 2007), le stock phonologique émergerait dès 3 ans. Il n'existe pas encore de consensus quant aux âges exacts d'individuation des différents composants de la mémoire de travail.

Pour Hugues (1998), les performances de l'administrateur central augmentent vers 3-4 ans et c'est à partir de 4-5 ans que les systèmes esclaves (calepin visuo-spatial et boucle phonologique) sont indépendants. L'administrateur central et la boucle phonologique sont donc efficients de façon précoce.

Pour Logie et Pearson (1997, cités par Pickering, Gathercole, Hall, & Lloyd, 2001), ce n'est que vers 6 ans que la composante visuo-spatiale est maîtrisée. Ce qui converge avec les écrits de Cowan et al (1998) pour qui la boucle phonologique et l'administrateur central sont distincts vers 6-7 ans, bien qu'ils restent modérément corrélés.

Pour Jarvis et Gathercole (2003), ce n'est qu'à partir de 11-14 ans que l'on observe une indépendance des aspects verbaux et visuo-spatiaux de la mémoire de travail chez les enfants. A cet âge, les performances en empans verbaux et visuo-spatiaux sont les mêmes qu'à l'âge adulte.

De son côté, l'implication de l'administrateur central irait grandissant : les traitements spécifiques (sous-tendus par les systèmes esclaves) sont mieux maîtrisés chez les enfants plus âgés. Ils peuvent les mettre en œuvre et bénéficier des traitements exécutifs.

Chaque composant va donc peu à peu s'individualiser et devenir indépendant (Gaonac'h, Gaux, & Pross, 2008) et leur capacité fonctionnelle va augmenter jusqu'à

l'adolescence (Gathercole, Pickering, Ambridge, & Wearing, 2004). L'indépendance progressive s'explique par la spécialisation - progressive également - des composants de la mémoire de travail.

Age	Evolution	Auteurs
3 ans	Emergence du stock phonologique	Thom & Gathercole, 2000
3-4 ans	Augmentation des capacités de l'administrateur central	Hugues (1998)
4-5 ans	Indépendance des systèmes esclaves	
6 ans	Maîtrise de la composante visuelle	Logie et Pearson, 1997
6-7 ans	Indépendance de la boucle phonologique et de l'administrateur central mais restent modérément corrélés	Cowan et al, 1998
11-14 ans	Indépendance des aspects verbaux et visuo-spatiaux de la mémoire de travail	Jarvis & Gathercole, 2003

Tableau 1 : récapitulatif du développement de la mémoire de travail par auteurs

Les capacités en mémoire de travail évoluent donc en fonction de l'âge (augmentation des capacités entre 3 ans et l'adolescence), mais également du matériel à traiter. La spécialisation de systèmes esclaves (boucle phonologique, puis calepin visuo-spatial) et leur indépendance progressive permettent à l'administrateur central d'occuper une place de plus en plus importante

La mémoire de travail a donc pour rôle le maintien temporaire d'informations avec pour finalité la manipulation de celles-ci. Notre étude porte un intérêt tout particulier au calepin visuo-spatial. Ce système-esclave stocke des informations visuo-spatiales et joue également un rôle dans la manipulation d'images mentales. Les deux sous-composants du calepin visuo-spatial sont responsables du traitement d'informations visuelles et spatiales séparément. Cette division implique ainsi des compétences spécifiques et évidemment des outils d'évaluation précis (c.f. Annexe n°2).

Notre étude s'intéresse à une population d'enfants présentant un trouble spécifique : la dyscalculie. Nous allons donc maintenant définir ce qu'est la dyscalculie et présenter les différentes classifications qui ont pu en être proposées.

C. LA DYSCALCULIE

La dyscalculie fait partie des troubles spécifiques d'apprentissage. Pour être diagnostiqué dyscalculique, le patient ne devra pas présenter de déficience (qu'elle soit sensorielle, motrice ou mentale), de traumatisme ou de Trouble Envahissant du Développement. On écartera également les carences psychologiques, économiques ou encore pédagogiques. (INSERM, 2007)

1. Données numériques

Les données sur la prévalence de la dyscalculie sont diverses, mais on reconnaît généralement qu'elle tourne autour des mêmes valeurs que la prévalence de la dyslexie, soit entre 3 et 6% des enfants scolarisés. Cependant, il semblerait que la dyscalculie en tant que trouble isolé soit plus rare que la dyslexie : estimée entre 1% et 2,7% (White et al., 1992, cités par INSERM, 2007; Fischer, 2009).

On observe une comorbidité entre dyscalculie et dyslexie dans 50% des cas (Lewis, Hitch et Walker, 1994, cité par Noël, 2011), et également une comorbidité importante avec le TDA/H (25% des cas d'après Gross-Tsur et al.) (Van Hout, 2005; Rotzer et al., 2009).

2. Définitions

Plusieurs définitions de la dyscalculie développementale ont été proposées au cours des années sous différentes appellations ("troubles du calcul", "trouble du raisonnement logico-mathématique…").

Les différentes définitions de la dyscalculie sont en grande partie inspirées par la définition des "troubles du calcul" du DSM IV qui implique les trois critères suivants :

- Un retard significatif dans les tests standardisés de mathématiques par rapport à l'âge développemental du sujet (ayant une intelligence normale)
- Une interférence significative de ce retard dans les activités de la vie courante et dans la réussite scolaire
- Dans le cas d'un déficit sensoriel, les difficultés doivent dépasser les difficultés engendrées habituellement par ce trouble

La CIM 10 distingue plusieurs critères pour les "troubles spécifiques de l'arithmétique" :

- Un écart à la norme de plus de deux écarts-types sous la moyenne
- Une absence d'antécédents de difficultés significatives en lecture et en orthographe
- L'altération concerne la maîtrise des éléments de base du calcul : addition, soustraction, multiplication et division
- En cas de déficit sensoriel, des troubles qui dépassent les conséquences habituelles de ce déficit

Pour cette étude, nous définirons la dyscalculie développementale comme une difficulté d'apprentissage des mathématiques et/ou des autres manipulations numériques dans le cadre d'une intelligence normale. Elle est à différencier d'un trouble acquis n'impliquant pas la disparition d'acquis antérieurement maîtrisés, mais une difficulté de mise en place de ces acquis (Noël, 2000).

3. Classifications

Afin d'en savoir plus sur la dyscalculie, nous abordons maintenant quelques-unes des classifications des difficultés mathématiques qui ont été proposées par le courant neuropsychologique. Celles-ci peuvent être divisées en deux tendances :

- Classifications anatomo-fonctionnelles
- Classifications basées sur la neuropsychologie de l'adulte

3.1. Classifications anatomo-fonctionnelles

Rourke et al. (1997, cités par Camos, 2011) montrent qu'il existe des troubles du calcul n'étant pas la résultante d'un trouble langagier plus global. Ils distinguent deux types de dyscalculies :

- Des difficultés mathématiques résultant de difficultés générales. Les enfants présenteraient aussi des difficultés en lecture et en écriture. Ceci résulterait d'un dysfonctionnement de l'hémisphère gauche.
- Des difficultés mathématiques résultant de difficultés de raisonnement non verbal et des traitements visuo-spatiaux. Le dysfonctionnement se situerait au niveau de l'hémisphère droit.

Spiers (1987, cité par Noël, 2011) va encore plus loin en associant dysfonctionnement hémisphérique et difficultés numériques spécifiques. Il distingue :

- Les dyscalculies hémisphériques gauches : ces enfants ont des compétences spatiales bien en place mais ont des difficultés de mise en séquence de chiffres lors des procédures de calcul écrit ou encore dans la mémorisation de faits numériques.
- Les dyscalculies hémisphériques droites : les enfants ne peuvent pas développer les schémas et relations spatiales nécessaires à la compréhension de concepts sous-jacents au système numérique et au calcul (d'où une incapacité à la numérosité d'un ensemble par exemple).

3.2. Classifications basées sur la neuroanatomie de l'adulte

Badian (1983, cité par INSERM, 2007) distingue trois types de dyscalculies acquises et a tenté d'appliquer cette distinction aux enfants en formant 5 groupes :

- Dyscalculie suite à une alexie ou une agraphie
- Dyscalculie spatiale
- Anarithmétie
- Dyscalculie liée à des troubles attentionnels
- Groupe mixte

Kosc (1974, cité par INSERM, 2007) présente lui, six types de dyscalculies :

- Verbale
- Lexicale
- Graphique
- Practognostique
- Idéognostique
- Opérationnelle

Temple (1992, 1994, cité par Noël, 2011) s'appuie sur l'architecture cognitive proposée par McCloskey, Caramazza et Basili (1985, cités par Noël, 2011) pour le calcul et le traitement du nombre pour proposer une classification plus simple. Il distingue alors trois dyscalculies :

- Du traitement numérique
- Des faits numériques
- Procédurale

On pourra cependant reprocher à ce modèle de ne pas prendre en compte l'aspect développemental (Noël, 2000).

La dyscalculie est donc complexe et multiple. Les différentes classifications ainsi que les nombreuses dénominations attestent d'une grande variété de difficultés chez ces enfants. Nous avons pu observer que la mémoire de travail et les capacités visuo-spatiales sont citées par les chercheurs comme étant liées à la dyscalculie.

La partie suivante rendra compte de ce lien entre mémoire de travail et calcul.

D. MEMOIRE ET CALCUL

1. Implication de la mémoire de travail dans le calcul

Les recherches sur l'implication de la mémoire de travail dans les activités de calcul ont d'abord été faites chez l'adulte. Il en résulte que la mémoire de travail est utilisée lors de la réalisation de calculs mentaux, de petits calculs à un chiffre et aussi dans les soustractions simples.

Chez l'enfant, la mémoire de travail est impliquée dans :

- le déroulement de la chaîne numérique ainsi que dans le contrôle des pas de comptage déjà effectués (Noël, M-P., 2005 (1))
- la résolution de problèmes (Bull & Scerif, 2001, cités par Rasmussen & Bisanz, 2005)
- les performances arithmétiques (Rasmussen & Bisanz, 2005)

2. La mémoire de travail comme l'une des causes de la dyscalculie

2.1. Revue de la littérature

Les causes de la dyscalculie, et plus particulièrement des difficultés arithmétiques sont encore mal définies. Par exemple, Marie-Pascale Noël (2005 (1)) formule 4 hypothèses sur la base des difficultés d'apprentissage numérique, dont la limitation des capacités en mémoire de travail.

D'autres chercheurs mettront en cause la mémoire de travail et iront encore plus loin en définissant quels composants de celle-ci sont spécifiquement déficitaires.

L'expérience de McLean et Hitch (1999) compare un groupe d'enfants ayant des difficultés en mathématiques (appelés les enfants MD) à deux groupes-contrôles :

- des enfants plus jeunes, mais appariés pour leur niveau en mathématiques
- des enfants du même âge chronologique

En comparant les résultats des enfants MD avec le groupe d'enfants appariés en âge, les chercheurs montrent que les enfants MD ont des performances inférieures dans les tâches impliquant le calepin visuo-spatial et l'administrateur central, mais pas dans celles impliquant la boucle phonologique.

Heathcote (1994, cité par Gaonac'h & Fradet, 2003) ou encore Badian ont eux aussi conclu à une implication du calepin visuo-spatial dans la mauvaise réalisation des opérations arithmétiques. Le calepin servirait de "tableau mental" où seraient notés les opérandes (éléments sur lesquels portent l'opération : "3" et "5" dans l'opération "3+5" par exemple) et résultats intermédiaires lors de la réalisation d'opérations arithmétiques. Son dysfonctionnement aurait donc des conséquences négatives sur la réalisation d'opérations complexes.

2.2. Arguments neuroanatomiques

L'imagerie cérébrale a permis de mettre en avant une implication de certaines zones cérébrales dans ce lien entre mémoire de travail et dyscalculie. En effet, certaines aires responsables de la mémoire de travail sont aussi celles lésées en cas de dyscalculie.

Smith et al. (1996, cités par Zimmer, 2008) affirment que la mémoire de travail verbale est gérée par l'hémisphère gauche. La majorité des études montre par contre que l'activation de la mémoire de travail visuo-spatiale est bilatérale. Le stockage de l'information se fait plutôt dans les zones postérieures, alors que le maintien de l'information dépend des zones antérieures (frontales) du cerveau.

Ce sont les lobes pariétaux et frontaux qui sont impliqués dans la mémoire de travail (Rotzer et al, 2009) ainsi que dans la dyscalculie (Dehaene, 1997). Plusieurs zones ont ainsi été incriminées :

- Le **sillon intrapariétal droit** (Rotzer & al., 2009) : il a un rôle primordial dans la mémoire de travail. De plus, dans les cas de dyscalculie, on observe un manque d'activation de cette zone (Rotzer observe une réduction du volume de matière grise). Or elle est impliquée dans l'acquisition et la manipulation de représentations spatiales des nombres et des concepts numériques (Zimmer, 2008).
- Le **gyrus supramarginal gauche** et **sillon frontal supérieur gauche** (Zago et al., 2008) : ces régions sont impliquées dans le calcul mental "complexe" mais permettent

également le maintien des informations en mémoire de travail visuo-spatiale (Petit et Zago, 2002, cité par Crivello et al., 2001)

- Le **gyrus frontal inférieur** (Rotzer et al., 2009) : tout comme pour le sillon intrapariétal droit, on observe un manque d'activation de cette zone dans les cas de dyscalculie. Or cette zone assure le maintien en mémoire de travail et la réalisation de comportements nécessitant peu ou pas de manipulations mentales (Petrides, 1995).

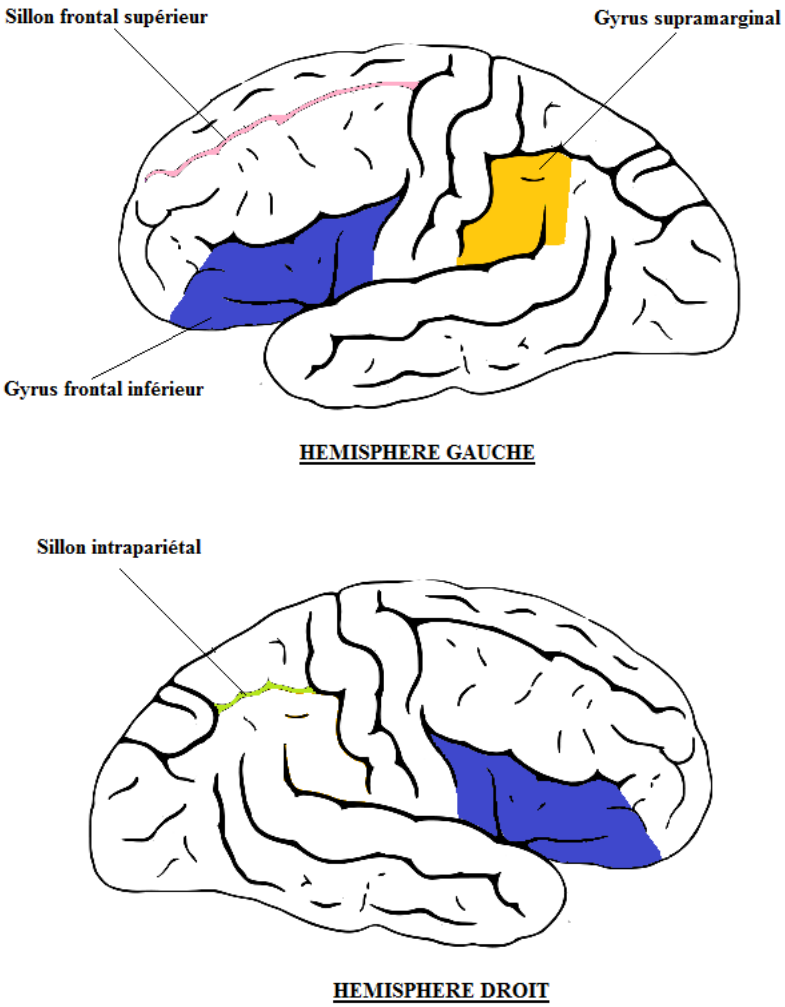


Figure 2 : vues latérales du cerveau - zones communes activées en cas de trouble de la mémoire de travail et de dyscalculie

Ces recherches ont apporté la preuve d'un lien entre les capacités limitées en mémoire de travail et les difficultés mathématiques. Cependant, il n'existe pas de consensus sur l'implication certaine des différents composants de la mémoire de travail. Bien que plusieurs recherches attestent d'un déficit au niveau du calepin visuo-spatial comme nous avons pu le montrer ci-dessus, d'autres auteurs comme Passolunghi & Siegel (2001) montrent le contraire : les difficultés en résolution de problèmes seraient liées à un déficit au niveau de l'administrateur central et de la boucle phonologique.

Pour cette étude, nous nous positionnons en faveur des études de Hitch & McLean ou encore Heathcote quant à l'implication d'un déficit du calepin visuo-spatial dans les difficultés mathématiques.

3. Conséquences des capacités limitées en mémoire de travail

À travers la littérature scientifique, on relève que des capacités limitées en mémoire de travail observées chez les enfants dyscalculiques ont plusieurs conséquences :

Tout d'abord, cela entraîne une difficulté du déroulement de la chaîne numérique et du contrôle de pas de comptage déjà effectués. La chaîne produite est alors plus courte et moins élaborée, entraînant un comptage moins efficient et par la suite l'utilisation de **stratégies de comptage immatures** pendant une période anormalement longue (comptage avec les doigts par exemple) (Blaye & Lemaire, 2007).

Ensuite, une mémoire de travail faible entraîne une diminution de la vitesse de traitement des informations. On retrouve alors des **procédures de comptage très lentes** qui favorisent les erreurs et les oublis de valeurs devant être temporairement maintenues en mémoire à court terme. Or la constitution et la mémorisation de faits arithmétiques les plus élémentaires (*ex: faits additifs*) ne peut avoir lieu que si les représentations des termes du problème et de la réponse sont activées de manière simultanées en mémoire à long terme

(Siegel, 1996, cité par INSERM, 2007). Ainsi, un déficit en mémoire de travail diminue les chances de pouvoir constituer et mémoriser des faits arithmétiques.

Enfin, cela entraîne un déficit d'inhibition des informations non-pertinentes (observé par Barrouillet, Fayol et Lathulière (1997, cités par Geary, 2005), et aussi Passolunghi & Siegel (2004) chez des enfants dyscalculiques) pendant la recherche en mémoire. Leur mémoire de travail résiste mal aux interférences. Ainsi, il est difficile pour les enfants dyscalculiques de sélectionner les bonnes informations en mémoire à long terme ce qui les empêche de récupérer des faits arithmétiques.

Au vu des données théoriques exposées tout au long de cette première partie, nous admettons que les difficultés mathématiques et arithmétiques rencontrées par les enfants dyscalculiques sont en partie liées à de faibles capacités en mémoire de travail visuo-spatiale. A notre connaissance, aucune recherche n'a cependant été effectuée sur une mise en cause spécifique d'un seul des composants du calepin visuo-spatial. Afin d'entamer la recherche dans cette voie, nous formulons l'hypothèse suivante : les enfants dyscalculiques présenteraient un déficit spécifique de l'un des deux sous-composants du calepin visuo-spatial (*inner scribe* et *visual cache*).

Dans la seconde partie, nous exposerons plus précisément le protocole expérimental mis en place afin de confirmer cette hypothèse.

PARTIE II
Expérimentation

A. MATERIEL ET METHODE

1. Méthodologie

1.1. Problématique

La littérature nous a montré que les enfants dyscalculiques souffrent entre autres d'un déficit de la mémoire de travail, et pour certains auteurs, particulièrement d'un déficit du calepin visuo-spatial (Hitch & McLean, 1999; Heathcote, 1994, Badian 1983). Nous savons également que le calepin visuo-spatial peut être décomposé en deux sous-parties : l'une visuelle (le *visual cache*) et l'autre spatiale (l'*inner scribe*) (Logie, 1986; 1995; 1997).

Ces deux sous-composants ont été très peu exploités dans les recherches sur le calepin visuo-spatial, d'où notre choix de nous y intéresser. Nous ne savons pas si ces enfants ont un déficit global (déficit de l'*inner scribe* et du *visual cache*) ou un déficit de l'un des deux sous-composants.

1.2. Hypothèses et objectifs

Nous supposons dans cette étude que les enfants dyscalculiques présentent un déficit spécifique de l'un des deux sous-composants du calepin visuo-spatial.

Afin de tester cette hypothèse, nous avons fait passer des épreuves à une population d'enfants suivis pour "troubles du calcul et du raisonnement logico-mathématique", afin de mesurer leurs performances à deux épreuves, chacune testant un sous-composant du calepin visuo-spatial :

- L'item "Localisation de points" du CMS pour le *visual cache*
- Les cubes de Corsi pour l'*inner scribe*

2. Recrutement de la population

2.1. Critères d'inclusion et d'exclusion

2.1.1. Critères d'inclusion

Les critères d'inclusion de notre population sont :

- Age : Enfants de 8 à 13 ans (scolarisés entre le CE1 et la 5ème en milieu ordinaire)
- Diagnostic : Enfants suivis en rééducation orthophonique pour des "troubles du calcul et du raisonnement logico-mathématique".
- Apprentissage: difficultés dans le domaine mathématique
- Comorbidité : ont été inclus des enfants également suivis en orthophonie pour des "pathologies du langage écrit".
- Sexe : enfants de sexe féminin ou masculin, sans distinction
- Consentement des parents et tuteurs légaux (c.f. Annexe n°3)

Nous justifions la tranche d'âge choisie par plusieurs arguments :

- Comme vu précédemment, il s'agit de la tranche d'âge où se met en place l'arithmétique
- Le diagnostic de la dyscalculie n'étant possible qu'à partir de 2 ans de retard par rapport à la norme, nous ne pouvions pas avoir de patients ayant moins de 8 ans, l'apprentissage des mathématiques commençant théoriquement à 5/6 ans.

2.1.2. Critères d'exclusion

- Comorbidité : ont été exclus les enfants présentant des troubles sévères associés (retard mental, troubles neurologiques, troubles psychologiques…)

2.2. Description de la population

Notre population est constituée de 29 enfants, âgés de 8 à 13 ans. Nous pouvons observer la répartition suivante :

Tranche d'âge	Effectif
8 ans	10
9 ans	6
10 ans	4
11 ans	2
12 ans	3
13 ans	4

Tableau 2 : répartition de la population, effectif par tranche d'âge

Sexe	Effectif
Filles	15
Garçons	14

Tableau 3 : répartition de la population, effectif par sexe

	Effectif filles	% filles	Effectif garçons	% garçons
8 ans	7	70 %	3	30 %
9 ans	3	50 %	3	50 %
10 ans	1	25 %	3	75 %
11 ans	0	0 %	2	100 %
12 ans	1	33 %	2	67 %
13 ans	3	75 %	1	25 %

Tableau 4 : répartition de la population en fonction de l'âge et du sexe

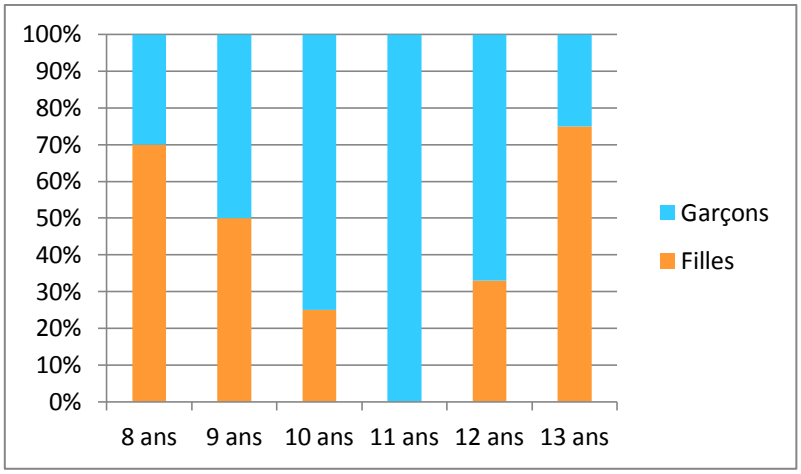


Figure 3 : graphique de répartition de la population par sexe et par âge

Type de trouble orthophonique	**Effectif**
Trouble du calcul et du raisonnement logico-mathématique	10
Trouble du calcul et du raisonnement logico-mathématique + pathologies du langage écrit	19

Tableau 5 : répartition de la population, effectif par type de trouble orthophonique

3. Evaluation

Contrairement à la boucle phonologique, il existe peu d'outils pour l'évaluation de la mémoire de travail visuo-spatiale. Ce constat s'explique par la difficulté méthodologique que les chercheurs rencontrent : pour rendre compte précisément des capacités visuo-spatiales, il faut utiliser un matériel qui ne pourrait être codé que visuellement. Or il existe de fortes corrélations entre le calepin visuo-spatial et la boucle phonologique.

3.1. Evaluation de l'inner scribe : Cubes de Corsi

3.1.1. Présentation

L'épreuve des cubes de Corsi évalue l'*inner scribe* (sous-composante spatiale du calepin visuo-spatial). Elle implique la mémorisation de séquences de localisations spatiales.

Il en existe plusieurs versions. Celle que nous avons choisie, le WNV (Wechsler & Naglieri, 2009) est directement adaptée de l'Echelle clinique de mémoire de Weschler - 3ème édition (MEM III, Wechsler, 2001). Cette adaptation nous a permis de disposer de cotations adaptées à la tranche d'âge qui nous concerne pour cette étude.

3.1.2. Description du matériel

On présente au patient une plaque (blanche) sur laquelle sont disposés de façon aléatoire 10 cubes identiques bleus. On explique au patient que l'on va lui montrer une suite de cubes et qu'il devra les pointer dans le même ordre que nous. Afin d'être sûr de la compréhension de la consigne, on effectue 2 exemples (non cotés).

L'examinateur montre donc des séries de cubes avec son doigt, à raison d'un cube par seconde. Les premières séquences ne comprennent que 2 cubes (différents à chaque fois), mais progressivement, le nombre de cubes augmente jusqu'à 9 cubes au maximum (à raison de 2 séquences de deux cubes, ou de trois cubes…, à chaque fois).

Les cubes sont présentés de la façon suivante :

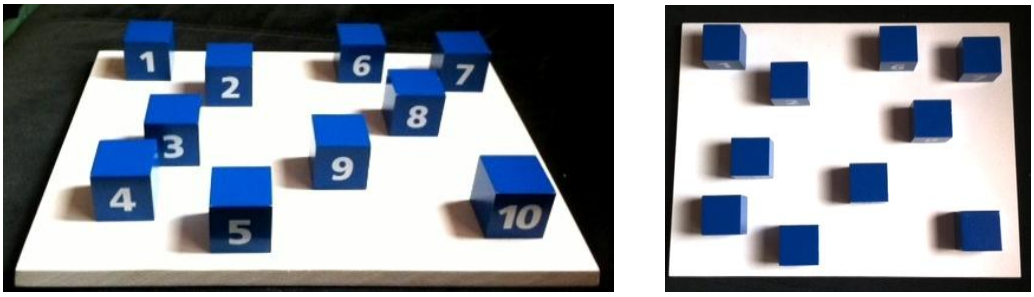


Figure 4 : photographies de la planche des cubes de Corsi

L'examinateur voit les chiffres attribués à chaque cube, mais l'enfant ne voit que des cubes bleus sans distinction.

3.1.3. Consignes

"*Je vais te montrer une série de cubes. Une fois que j'ai terminé, tu dois les montrer dans le même ordre que moi*".

On effectue alors le premier item d'essai, puis on dit "*C'est à ton tour*." S'il ne réagit pas ou semble ne pas avoir compris, on lui dit "*Touche ceux que j'ai touchés*".

S'il se trompe lors des items d'essai, l'examinateur dit : "*Regarde ce que je fais. Je touche celui-ci* [toucher le 1er cube], *puis celui-là* [toucher le 2ème cube]. *Maintenant c'est à toi de le faire*".

S'il réussit, on continue la passation des items suivants.

3.1.4. Cotation

On cote 1 point par réponse correcte, et 0 point par réponse erronée.

Le total maximum est de 32 points.

c.f. Annexe n°4

3.2. Evaluation du visual cache : "Localisation de points" (CMS)

3.2.1. Présentation

Dans la littérature, nous avons trouvé de nombreuses références à un test intitulé "Visual Pattern Test" pour évaluer le *visual cache*. Celui-ci consiste à reproduire un quadrillage (cases noires et blanches) après présentation d'un modèle. Il n'est cependant pas étalonné pour les enfants avant 18 ans. Après recherche, nous avons porté notre choix sur l'item "Localisation de points" du CMS (Echelle de Mémoire pour enfants, Cohen, 2001) qui reproduit le principe du "Visual Pattern Test". Ce test est étalonné pour une population entre 5 et 16 ans.

Il permet d'évaluer la capacité à traiter et apprendre la localisation spatiale de patterns de points à l'issue de trois essais d'apprentissage.

3.2.2. Description du matériel

Les patterns de points sont différents suivant l'âge de l'enfant :

- Pour des enfants jusqu'à 8 ans : l'enfant doit mémoriser la localisation de 6 points sur une grille de 3x4 cases
- Pour les enfants à partir de 9 ans, l'enfant doit mémoriser la localisation de 8 points sur une grille de 4x4 cases

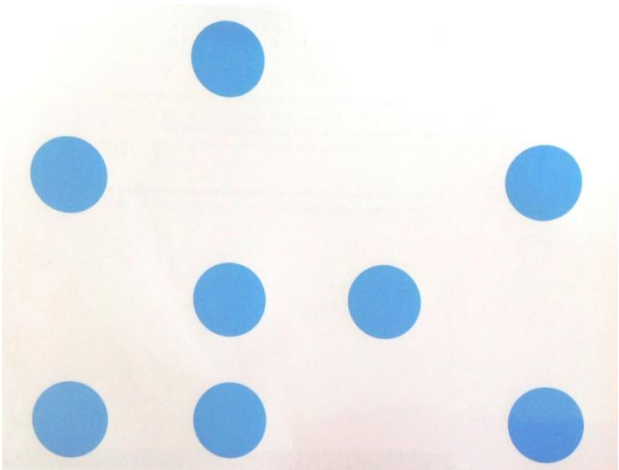


Figure 5 : exemple de stimulus de l'épreuve "Localisation de points" (CMS)

On demande à l'enfant de mémoriser l'emplacement des points bleus répartis de façon aléatoire sur une page blanche et de reproduire la configuration dans les cases de la grille dont il dispose avec des jetons bleus. Le sujet bénéficie de trois essais pour apprendre la localisation des points. Après ces trois essais d'apprentissage, un nouveau stimulus composé de points rouges est présenté au sujet qui doit reproduire cette nouvelle configuration de points sur la même grille. Enfin, pour l'épreuve de "Rappel immédiat", le sujet doit se souvenir de l'emplacement des points bleus présentés lors des premiers essais.

3.2.3. Consignes

" *Je vais te montrer un cadre avec des points bleus, tu dois regarder très attentivement les points et te souvenir de l'endroit où ils sont placés dans le cadre. Puis je vais tourner la page. Tu es prêt(e) ? On va essayer, regarde très attentivement".*

Après 5 secondes d'exposition, on tourne la page de façon à ce que la page stimulus soit hors de vue de l'enfant et qu'il soit devant une feuille vierge.

"*Maintenant, prends les jetons et montre-moi où les points étaient placés"*

S'il ne place pas tous les jetons sur la grille de réponses, "*Mets moi tous les jetons sur la grille. Si tu ne te souviens pas de leur place, essaie de deviner."*

Rappel immédiat : *"Tu te souviens du premier cadre avec les points bleus que tu as regardé 3 fois ? Prends les jetons et montre-moi encore une fois où les points étaient placés. Vas-y, prends les jetons et montre-moi où les jetons bleus étaient placés".*

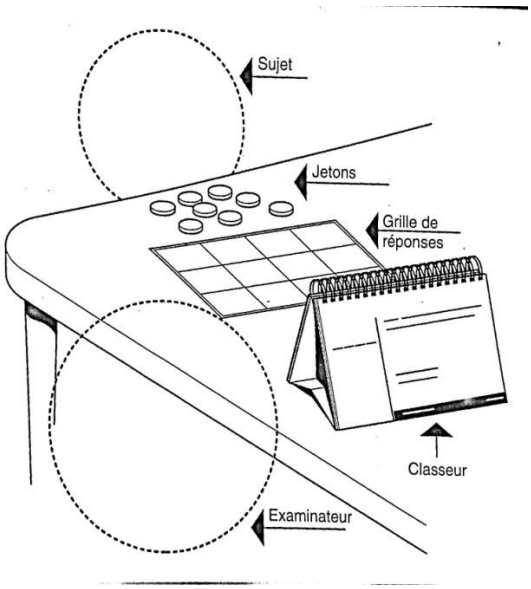


Figure 6 : schéma pour la passation de "Localisation de points" (CMS)

3.2.4. Cotation

On accorde 1 point par point bien placé sur la grille, 0 point pour un point oublié ou mal placé.

c.f. Annexe n°5

3.3. Déroulement de l'évaluation

Les évaluations se sont déroulées en cabinet libéral ou au domicile des patients de manière individuelle, à raison de 10 à 15 minutes de passation par enfant. Pour des raisons pratiques, certaines passations se sont déroulées hors temps de prise en charge orthophonique, alors que d'autres ont été pratiquées pendant ce temps. De plus, la majorité des passations a été faite en dehors des journées de classe.

Pour chacun, les épreuves ont été présentées dans l'ordre suivant : Localisation de points, puis Cubes de Corsi.

B. RESULTATS

1. Lecture des résultats

Notre population est donc constituée de 29 enfants, âgés de 8 à 13 ans et scolarisés entre le CE2 et la 5ème, tous présentant des **troubles du calcul et du raisonnement logico-mathématique.**

Les résultats aux cubes de Corsi et à la Localisation de points sont exprimés en écarts-types (E.T.) par rapport à la moyenne d'âge. De façon générale, on considère d'après la courbe de Gauss que :

- Un score compris entre 1 et -1 écart-type correspond à des sujets dans la moyenne
- Un score compris entre -1 et -2 écarts-types correspond à des sujets "limites"
- Un score à partir de -2 écarts-types correspond à des sujets pathologiques (Grégoire, 2009)

Pour notre étude, nous considérons que :

- Les scores entre 1 et -0.99 E.T. sont dans la moyenne
- Les scores entre -1 et -1.99 E.T. sont déficitaires, mais non pathologiques
- Les scores en dessous de -2 E.T. sont pathologiques

2. Résultats à l'épreuve des cubes de Corsi

2.1. Répartition des résultats à l'épreuve des cubes de Corsi

Qualité des résultats	Effectif	Pourcentage de la population totale
Dans la moyenne	26	89.65 %
Déficitaire	2	6.90 %
Pathologique	1	3.45 %

Tableau 6 : répartition de la population totale à l'épreuve des cubes de Corsi

On observe que **89.65 % de la population de notre étude obtient un score dans la moyenne** pour l'épreuve des cubes de Corsi. Au total, seuls 10.35 % (soit 3 enfants) obtiennent un score inférieur à la moyenne, soit inférieur ou égal à -1 E.T.

Le score moyen de la population à cette épreuve est de **-0.25 E.T.** soit un score dans la moyenne.

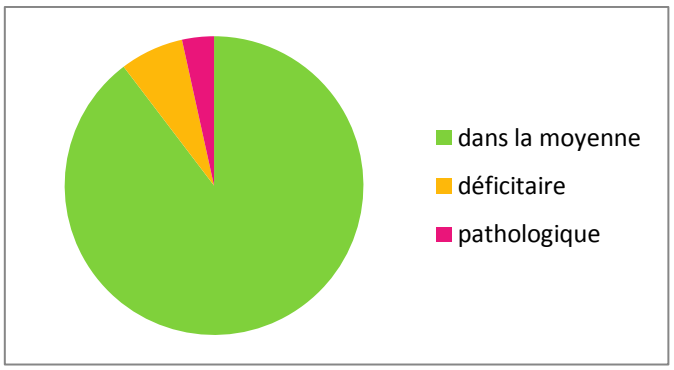


Figure 7 : Graphique de répartition de la population totale à l'épreuve des cubes de Corsi

2.2. Résultats à l'épreuve des cubes de Corsi en fonction de l'âge

Tranche d'âge	Effectif	Moyenne à l'épreuve des Cubes de Corsi (en E.T.)	Score minimum (en E.T.)	Score maximum (en E.T.)
8 ans	9	-0.24	-1	1
9 ans	6	0.04	-0.8	0.9
10 ans	4	-0.2	-0.8	0
11 ans	2	-0.83	-1.25	-0.4
12 ans	3	-0.17	-0.5	0
13 ans	4	-0.53	-2.2	0.3

Tableau 7 : moyennes et scores (minimum et maximum) obtenues à l'épreuve des cubes de Corsi par tranche d'âge

Les moyennes par tranche d'âge se situent entre **-0.83 E.T. et 0.04 E.T.**, soit dans la moyenne. On ne remarque donc pas de grande différence de résultats en fonction de l'âge.

On observe une variabilité importante des résultats individuels dans les tranches d'âge de 8 ans, 9 ans et 13 ans. Les résultats sont plus homogènes pour les tranches d'âge de 10 ans et 12 ans.

La moyenne obtenue pour la tranche d'âge "11 ans" est nettement inférieure aux autres. Cependant, on note qu'il n'y a que 2 individus dans cette tranche d'âge.

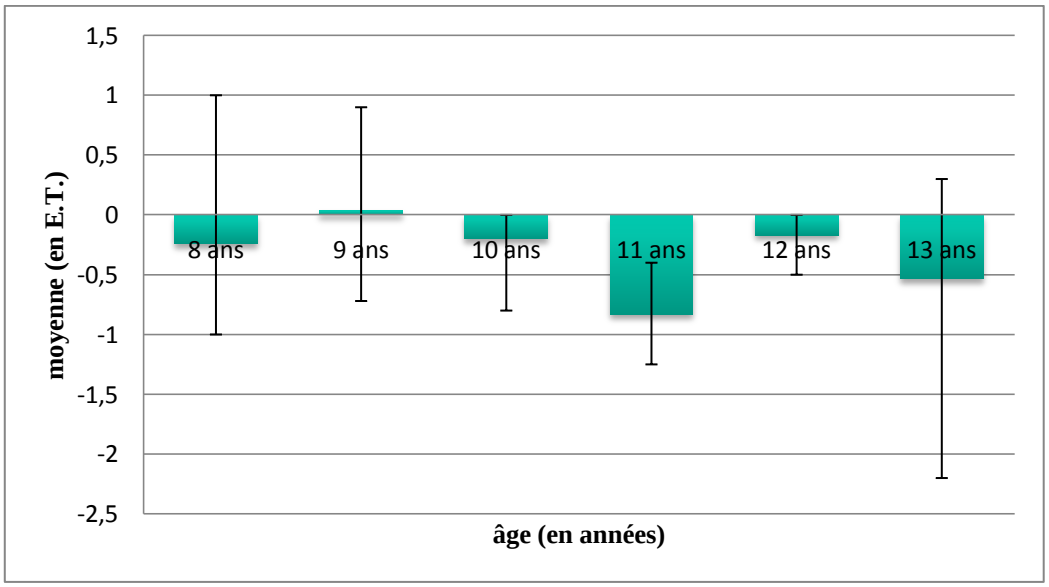


Figure 8 : Graphique des moyennes à l'épreuve des Cubes de Corsi par tranche d'âge

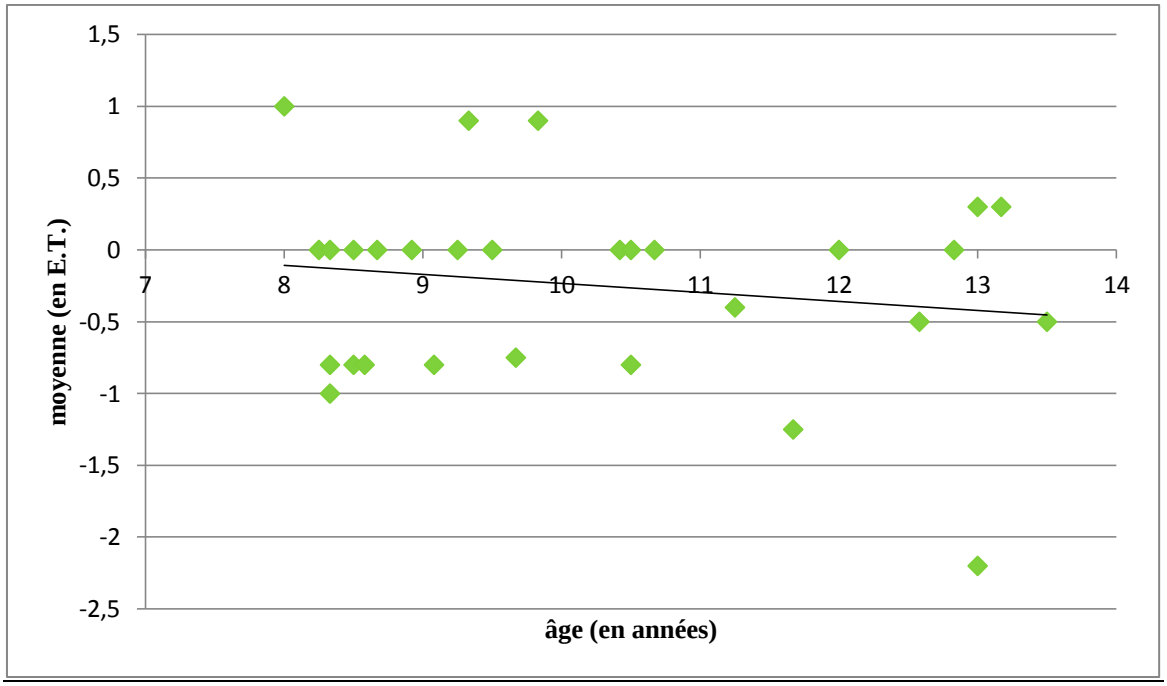


Figure 9 : graphique de répartition et courbe de tendance de la population à l'épreuve des cubes de Corsi en fonction de l'âge

On note que la courbe de tendance diminue très peu sur l'intervalle d'âge de notre population. Les résultats à l'épreuve des cubes de Corsi restent stables.

2.3. Résultats à l'épreuve des cubes de Corsi en fonction du trouble orthophonique

2.3.1. Comparaison des résultats des deux groupes

Type de trouble orthophonique	Effectif	Moyenne (en E.T.)	Minimum (en E.T.)	Maximum (en E.T.)
Troubles du calcul (LM)	10	-0.31	-2.2	0.9
Troubles du calcul et du langage écrit (LM+LE)	19	-0.21	-1.25	1

Tableau 8 : moyennes en fonction du trouble orthophonique

Les résultats sont **dans la moyenne pour les deux groupes**. On note cependant que les enfants LM sont les seuls à obtenir une moyenne minimum pathologique.

2.3.2. Résultats des enfants avec troubles du calcul seulement

Qualité des résultats	Résultats aux cubes de Corsi	
	(effectif)	(pourcentage)
Dans la moyenne	8	80 %
Déficitaire	1	10 %
pathologique	1	10 %

Tableau 9 : répartition des résultats à l'épreuve "Localisation de points" (CMS) chez les enfants avec troubles du calcul uniquement

80 % de la population est dans la moyenne. Les 20% restants sont équitablement répartis entre scores déficitaires et pathologiques.

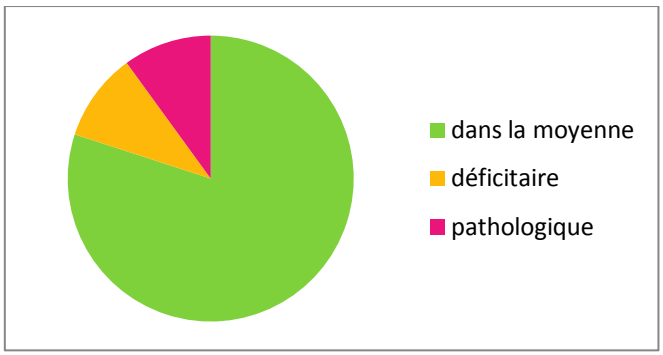


Figure 10 : graphique des résultats aux cubes de Corsi chez les enfants suivis pour troubles du calcul seulement

2.3.3. Résultats des enfants avec troubles du calcul et du langage écrit

Qualité des résultats	Résultats aux cubes de Corsi	
	(effectif)	(pourcentage)
Dans la moyenne	18	95 %
Déficitaire	1	5 %
pathologique	0	0 %

Tableau 10 : répartition des résultats à l'épreuve "Localisation de points" (CMS) chez les enfants avec troubles du calcul et du langage écrit

95 % des sujets obtiennent un score **dans la moyenne**. On note qu'un seul sujet obtient un score déficitaire.

On remarque qu'**aucun sujet ne présente de score pathologique** dans cette population.

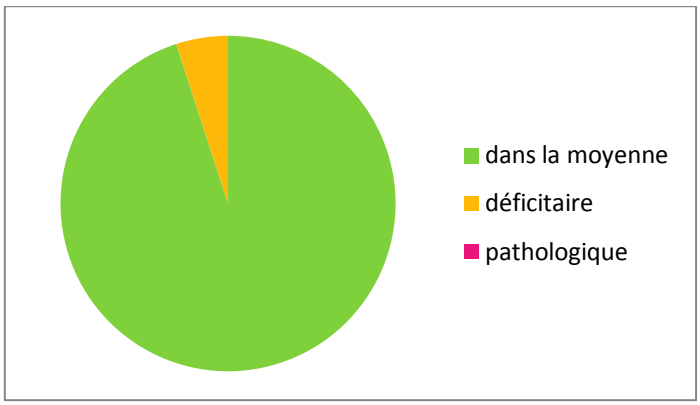


Figure 11 : graphique des résultats aux cubes de Corsi chez les enfants suivis pour troubles du calcul et du langage écrit

2.4. Résultats à l'épreuve des cubes de Corsi en fonction du sexe

Sexe	Effectif	Moyenne (en E.T.)	Minimum (en E.T.)	Maximum (en E.T.)
Garçons	14	0.00	-1.25	1
Filles	15	-0.48	-2.2	0.9

Tableau 11 : répartition des résultats obtenus aux cubes de Corsi en fonction du sexe (pourcentages)

On remarque que **filles et garçons obtiennent des résultats dans la moyenne**. Cependant, on notera que les résultats des filles sont moins bons que ceux des garçons.

Les scores en dessous de la moyenne sont différents selon les sexes :

- Le seul garçon sous la moyenne obtient un résultat déficitaire
- La seule fille sous la moyenne obtient un résultat pathologique

Sexe	Effectif total	Qualité des résultats		
		Dans la moyenne	Déficitaire	pathologique
Garçons	14	13	1	0
Filles	15	14	.0	1

Tableau 12 : répartition des résultats obtenus aux cubes de Corsi en fonction du sexe (effectifs)

3. Résultats à l'épreuve "Localisation de points" (CMS)

3.1. Répartition des résultats à l'épreuve "Localisation de points" (CMS)

Qualité des résultats	Effectif	Pourcentage de la population totale
Dans la moyenne	11	37.93 %
Déficitaire	15	51.72 %
Pathologique	3	10.34 %

Tableau 13 : répartition de la population totale à l'épreuve "Localisation de points" (CMS)

37.93 % de la population seulement obtient un score dans la **moyenne**, soit un tiers de la population. Les deux tiers restants sont répartis de la façon suivante :

- **51.72 %** des sujets obtiennent un score **déficitaire**
- **10.34 %** des sujets obtiennent un score **pathologique**

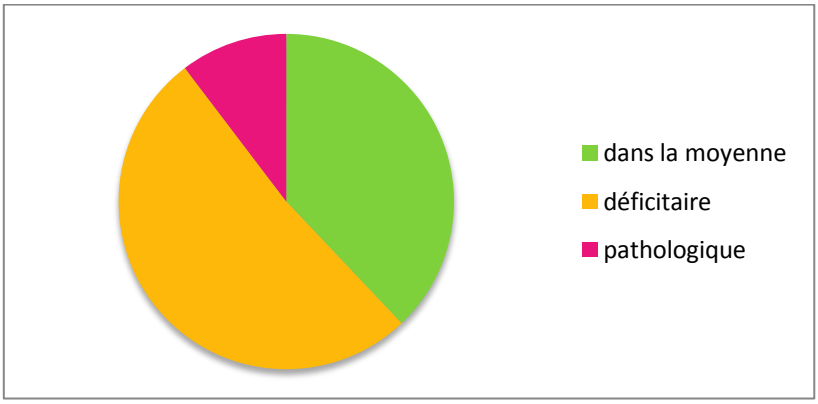


Figure 12 : graphique de répartition de la population par niveau à l'épreuve "Localisation de points" (CMS)

3.2. Résultats à l'épreuve "Localisation de points" (CMS) en fonction de l'âge

3.2.1. Résultats pour la population totale en fonction de l'âge

Tranche d'âge	Moyenne à l'épreuve du CMS (en E.T.)	Minimum (en E.T.)	Maximum (en E.T.)
8 ans	-0.45	-1.7	0.7
9 ans	-0.55	-1.3	0.3
10 ans	-1.5	-2	-1
11 ans	-1.35	-1.7	-1
12 ans	-1.43	-2	-1
13 ans	-1.48	-2.3	-1
Population totale	-1.13	-2.3	0.7

Tableau 14 : moyennes et scores (minimum et maximum) à l'épreuve "Localisation de points" (CMS) par tranche d'âge

Le résultat moyen obtenu à l'épreuve du CMS par la population est de **-1.13 E.T.**, soit un score **déficitaire**. Les scores moyens par tranche d'âge se situent entre -0.45 E.T. et -1.5 E.T.

On observe une différence importante entre les moyennes :

- Des **8 ans et 9 ans** : scores dans la **moyenne** (entre -0.55 et -0.45 ET)
- Des **10 ans à 13 ans** : scores **déficitaires** (entre -1.5 et 1.13 ET)

On note également, qu'aucun des enfants entre 10 et 13 ans n'obtient de score dans la moyenne. Cependant, on rappelle que seuls 3 sujets obtiennent un score pathologique.

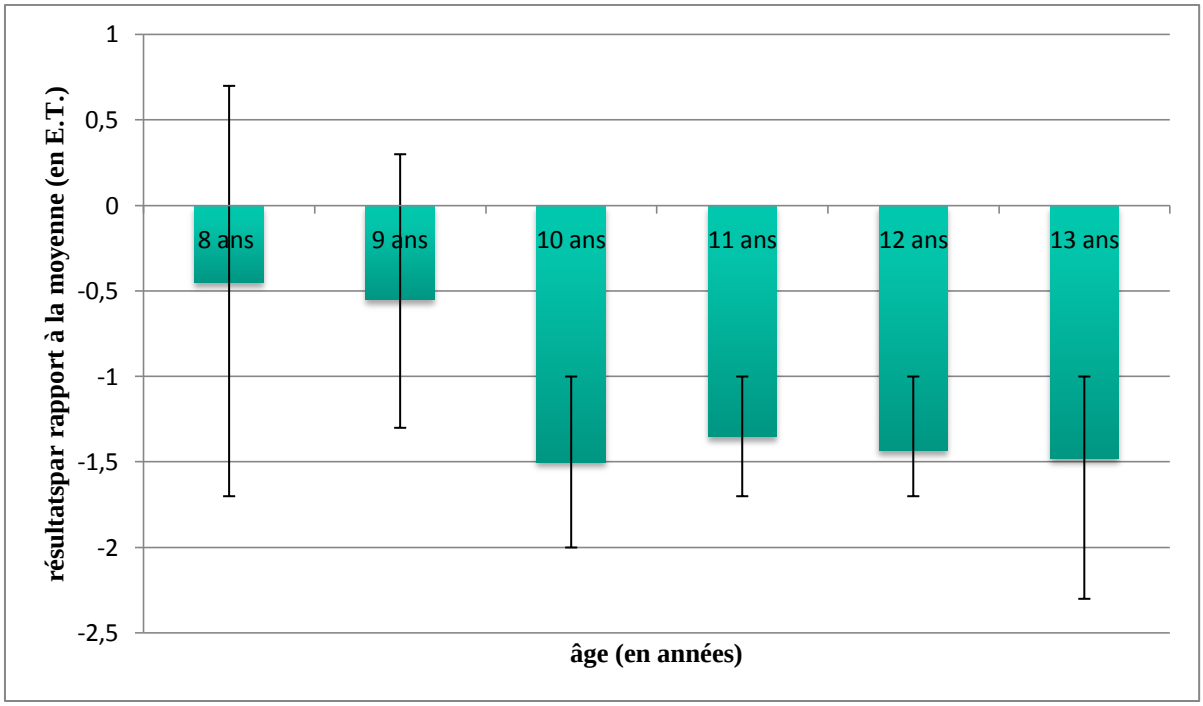


Figure 13 : graphique des moyennes à l'épreuve "Localisation de points" (CMS) par tranche d'âge

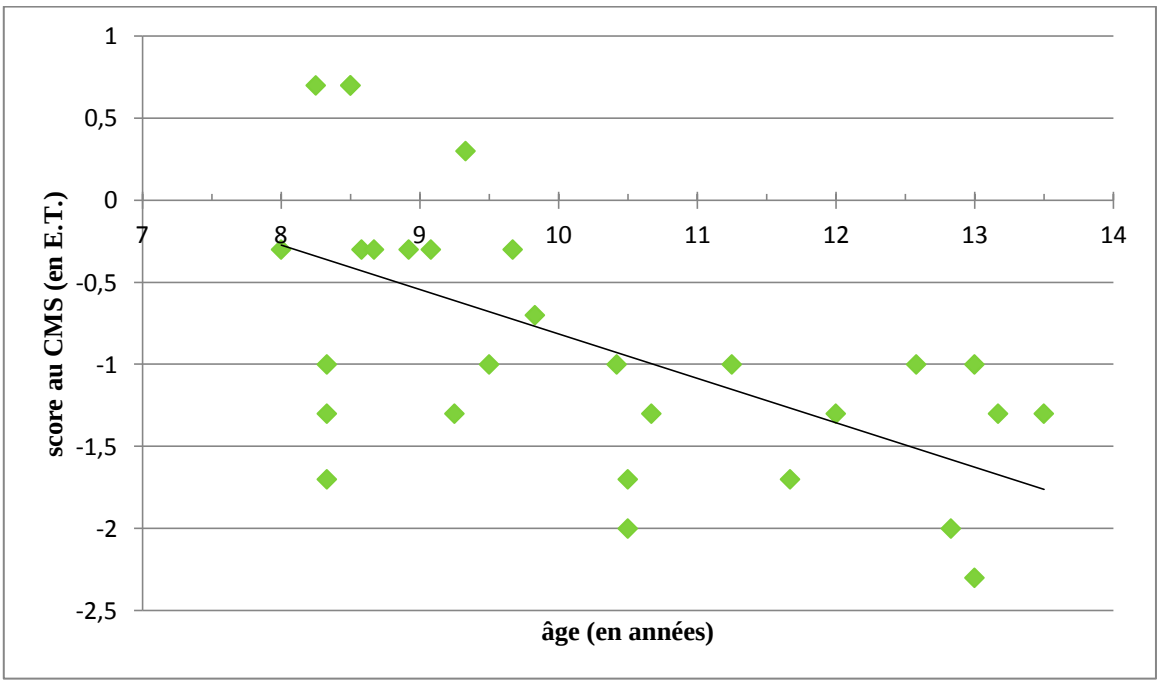


Figure 14 : graphique de répartition et courbe de tendance de la population à l'épreuve "Localisation de points" (CMS) en fonction de l'âge

On note que **les résultats ont tendance à diminuer avec l'âge** sur toute l'étendue de notre population.

3.2.2. Résultats pour la population de 8 et 9 ans

population	Qualité des résultats		
	Dans la moyenne	Déficitaire	Pathologique
8 ans	70 %	30 %	0 %
9 ans	66.67 %	33.33 %	0 %
8 et 9 ans	**68.75 %**	**31.25 %**	**0 %**

Tableau 15 : répartition des résultats à l'épreuve "Localisation de points" (CMS) entre 8 et 9 ans

Globalement, on observe une répartition telle que :

- **Deux tiers** des enfants de 8 et 9 ans obtiennent des scores dans la **moyenne**
- **Un tiers** des enfants de 8 et 9 ans obtient des scores **déficitaires**
- Aucun enfant de 8 ou 9 ans n'obtient de score pathologique

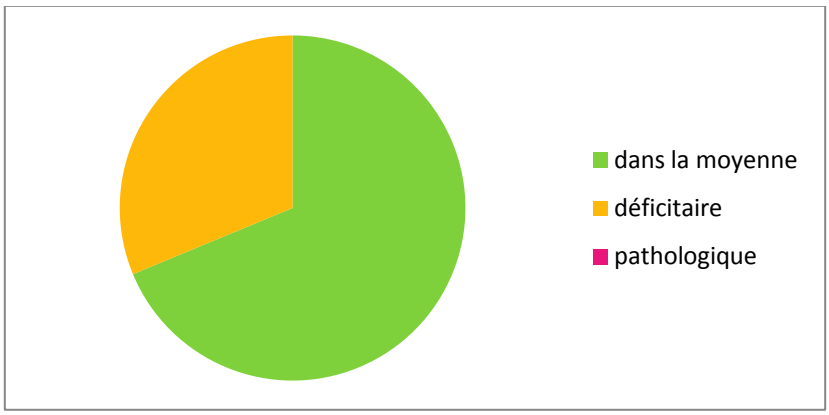


Figure 15 : graphique de répartition des résultats à l'épreuve "Localisation de points" (CMS) entre 8 et 9 ans

3.2.3. Résultats pour la population de 10 à13 ans

Population	Qualité des résultats		
	Dans la moyenne	Déficitaire	Pathologique
10 ans	0 %	75 %	25 %
11 ans	0 %	100 %	0 %
12 ans	0 %	66.67 %	33.33 %
13 ans	0 %	75 %	25 %
10-13 ans	**0 %**	**76.92 %**	**23.08 %**

Tableau 16 : répartition des résultats à l'épreuve "Localisation de points" (CMS) entre 10 et 13 ans

Globalement, on observe une répartition telle que :

- **Aucun enfant entre 10 et 13 ans n'obtient de score dans la moyenne**
- Trois quarts des enfants entre 10 et 13 ans obtiennent des scores déficitaires
- Un quart des enfants de 10 et 13 ans obtient des scores pathologiques

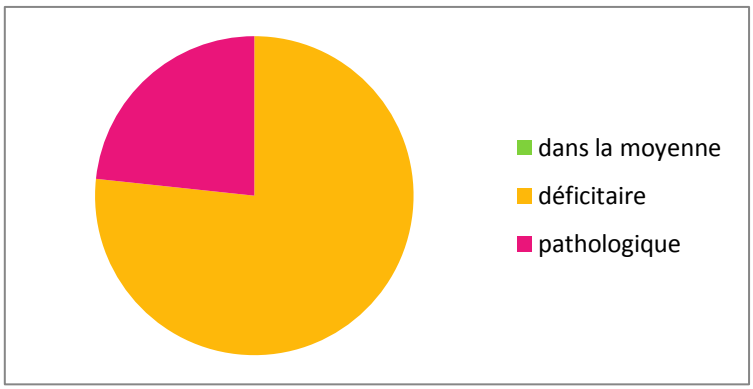


Figure 16 : graphique de répartition des résultats obtenus à l'épreuve "Localisation de points" (CMS) entre 10 et 13 ans

3.3. Résultats à l'épreuve "Localisation de points" (CMS) en fonction du trouble orthophonique

3.3.1. Comparaison des résultats des deux groupes

Type de trouble orthophonique	Effectif	Moyenne (en E.T.)	Minimum (en E.T.)	Maximum (en E.T.)
Troubles du calcul (LM)	10	-1.05	-2.3	0.7
Troubles du calcul et du langage écrit (LM+LE)	19	-0.79	-1.7	0.7

Tableau 17 : moyennes en fonction du trouble orthophonique

Les enfants **LM** obtiennent une moyenne **déficitaire** (-1.05 E.T.) alors que les enfants **LM+LE** restent dans la **moyenne** (-0.79). Les enfants LM sont les seuls à avoir un score minimum pathologique (-2.3 E.T.).

3.3.2. Résultats des enfants avec troubles du calcul seulement

Qualité des résultats	Résultats au CMS	
	(effectif)	(pourcentage)
Dans la moyenne	4	40 %
Déficitaire	3	30 %
pathologique	3	30 %

Tableau 18 : répartition des résultats à l'épreuve "Localisation de points" (CMS) chez les enfants avec troubles du calcul uniquement

40 % des sujets obtiennent un score dans la moyenne, les **60 % restants** étant répartis équitablement entre scores **déficitaires** ou **pathologiques**.

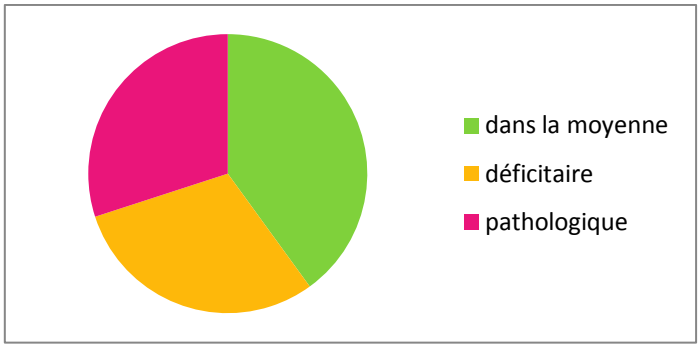


Figure 17 : graphique des résultats à la "Localisation de points" (CMS) chez les enfants suivis pour troubles du calcul seulement

3.3.3. Résultats des enfants avec troubles du calcul et du langage écrit

Qualité des résultats	Résultats au CMS	
	(effectif)	(pourcentage)
Dans la moyenne	7	36.84 %
Déficitaire	12	63.16 %
Pathologique	0	0 %

Tableau 19 : répartition des résultats à l'épreuve "Localisation de points" (CMS) chez les enfants avec troubles du calcul et du langage écrit

Seul un tiers des sujets obtient un score dans la moyenne, alors que les **deux tiers** restants obtiennent un score **déficitaire**.

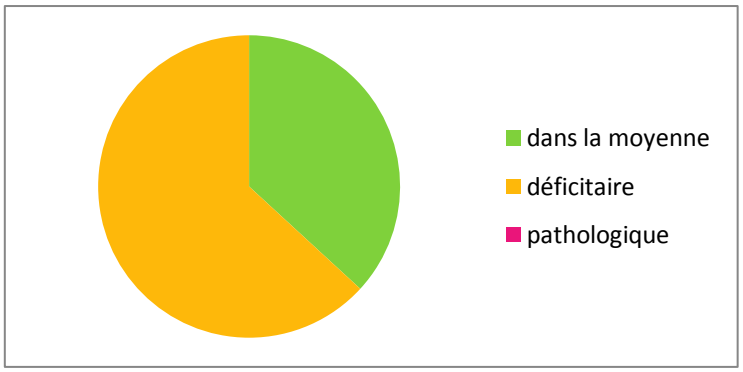


Figure 18 : graphique de répartition des résultats à la "Localisation de points" (CMS) chez les enfants suivis pour troubles du calcul et du langage écrit

3.4. Résultats à l'épreuve "Localisation de points" (CMS) en fonction du sexe

	Effectif	Moyenne (en E.T.)	Minimum (en E.T.)	Maximum (en E.T.)
Garçons	14	-0.82	-2	0.7
Filles	15	-1.01	-2.3	-0.3

Tableau 20 : répartition des résultats à l'épreuve "Localisation de points" (CMS) en fonction du sexe

On observe qu'il y a **peu de différence entre les sexes**. Cependant, on observe que la moyenne des filles est déficitaire alors que celle des garçons est dans la moyenne.

Population	**Qualité des résultats**		
	Dans la moyenne	Déficitaire	Pathologique
Garçons	28.57 %	64.29 %	7.14 %
Filles	46.67 %	40 %	13.33 %

Tableau 21 : répartition des résultats à l'épreuve "Localisation de points" (CMS) en fonction du sexe (pourcentages)

Population	**Effectif total**	**Effectifs**		
		Dans la moyenne	Déficitaire	Pathologique
Garçons	14	4	9	1
Filles	15	7	6	2

Tableau 22 : répartition des résultats obtenus à l'épreuve "Localisation de points" (CMS) en fonction du sexe (effectifs)

La répartition des résultats est différente pour les deux sexes :

- Chez les filles : la proportion d'enfants ayant un score dans la moyenne et la proportion d'enfants ayant un score déficitaire tournent tous deux autour de 40%
- Chez les garçons : il y a environ 2/3 des enfants qui sont déficitaires contre 1/3 d'enfants dans la moyenne

Le nombre de sujets ayant un score pathologique est légèrement supérieur chez les filles que chez les garçons.

4. Comparaison des résultats des deux épreuves

4.1. Comparaison des performances aux deux épreuves

Comparaison des scores	Effectif	Pourcentage de la population totale
CMS > cubes de Corsi	6	20.79 %
CMS < cubes de Corsi	25	79.31 %

Tableau 23 : comparaison des scores aux deux épreuves de bilan

Environ 80 % des sujets ont un meilleur score à l'épreuve des cubes de Corsi qu'à l'épreuve de localisation de points du CMS. 20 % sont dans la situation opposée.

Niveau des résultats au CMS	Effectif total	Effectif des sujets "CMS > Corsi"
Dans la moyenne	11	6
Déficitaire	15	0
pathologique	3	0

Tableau 24 : Répartition des sujets "CMS > Corsi" en fonction du niveau obtenu au CMS

Tous les enfants ayant obtenus un meilleur score au CMS qu'aux cubes de Corsi font partie des sujets ayant eu un score dans la moyenne au CMS. Tous les sujets ayant un score déficitaire ou pathologique au CMS obtiennent un meilleur score aux cubes de Corsi qu'au CMS.

4.2. Comparaison en fonction de l'âge

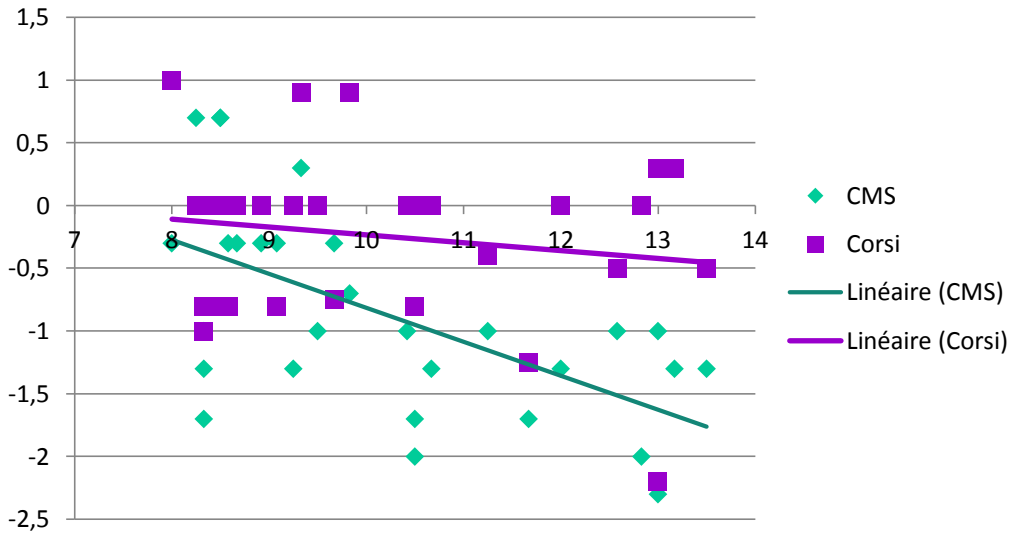


Figure 19 : graphique de répartition de la population et courbe de tendance des résultats pour les deux épreuves du bilan

On voit nettement que la courbe de tendance pour l'épreuve des cubes de Corsi diminue lentement avec l'avancée en âge alors que celle de l'épreuve du CMS diminue rapidement. **Plus l'âge des sujets augmente, plus l'écart est important entre les performances des cubes de Corsi et celles du CMS**.

4.3. Comparaison des résultats aux deux épreuves en fonction du trouble orthophonique

Type de trouble orthophonique	moyenne aux cubes de **Corsi** (en E.T.)	moyenne au **CMS** (en E.T.)
Troubles du calcul	-0.31	-1.05
Troubles du calcul et du langage écrit	-0.21	-0.79

Tableau 25 : moyennes aux épreuves de bilan en fonction du trouble orthophonique

On remarque que **les moyennes obtenues par les enfants LM sont légèrement inférieures à celles obtenues chez les enfants LM+LE**.

Les moyennes aux cubes de Corsi sont très proches pour les deux populations et sont dans la moyenne. On voit qu'il y a plus d'écart entre les deux populations pour les moyennes au CMS. Les enfants **LM** sont les seuls à obtenir une **moyenne déficitaire** au **CMS**.

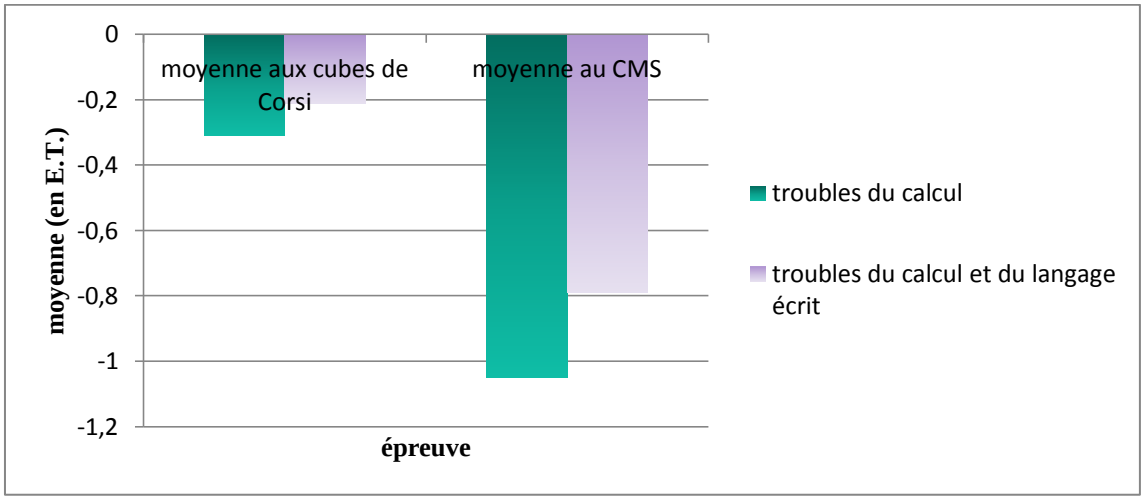


Figure 20 : graphique de comparaison des résultats aux épreuves de bilan en fonction du type de trouble orthophonique

4.3.1. Corrélation des résultats aux deux épreuves chez les enfants LM

CMS / Corsi	**Moyenne**	**Déficitaire**	**Pathologique**
Moyenne	**4**	**2**	**2**
Déficitaire	0	**1**	0
Pathologique	0	0	**1**

Tableau 26 : corrélation entre les deux épreuves de bilan chez les enfants suivis pour trouble du calcul uniquement (effectifs)

Les sujets ayant un score dans la moyenne aux cubes de Corsi ont des résultats variables au CMS.

Tous les sujets ayant un **score inférieur à la moyenne** à l'épreuve des cubes de **Corsi** obtiennent des **scores inférieurs à la moyenne** à l'épreuve du **CMS**.

4.3.2. Corrélation des résultats aux deux épreuves pour les enfants LM+LE

Corsi \ CMS	**Moyenne**	**Déficitaire**	**Pathologique**
Moyenne	**7**	**11**	0
Déficitaire	0	**1**	0
Pathologique	0	0	0

Tableau 27 : corrélation entre les deux épreuves de bilan chez les enfants suivis pour trouble du calcul et du langage écrit (effectifs)

Les sujets ayant un score dans la moyenne au CMS ont aussi un score dans la moyenne pour les cubes de Corsi. La quasi-totalité des sujets ayant un score déficitaire au CMS (11 sur 12) ont un score dans la moyenne aux cubes de Corsi.

Le seul sujet ayant un **score déficitaire** aux cubes de **Corsi** a également un **score déficitaire** au **CMS.**

4.4. Comparaison des scores aux deux épreuves en fonction du sexe

Corsi \ CMS	**Moyenne**	**Déficitaire**	**Pathologique**
Moyenne	**4**	**8**	**1**
Déficitaire	0	**1**	0
Pathologique	0	0	0

Tableau 28 : répartition des garçons en fonction des deux épreuves de bilan

CMS Corsi	**Moyenne**	**Déficitaire**	**Pathologique**
Moyenne	**7**	**6**	**1**
Déficitaire	0	0	0
Pathologique	0	0	**1**

Tableau 29 : répartition des filles en fonction des deux épreuves de bilan

Dans les deux groupes, la quasi-totalité de la population obtient des scores dans la moyenne à l'épreuve de Corsi jumelés à des scores dans la moyenne ou déficitaires au CMS.

Un seul garçon obtient des scores déficitaires dans les deux épreuves. Une seule fille obtient des scores pathologiques aux deux épreuves.

C. DISCUSSION

1. Rappel des objectifs

Notre étude avait pour objectif de rendre compte d'un déficit spécifique de l'un des deux sous-composants du calepin visuo-spatial (*inner scribe* ou *visual cache*) chez les enfants de 8 à 13 ans présentant des troubles du calcul et du raisonnement logico-mathématique.

2. Rappel des résultats

Concernant les résultats à l'épreuve des cubes de Corsi (testant l'*inner scribe*), on obtient un score moyen de -0.25 E.T., soit un score dans la moyenne (89.65% des sujets obtiennent un score dans la moyenne). On ne remarque **pas de différence majeure** dans la moyenne des scores que l'on prenne en compte l'âge, la pathologie ou le sexe des sujets.

Concernant les résultats à l'épreuve de l'item "Localisation de points" du CMS (testant le *visual cache*), le score moyen est de -1.13 E.T., soit un **score déficitaire mais non pathologique** (61.72% des sujets obtiennent un score inférieur à la moyenne). On remarque ici une **nette différence entre les scores des sujets âgés de 8 et 9 ans et ceux de 10 à 13 ans**. En effet, les sujets les plus jeunes sont majoritairement dans la moyenne (2/3 de résultats dans la moyenne contre 1/3 de résultats déficitaires) alors que pour les plus grands, tous les scores sont situés en dessous de la moyenne (3/4 des résultats sont déficitaires et 1/4 sont pathologiques).

On remarque également une **différence de résultats en fonction du sexe** des sujets : les filles obtiennent un score moyen déficitaire (-1.01 E.T.) alors que les garçons obtiennent un score dans la moyenne (-0.82 E.T.). Cette différence peut s'expliquer par la composition de notre échantillon : certaines des filles évaluées ont obtenu des résultats très bas, ce qui abaisse beaucoup la moyenne du groupe "filles". On observe d'ailleurs que proportionnellement, les garçons ont plus souvent de résultats sous la moyenne (71.43%) que les filles (53.33%).

Une **différence est également observée en fonction du trouble orthophonique** des sujets : les enfants suivis pour troubles du calcul uniquement obtiennent un score moyen

déficitaire (-1.05 E.T.) alors que les enfants suivis pour troubles du calcul et du langage écrit obtiennent un score dans la moyenne (-0.79 E.T.).

L'analyse des résultats de cette étude met en évidence le fait que notre population obtient majoritairement des **scores inférieurs à la moyenne à l´epreuve "Localisation de points" du CMS et non à l'épreuve des cubes de Corsi. On peut supposer un déficit du *visual cache*.** Cependant, on note peu de résultats pathologiques. On peut également noter que la grande majorité des sujets (79.31%) obtient un meilleur score à l'épreuve des cubes de Corsi qu'à l'épreuve de "Localisation de points" du CMS. Les 20 % restants ne concernent que des enfants performants aux deux épreuves.

3. Discussion des résultats

Notre étude montre que pour la quasi-totalité de notre population, on observait des résultats différents aux deux épreuves du bilan. Cela prouve donc que ces enfants ne présentent pas les mêmes habiletés au niveau visuel et au niveau spatial.

L'analyse des résultats de notre étude met en lumière certains faits intéressants.

→ Un déficit inégal entre les sous-composants du calepin visuo-spatial

Comme nous l'avons remarqué, les performances de nos sujets sont différentes en fonction des épreuves : ils sont dans la moyenne pour les cubes de Corsi, et en dessous de la moyenne pour le CMS. **Cette grande majorité a donc un déficit localisé au niveau de la composante visuelle (*visual cache)***. La composante spatiale (*inner scribe)* est, quant à elle, préservée dans la quasi-totalité des cas.

Cependant, les résultats montrent de façon claire que, bien que les performances du *visual cache* soient inférieures à la moyenne, rares sont les scores pathologiques. On retrouve essentiellement des scores déficitaires. Ces enfants présenteraient donc plus généralement un déficit du *visual cache* qu'un trouble.

A l'inverse, les sujets ayant obtenu un score en dessous de la moyenne aux cubes de Corsi ont un score en dessous de la moyenne au CMS. **On pourrait penser que le déficit isolé de l'*inner scribe* n'existe pas.** On peut supposer qu'il existe une interdépendance entre l'*inner scribe* et le *visual cache*.

→ Un facteur "âge" important

Comme nous avons pu le voir dans l'analyse des résultats, la quasi-totalité de notre échantillon se situe dans la moyenne pour l'épreuve des cubes de Corsi. A contrario, on distingue très nettement deux groupes d'âges concernant les performances du *visual cache*.

Entre 8 et 9 ans, les deux tiers de notre population obtiennent des scores dans la moyenne, contre un tiers de scores déficitaires. La majorité d'entre eux ne présente donc pas de déficit au niveau du calepin visuo-spatial. D'après Hitch et McLean (1999), le déficit en mémoire de travail des enfants présentant des troubles du calcul est spécifiquement situé au niveau de l'administrateur central et du calepin visuo-spatial. N'ayant pas évalué les

performances de l'administrateur central, il nous est impossible de savoir si ces enfants, pour qui le calepin visuo-spatial est performant, ont également des performances suffisantes au niveau de l'administrateur central.

Ce n'est que chez les enfants à partir de 10 ans que l'on voit une nette diminution des performances au niveau du *visual cache* : aucun des enfants entre 10 et 13 ans n'a obtenu de score dans la moyenne. Le déficit du *visual cache* est donc ici manifeste, bien que les scores pathologiques restent minoritaires.

On pourrait imaginer que la différence observée est due à des stimuli différents (6 points à retenir pour les enfants de 8 ans et 8 points à retenir pour les plus grands). Les enfants de 9 ans ayant des résultats dans la moyenne pour le *visual cache*, cette explication n'est pas satisfaisante.

On constate une diminution des résultats à l'épreuve évaluant le *visual cache* avec l'avancée en âge. Il est important de remarquer que cette diminution est continue et non par paliers. On peut ainsi se demander si les performances visuelles diminuent réellement avec l'avancée en âge ou si ces performances stagnent : un "palier" de compétences ne serait pas franchi par les enfants. Pour cela, il faudrait comparer les performances des enfants en termes d'âge développemental et non en écart-type par rapport à la moyenne. Malgré tout, on voit nettement **qu'un écart se creuse peu à peu entre les capacités de l'*inner scribe* - qui restent dans la moyenne - et les capacités du *visual cache*.**

→ Une distinction entre trouble isolé et comorbidité

Deux profils peuvent être distingués dans la population de cette étude : un premier profil regroupe des enfants suivis en rééducation orthophonique pour un "trouble du calcul et du raisonnement logico-mathématique" uniquement (enfants LM), alors que le second rassemble des enfants suivis à la fois pour ces mêmes troubles mais également pour "pathologie du langage écrit" (enfants LM+LE).

Globalement, nous avons montré que **le groupe d'enfants LM obtenait des résultats moins bons que le groupe LM+LE.**

Les moyennes des résultats aux cubes de Corsi pour les deux groupes sont assez proches. Cependant, notre étude montre que 20% des enfants LM sont en dessous de la moyenne (10% déficitaire et 10% pathologique), alors qu'il n'y en a que 5% (déficitaire) chez

les enfants LM+LE. On a donc une nette différence entre les deux groupes, en faveur des enfants LM+LE.

Concernant les résultats à la "Localisation de points" (CMS) : on observe autant d'enfants en dessous de la moyenne dans les deux groupes (les deux tiers). Les résultats des groupes sont pourtant différents : il n'y a que des enfants déficitaires chez les enfants LM+LE, alors que les enfants LM sont équitablement répartis entre scores déficitaires et pathologiques.

Une majorité d'enfants dyscalculiques (avec ou sans comorbidité) auraient ainsi un déficit spécifique du *visual cache*. Ce déficit serait d'autant plus important lorsque l'enfant ne présente pas de comorbidité. **Les enfants LM sont également les seuls à présenter un déficit global du calepin visuo-spatial.**

Les performances en langage écrit font intervenir la boucle phonologique. Les enfants LM+LE, globalement meilleurs que les enfants LM au niveau du calepin visuo-spatial, pourraient être plus atteints au niveau de la boucle phonologique. Il serait intéressant de comparer les performances du calepin visuo-spatial et de la boucle phonologique chez les deux groupes d'enfants LM et LM+LE afin de voir si les meilleures habiletés visuo-spatiales des enfants LM+LE est contrebalancée par des performances moindres au niveau de la boucle phonologique.

→ Le facteur "sexe du sujet"

Les résultats obtenus aux cubes de Corsi sont très proches pour les deux groupes : seuls deux enfants (une fille et un garçon) ont des scores en dessous de la moyenne. La fille est cependant la seule à obtenir un score pathologique.

Les moyennes par sexe obtenues au CMS ne reflètent pas les performances de nos sujets. En ne prenant en compte que la moyenne générale, on peut penser que les filles avaient des habiletés visuo-spatiales moins bonnes que les garçons. Or la répartition de la population montre au contraire que le pourcentage de filles en dessous de la moyenne (53.33%) est inférieur à celui des garçons (71.43%). La moyenne générale faible des filles est due au fait qu'il y a plus de scores pathologiques chez les filles que chez les garçons, abaissant ainsi la moyenne générale des filles.

Dans notre population, les filles ont donc moins souvent un déficit du *visual cache* que les garçons. L'étendue des résultats des filles est par contre plus large : seule une fille de notre échantillon présente un trouble global (*inner scribe* et *visual cache*) du calepin visuo-spatial.

→ La rééducation orthophonique

De plus, notre étude montre des habiletés limitées chez un grand nombre des enfants évalués au niveau du calepin visuo-spatial, et tout particulièrement au niveau du *visual cache*. Tout comme M.-P. Noël (2005 (2)) le suppose pour la mémoire de travail dans son ensemble, on peut penser que ces performances faibles au niveau du calepin visuo-spatial sous-tendent la dyscalculie. Des exercices d'entraînement de la mémoire de travail visuo-spatiale peuvent être proposés (c.f. Annexe n°6).

4. Biais et limites méthodologiques de l'étude

Malgré la rigueur observée au cours de la réalisation de cette étude, plusieurs biais méthodologiques sont à noter.

→ Au niveau de l'évaluation

Le choix des tests a été une question difficile pour cette étude. En effet, la littérature évoquait majoritairement le "Visual Pattern Test" pour l'évaluation du *visual cache*. Cependant, notre étude concernant une population d'enfants et n'ayant pas accès à des cotations pour cette tranche d'âge, nous avons fait le choix d'utiliser l'item "Localisation de points" du CMS. Celui-ci a été choisi pour sa similitude avec le "Visual Pattern Test". Cependant, nous pouvons noter que l'item choisi fait intervenir à la fois la mémoire de travail visuo-spatiale mais également la mémoire à court terme. Ainsi, les résultats obtenus peuvent ne pas refléter complètement ce que l'on cherche à évaluer.

→ Au niveau de la population

Le nombre limité de sujets de notre étude nous pousse à considérer avec prudence la généralisation des résultats obtenus. Un échantillon plus large permettrait d'obtenir des résultats plus fiables.

D'autre part, bien que la répartition au niveau du sexe des sujets ait été respectée, la répartition au cœur des différentes tranches d'âges n'était pas homogène. Nous ne disposions que de deux sujets de 11 ans. Une répartition homogène, aussi bien au niveau de l'âge que du sexe est donc préférable pour la fiabilité des résultats.

De plus, nous n'avons pas pris en compte le temps de prise en charge orthophonique antérieur comme variable pour notre étude. Or cette prise en charge peut influencer les performances des enfants aux épreuves proposées. L'ajout de cette variable pourrait donc présenter un intérêt pour l'exactitude des résultats. De plus, il serait intéressant de savoir si, lors des rééducations, la mémoire de travail (et en particulier le calepin visuo-spatial) a été travaillé.

Enfin, pour des raisons pratiques nous avons fait le choix d'intégrer des enfants présentant une comorbidité entre troubles et du calcul et du langage écrit à notre population.

Cependant nous avons pu observer que les résultats de ces sujets n'allaient pas dans le même sens que ceux des sujets ne présentant qu'un trouble du calcul. Nos résultats ont donc pu être biaisés par la présence de cette comorbidité. La mise en place d'un critère excluant les sujets présentant tout autre trouble que celui du calcul est donc à envisager pour obtenir des résultats plus précis concernant cette pathologie.

5. Perspectives

Notre étude a montré que dans notre population, les sujets avaient plus souvent un déficit d'un seul des sous-composants du calepin visuo-spatial : le *visual cache* (composante visuelle). Ce déficit est particulièrement marqué chez les sujets à partir de 10 ans.

Au cours de nos échanges avec des orthophonistes, il semblerait que cette composante visuelle ne soit pas particulièrement sollicitée au cours des rééducations pour troubles du calcul et du raisonnement logico-mathématiques.

Il semble donc intéressant de tester l'intérêt d'un travail spécifique du *visual cache* au cours des prises en charge des patients dyscalculiques.

Comme nous l'avons évoqué précédemment, nous ne connaissions pas les compétences des sujets au niveau de la boucle phonologique. La comparaison des performances entre calepin visuo-spatial et boucle phonologique chez une population d'enfants présentant une comorbidité entre troubles du calcul et du langage écrit pourrait objectiver les différents profils de ces enfants.

Des études comparatives des performances des sous-composants du calepin visuo-spatial entre enfants exclusivement dyslexiques et exclusivement dyscalculiques pourraient également être menées. Il serait également pertinent de mesurer les performances d'enfants présentant une dyslexie visuo-spatiale pour les deux sous-composants (boucle phonologique et calepin visuo-spatial).

Enfin, la reproduction de notre étude sur un échantillon plus large permettrait d'obtenir des résultats peut-être généralisables.

CONCLUSION

Plusieurs études ont montré la présence d'un déficit de la mémoire de travail - et plus spécifiquement du calepin visuo-spatial - chez les enfants dyscalculiques. Il n'existe pourtant pas, à notre connaissance, d'étude portant sur les composants du calepin visuo-spatial.

Ainsi, notre objectif était de mettre en évidence un déficit spécifique de l'un des sous-composants du calepin visuo-spatial chez les enfants dyscalculiques. Pour cela, nous avons fait passer un bilan testant l'*inner scribe* et le *visual cache* à une population d'enfants suivis en rééducation orthophonique pour des troubles du calcul et du raisonnement logico-mathématique.

A l'issue de ce bilan, **nos résultats montrent un déficit spécifique de la composante visuelle (*visual cache*) du calepin visuo-spatial chez la quasi-totalité des enfants évalués, particulièrement à partir de 10 ans. Au contraire, la composante spatiale est globalement dans la moyenne. Aucun déficit isolé de l'*inner scribe* n'a été observé.**

Le nombre d'études portant sur une approche neuropsychologique de la dyscalculie étant limité, il nous semble intéressant de poursuivre les recherches dans ce domaine afin d'avoir une meilleure connaissance de cette pathologie. Pour cela, l'évaluation d'une population plus importante est essentielle.

Par ailleurs, l'avancée des travaux en neuropsychologie fait évoluer la pratique orthophonique (évaluation et prise en charge). Elle justifie l'importance d'une évaluation plus affinée. Au vu des résultats obtenus dans cette étude, l'évaluation de la mémoire de travail visuo-spatiale peut également être pertinente. Au-delà du bilan, la prise en charge intégrant des exercices de mémoire de travail visuo-spatiale peut être une piste pour un meilleur accompagnement de ces patients.

BIBLIOGRAPHIE

ALLAIN, P., GODEFROY, O., JEANNEROD, M., LE GALL, D. (2008). Lobe frontal, fonctions exécutives et contrôle cognitif. *Revue Neurologique, 164, S119-S127*, 141-160

American Psychiatric Association, (1994). *DSM IV : manuel diagnostique et statistique des troubles mentaux.* Traduction française par J.D. Guelfi, Paris : Masson; 1996

ATKINSON, R. & SHIFFRIN, R. (1968). Human memory: a proposed system and its control processes. Dans K. Spence & J. Spence (Eds), *The psychology of learning and motivation: advances in research and theory*, vol. 2, p.89-195, New York : Academic Press

BADDELEY, A.D. (1986) *Working memory*. Oxford : Oxford University Press

BADDELEY, A.D. (2000). The episodic buffer: A new component of working memory? *Trends in Cognitive Science, 4, (11)*, 417-423

BADDELEY, A., ALLEN, R., & HITCH, G. (2011). Binding in visual working memory: The role of the episodic buffer. *Neuropsychologia, 49*, 1393-1400.

BADDELEY, A., & HITCH, G. (1974). Working memory. Dans G. Bower (Ed), *The psychology of learning and motivation. Advances in research and theory* (pp. 47-89). New York: Academic Press

BARROUILLET, P. & CAMOS, V. (2006). *La cognition mathématique chez l'enfant*. Marseille : Solal

BARROUILLET, P. (2006). L'émergence des outils arithmétiques. Dans P. Barrouillet, & V. Camos (Eds), *La cognition mathématique chez l'enfant* (pp. 87-114). Marseille: Solal.

BLANC, D. & CAMOS, V. (2006). Les prémices du nombre. Dans P. Barrouillet & V. Camos (Eds) *La cognition mathématique chez l'enfant* (pp.45-70). Marseille : Solal

BLANCHET, A., & IONESCU, S. (2007). *Psychologie du développement et de l'éducation.* Paris: PUF.

BLAYE, A., & LEMAIRE, P. (2007). *Psychologie du développement cognitif de l'enfant.* Bruxelles: De Boeck.

BRIN, F. et coll. (2004). *Dictionnaire d'orthophonie*. Ortho Edition.

CAMOS, V. (2006). Les premiers apprentissages. Dans P. Barrouillet, & V. Camos, *La cognition mathématique chez l'enfant* (pp. 71-85). Marseille: Solal.

CAMOS, V. (2011). La cognition numérique chez l'animal et le bébé. Dans M. Habib, M.-P. Noël, F. George Prêchai, V. Brun (Eds), *Calcul et dyscalculies - Des modèles à la rééducation.* Paris : Elsevier-Masson

COHEN, M.J. (2001). *CMS : Echelle de mémoire pour enfants.* Paris : ECPA

COLLETTE, F., PETERS, F., HOGGE, M., & MAJERUS, S. (2007). Mémoire de travail et vieillissement normal. Dans G. Aubin, F. Coyette, P. Pradah-Diehl, & C. Vallat-Azouri (Eds), *Neuropsychologie de la mémoire de travail*. Marseille: Solal.

COWAN, N., WOOD, N.L., KELLER, P.K., NUGENT, L.D., KELLER, C.V. (1998). Two separate verbal processing rates contributing to short-term memory span. *Journal of Experimental Psychology : General, 127*, 141-160

CRIVELLO, F., MAZOYER, B., MELLET, E., PESENTI, M., TZOURIO-MAZOYER N., ZAGO, L. (2001). Neural correlates of simple and complex mental calculation. *NeuroImage*, 13, 314-327

DEHAENE, S. (1997) *La bosse des maths.* Paris : Odile Jacob

DELLA SALA, S., GRAY, C., BADDELEY, A., & WILSON, L. (1999). Pattern span: A tool for unwelding visuo-spatial memory. *Neuropsychologia, 37*, 1189-1199.

FAYOL, M. (1990), *L'enfant et le nombre du comptage à la résolution de problèmes*, Delachaux et Niestlé

FISCHER, J.-P. (2009). La dyscalculie développementale : une conclusion, *A.N.A.E. n°102, juin 2009* pp. 179-186

GAONAC'H, D., & FRADET, A. (2003). La mémoire de travail : développement et implication dans les activités cognitives. Dans M. Kail, & M. Fayol (Eds), *Les sciences cognitives et l'école. La question des apprentissages, pp.91-150.*¨Paris : Presses Universitaires de France (Collection Sciences de la Pensée)

GAONAC'H, D., GAUX, C., & PROSS, N. (2008). Développement de la mémoire de travail : relations du centre exécutif avec la boucle phonologique et le calepin visuospatial chez les enfants de CE1 et de CM2. *Psychologie française , 53*, 307-326.

GAONAC'H, D., & LARIGAUDERIE, P. (2000). La mémoire de travail dans les activités mentales. Dans D. Gaonac'h, & Langauderie (Eds), *Mémoire de travail et fonctionnement cognitif.* Paris: Armand Colin.

GATHERCOLE, S., PICKERING, S., AMBRIDGE, B., & WEARING, H. (2004). The structure of working memory from 4 to 15 years of age. *Developmental Psychology , 40 (2)*, 177-190.

GEARY, D.C. (2005), les troubles d'apprentissage en arithmétique : rôle de la mémoire de travail et des connaissances Conceptuelles, Dans M.-P. Noël (Ed), *La dyscalculie*, Marseille : Solal pp.169-192

GNYS, J.A. & WILLIS, W.G. (1991). Validation of executive function tasks with young children. *Developmental Neuropsychology, 7, 487-501*

GREGOIRE, J. (2009). *L'examen clinique de l'intelligence de l'enfant*. Wavre (Belgique) : Mardaga.

HITCH, G.J. & MCLEAN, J.F. (1999). Working memory impairments in children with specific arithmetic learning difficulties. *Journal of Experimental Child Psychology*, 74, 240-260

HUGUES, C. (1998). Executive function in preschoolers: Links with theory of mind and verbal ability. *British Journal of Developmental Psychology*, 16, 233-253

INSERM. (2007). *Dyslexie, Dysorthographie, Dyscalculie : Bilan des données scientifiques.*

JARVIS, H., & GATHERCOLE, S. (2003). Verbal and non-verbal working memory and achievements on national curriculum tests at 11 and 14 years of age. *Educational and Child Psychology , 20*, 123-140.

KARMILOFF-SMITH, A. (1998). Development itself is the key to understanding developmental disorders. *Trends in Cognitive Sciences, 2 (10)*, 389-398.

LECOINTRE, A.S., LEPINE, R. & CAMOS, V. (2005). Développement et troubles des processus de quantification. Dans M-P. Noël (Ed.), La dyscalculie : Trouble du développement numérique de l'enfant (pp. 44-75). Marseille : Solal

LOGIE, R. (1986). Visuo-spatial processing in working memory. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 38A, 229-247

LOGIE, R. (1995). Visuo-spatial working memory. Hove, U.K. : Erlbaum

LOGIE, R. (1997). The inner eye and the inner scribe of visuo-spatial working memory: Evidence from developmental fractionation. *European Journal of Cognitive Psychology, 9*, 241-257.

NOËL, M. (2000). La dyscalculie développementale : un état de la question. Dans M. Pesenti, & X. Seron, *Neuropsychologie des troubles du calcul et du traitement des nombres* (pp. 59-83). Marseille: Solal. 2007

NOËL, M.-P. (1) (2005). Rôle de la mémoire de travail dans l'apprentissage du calcul. Dans A. Van Hout, C. Meljac, & J. Fischer (Eds), *Troubles du calcul et dyscalculies chez l'enfant* (pp. 186-194). Paris: Masson.

NOËL, M.-P. (2) (2005). Déficits cognitifs de base dans la dyscalculie développementale. *A.N.A.E. 85*, 299-304.

NOËL, M.-P. (2011). La dyscalculie développementale : déficits cognitifs sous-jacents et bases neurofonctionnelles. Dans M. Habib, M.-P. Noël, F. George Poracchia, V. Brun (Eds), *Calcul et dyscalculies - Des modèles à la rééducation.* Paris : Elsevier-Masson

OMS (2008) *CIM-10 : Classification Internationale des Maladies et des Problèmes de Santé Connexes*

PASSOLUNGHI, M. & SIEGEL, 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

PASSOLUNGHI, M. & SIEGEL, L.S. (2004). Working memory and access to numerical information in children with disability in mathematics, *Journal of Experimental Child Psychology, 88,* 348-367

PESENTI, M. (1995). La chaîne numérique verbale : acquisition et erreurs d'utilisation. *A.N.A.E. Hors Série*, 24-29.

PETRIDES, M. (1995). Impairments on nonspatial self-ordered and externally ordered working memory tasks after lesions of the mid-dorsal part of the lateral frontal cortex in the monkey. *Journal of Neurosciences*, 15, 359-375

PIAGET, J., SZEMINSKA, A. (1941). *La genèse du nombre chez l'enfant.* Neuchâtel : Delachaux & Niestlé

PIAGET, J. (1967). *La psychologie de l'intelligence.* Armand Colin.

PIAGET, J., INHELDER, B. (1980). La genèse des structures logiques élémentaires. *Actualités pédagogiques et psychologiques.* Neuchâtel-Paris : Delachaux & Niestlé

PICKERING, S., GATHERCOLE, S., HALL, M., & LLOYD, S. (2001). Development of memory for pattern and path : Further evidence for the fractionation of visuo-spatial memory. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology, 54A (2),* 397-420.

RASMUSSEN, C., & BISANZ, J. (2005). Representation and working memory in early arithmetic. *Journal Experimental Child Psychology , 91*, 137-157.

RONDAL, J.A., SERON, X., 2003, Troubles du langage : bases théoriques, diagnostic et rééducation. Bruxelles : P. Mardaga

ROTZER, S., LOENNEKER, T., KUCIAN, K., MARTIN, E., KLAVER, P., & VON ASTER, M. (2009). Dysfunctional neural network of spatial working memory contributes to developmental dyscalculia. *Neuropsychologia , 47*, 2859-2865.

ROUSSELLE, L. (2005), le point sur la question des compétences numériques précoces In MP Noël, *La dyscalculie*, Marseille: Solal pp15-40

ROUSSELLE, L. & SERON, X. (2005) Les compétences numériques préverbales : une revue critique in *Approche neuropsychologique des apprentissages chez l'enfant - A.N.A.E., N°85*

SAXE, G.B., GUBERMAN, S.R., & GEARHART, M. (1987). Social processes in early development. *Monographs of the Society for Research in Child, 52 (2, n°216)*

SERON, X. (2007). La mémoire de travail : du modèle initial au buffer épisodique. Dans G. Aubin, F. Coyette, P. Pradah-Diehl & C. Vallat-Azouvi (Eds), *Neuropsychologie de la mémoire de travail* (pp.13-33). Marseille : Solal

SHALLICE, T., & WARRINGTON, E. (1970). Independant functioning of verbal memory stores: A neuropsychological study. *Quaterly Journal of Experimental Psychology*, *22*, 261-273.

VAN HOUT, A. (2005). Bases neurologiques des troubles du calcul chez l'enfant. Dans A. Van Hout, C. Meljac, J.-P. Fischer (Eds), *Troubles du calcul et dyscalculies chez l'enfant*. Paris : Elsevier-Masson

WECHSLER, D. & NAGLIERI, J. (2009). *WNV : échelle non verbale d'intelligence de Wechsler*. Paris : ECPA.

ZIMMER, H.D. (2008). Visual and spatial working memory: From boxes to networks. *Neuroscience and biobehavioral reviews*, 23, 1373-1395

ZAGO, L., ANDERSSON, F., PETIT, L., TURBELIN M.-R., TZOURIO-MAZOYER, N., VIGNEAU, M. (2008). How verbal and spatial manipulation networks contribute to calculation: an fMRI study. *Neuropsychologia*, 46, 2403-2414

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : récapitulatif du développement de la mémoire de travail par auteurs 27

Tableau 2 : répartition de la population, effectif par tranche d'âge 43

Tableau 3 : répartition de la population, effectif par sexe 43

Tableau 4 : répartition de la population en fonction de l'âge et du sexe 43

Tableau 5 : répartition de la population, effectif par type de trouble orthophonique 44

Tableau 6 : répartition de la population totale à l'épreuve des cubes de Corsi 51

Tableau 7 : moyennes et scores (minimum et maximum) obtenues à l'épreuve des cubes de Corsi par tranche d'âge 52

Tableau 8 : moyennes en fonction du trouble orthophonique 54

Tableau 9 : répartition des résultats à l'épreuve "Localisation de points" (CMS) chez les enfants avec troubles du calcul uniquement 54

Tableau 10 : répartition des résultats à l'épreuve "Localisation de points" (CMS) chez les enfants avec troubles du calcul et du langage écrit 55

Tableau 11 : répartition des résultats obtenus aux cubes de Corsi en fonction du sexe (pourcentages) 56

Tableau 12 : répartition des résultats obtenus aux cubes de Corsi en fonction du sexe (effectifs) 56

Tableau 13 : répartition de la population totale à l'épreuve "Localisation de points" (CMS) .. 57

Tableau 14 : moyennes et scores (minimum et maximum) à l'épreuve "Localisation de points" (CMS) par tranche d'âge 58

Tableau 15 : répartition des résultats à l'épreuve "Localisation de points" (CMS) entre 8 et 9 ans 60

Tableau 16 : répartition des résultats à l'épreuve "Localisation de points" (CMS) entre 10 et 13 ans 61

Tableau 17 : moyennes en fonction du trouble orthophonique 62

Tableau 18 : répartition des résultats à l'épreuve "Localisation de points" (CMS) chez les enfants avec troubles du calcul uniquement 62

Tableau 19 : répartition des résultats à l'épreuve "Localisation de points" (CMS) chez les enfants avec troubles du calcul et du langage écrit 63

Tableau 20 : répartition des résultats à l'épreuve "Localisation de points" (CMS) en fonction du sexe 64

Tableau 21 : répartition des résultats à l'épreuve "Localisation de points" (CMS) en fonction du sexe (pourcentages) 64

Tableau 22 : répartition des résultats obtenus à l'épreuve "Localisation de points" (CMS) en fonction du sexe (effectifs) 64

Tableau 23 : comparaison des scores aux deux épreuves de bilan 65

Tableau 24 : Répartition des sujets "CMS > Corsi" en fonction du niveau obtenu au CMS ... 65

Tableau 25 : moyennes aux épreuves de bilan en fonction du trouble orthophonique 66

Tableau 26 : corrélation entre les deux épreuves de bilan chez les enfants suivis pour trouble du calcul uniquement (effectifs) 67

Tableau 27 : corrélation entre les deux épreuves de bilan chez les enfants suivis pour trouble du calcul et du langage écrit (effectifs) 68

Tableau 28 : répartition des garçons en fonction des deux épreuves de bilan 68

Tableau 29 : répartition des filles en fonction des deux épreuves de bilan 69

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Modèle de la mémoire de travail de Baddeley (2000) 22

Figure 2 : vues latérale du cerveau - zones communes activées en cas de trouble de la mémoire de travail et de dyscalculie 36

Figure 3 : graphique de répartition de la population par sexe et par âge 44

Figure 4 : photographies de la planche des cubes de Corsi 46

Figure 5 : exemple de stimulus de l'épreuve "Localisation de points" (CMS) 47

Figure 6 : schéma pour la passation de "Localisation de points" (CMS) 48

Figure 7 : Graphique de répartition de la population totale à l'épreuve des cubes de Corsi 51

Figure 8 : Graphique des moyennes à l'épreuve des Cubes de Corsi par tranche d'âge 52

Figure 9 : graphique de répartition et courbe de tendance de la population à l'épreuve des cubes de Corsi en fonction de l'âge 53

Figure 10 : graphique des résultats aux cubes de Corsi chez les enfants suivis pour troubles du calcul seulement 54

Figure 11 : graphique des résultats aux cubes de Corsi chez les enfants suivis pour troubles du calcul et du langage écrit 55

Figure 12 : graphique de répartition de la population par niveau à l'épreuve "Localisation de points" (CMS) 57

Figure 13 : graphique des moyennes à l'épreuve "Localisation de points" (CMS) par tranche d'âge 59

Figure 14 : graphique de répartition et courbe de tendance de la population à l'épreuve "Localisation de points" (CMS) en fonction de l'âge 59

Figure 15 : graphique de répartition des résultats à l'épreuve "Localisation de points" (CMS) entre 8 et 9 ans 60

Figure 16 : graphique de répartition des résultats obtenus à l'épreuve "Localisation de points" (CMS) entre 10 et 13 ans..... 61

Figure 17 : graphique des résultats à la "Localisation de points" (CMS) chez les enfants suivis pour troubles du calcul seulement..... 63

Figure 18 : graphique de répartition des résultats à la "Localisation de points" (CMS) chez les enfants suivis pour troubles du calcul et du langage écrit..... 63

Figure 19 : graphique de répartition de la population et courbe de tendance des résultats pour les deux épreuves du bilan..... 66

Figure 20 : graphique de comparaison des résultats aux épreuves de bilan en fonction du type de trouble orthophonique 67

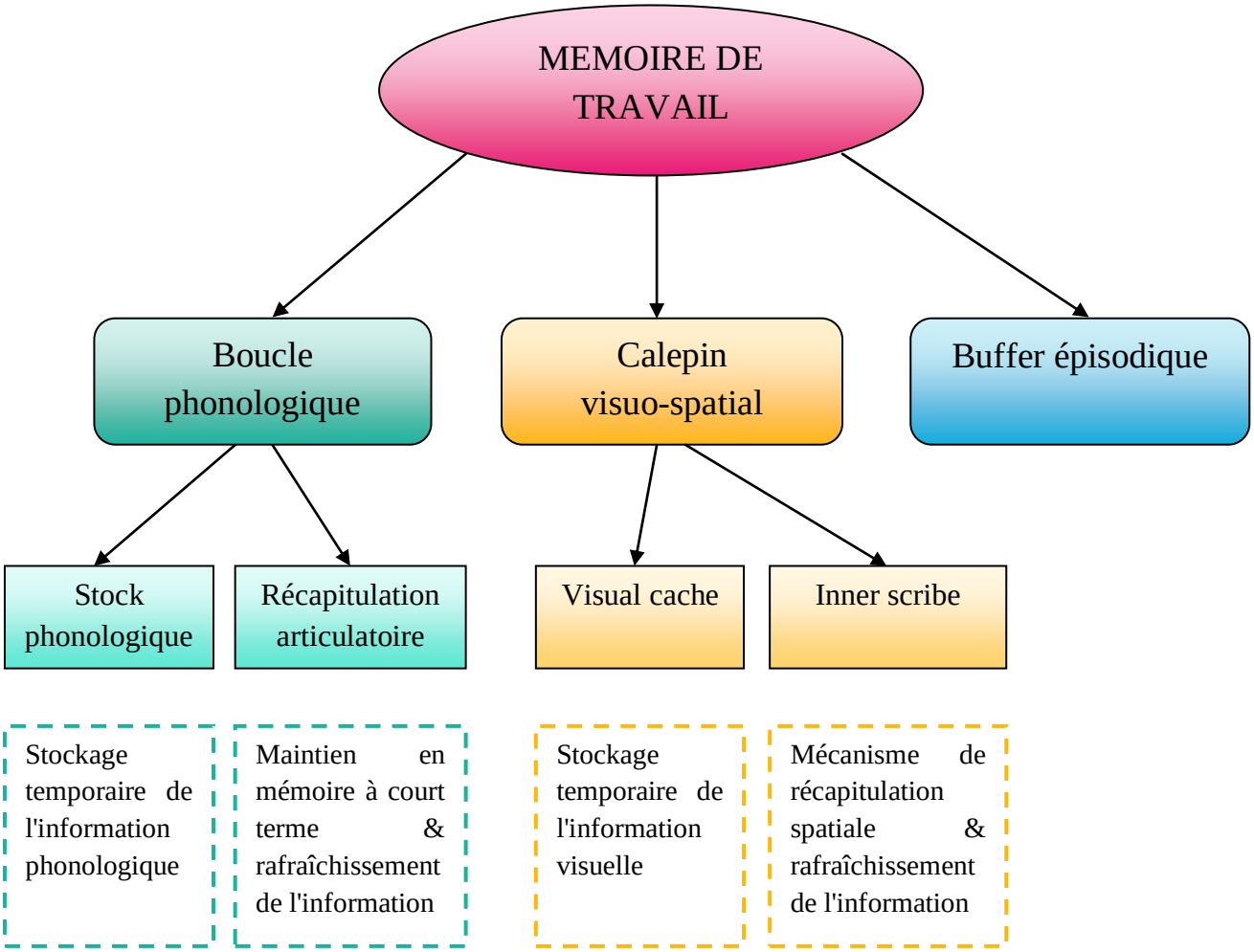
ANNEXES

- **Annexe n°1 : Les structures logiques**
- **Annexe n°2 : Schéma récapitulatif de la structure de la mémoire de travail**
- **Annexe n°3 : Courrier aux parents**
- **Annexe n°4 : Feuille de cotation des cubes de Corsi**
- **Annexe n°5 : Feuille de cotation de " Localisation de points" du CMS (version 9 ans et +)**
- **Annexe n°6 : Exercices d'entraînement de la mémoire de travail visuo-spatiale**

Annexe n°1 : Les structures logiques

Classification	Elle consiste à réunir des objets selon leurs ressemblances à un ou plusieurs points de vue (Brin et coll., 2004). La pensée doit extraire des propriétés des objets et les coordonner. Elle permet d'acquérir la notion de l'inclusion hiérarchique des classes.
Inclusion	Il s'agit ici d'établir une relation d'ordre entre deux éléments (ou classes). On dit que B est inclus dans A quand tous les éléments de B sont dans A.
Sériation	La sériation consiste à construire un ordre dans une série en classant les éléments par différences. L'enfant compare les éléments entre eux en les ordonnant selon une quantité qui varie.
Conservation	"La conservation constitue une condition nécessaire à toute activité rationnelle" (Piaget & Szeminska, 1941). C'est une opération mentale qui permet à un objet d'exister indépendamment de la perception que l'enfant a de cet objet. Elle peut s'appliquer à des quantités continues (sans unités distinctes, impossibles à dénombrer sans outil de mesure) ou discontinues (constituées d'unités distinctes). La conservation permet de construire des invariants, ainsi que la pensée réversible.

Annexe n°2 : Schéma récapitulatif de la structure de la mémoire de travail



Annexe n°3 : Courrier aux parents

Madame, Monsieur,

Je vous contacte par l'intermédiaire de Mme ……., l'orthophoniste de votre enfant. En effet, je souhaite le faire participer à une étude dans le cadre de mon mémoire de fin d'études sur le "déficit du calepin visuo-spatial de la mémoire de travail chez les enfants dyscalculiques entre 8 et 13 ans" dirigé par Sophie LE MAROIS.

La mémoire de travail sert à manipuler les informations que l'on a mémorisées. Le calepin visuo-spatial en est une sous-partie : il est spécialisé dans le stockage des informations visuo-spatiales (*ex : place d'un objet dans l'espace, se souvenir d'un dessin…*).

L'objectif de mon mémoire est d'attester de difficultés au niveau du calepin visuo-spatial chez des enfants dyscalculiques.

Avec votre consentement, je souhaiterais faire passer à votre enfant une batterie de tests comportant trois épreuves évaluant les aptitudes mathématiques ainsi que les capacités au niveau de la mémoire de travail, cela en environ 1h30.

Si vous le souhaitez, une synthèse de mes recherches et de mes résultats vous sera communiquée à la fin de cette étude.

En vous remerciant.

Julie RONCIER

Consentement parental :

Je, ……, parent/tuteur légal de …….,

Consens à ce que mon enfant participe à l'étude de Mlle RONCIER Julie, étudiante en 4e année à l'école d'Orthophonie de Bordeaux dans le cadre de ses recherches pour son mémoire de fin d'étude.

Consentement de l'enfant :

Je, ……, suis d'accord pour participer à l'étude de Mlle RONCIER Julie.

Annexe n°4 : Feuille de cotation des cubes de Corsi

Mémoire spatiale

Ages 8–21

Départ
Ordre direct, Ages 8-21 : Item de démonstration, Item d'exemple, puis Item 1.
Ordre inverse, Ages 8-21 : Item de démonstration, Item d'exemple, puis Item 1.

Arrêt
Après **2** notes **0** **aux 2 essais d'un même item.**

Cotation
Note **0** ou **1** point pour chaque essai.
MSPD & **MSPI** : note brute totale pour ordre direct et ordre inverse.
EMSPD & **EMSPI** : nombre de cubes touchés au dernier item coté 1 point, respectivement pour l'ordre direct et pour l'ordre inverse.

ORDRE DIRECT

Item		Essai	Réponse	Note d'essai	Note d'item
8–21	D.	10 – 1			
	Ex.	1 – 6			
		5 – 8			
	1.	3 – 10		1 0	0 1 2
		7 – 4		1 0	
	2.	1 – 9 – 3		1 0	0 1 2
		8 – 2 – 7		1 0	
	3.	4 – 9 – 1 – 6		1 0	0 1 2
		10 – 6 – 2 – 7		1 0	
	4.	6 – 5 – 1 – 4 – 8		1 0	0 1 2
		5 – 7 – 9 – 8 – 2		1 0	
	5.	4 – 1 – 9 – 3 – 8 – 10		1 0	0 1 2
		9 – 2 – 6 – 7 – 3 – 5		1 0	
	6.	10 – 1 – 6 – 4 – 8 – 5 – 7		1 0	0 1 2
		2 – 6 – 3 – 8 – 2 – 10 – 1		1 0	
	7.	7 – 3 – 10 – 5 – 7 – 8 – 4 – 9		1 0	0 1 2
		6 – 9 – 3 – 2 – 1 – 7 – 10 – 5		1 0	
	8.	5 – 8 – 4 – 10 – 7 – 3 – 1 – 9 – 6		1 0	0 1 2
		8 – 2 – 6 – 1 – 10 – 3 – 7 – 4 – 9		1 0	

EMSPD (Maximum = 9) ☐ MSPD Note brute totale (Maximum = 16) ☐

Annexe n°5 : Feuille de cotation de la "Localisation de points" du CMS

CMS Echelle de Mémoire pour Enfants

Cahier de passation
9 - 16 ans

Nom : _____ Prénom : _____

I. Localisation de points 1

Pour chaque essai ainsi que pour le Rappel immédiat, faire une croix dans la grille pour indiquer la position (correcte ou incorrecte) de chaque jeton (les grilles sont dessinées du point de vue de l'examinateur).

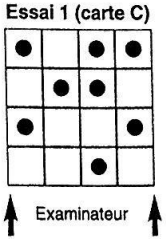
Comptabiliser le nombre de jetons bien placés pour les Essais 1 à 3 et l'item de Rappel immédiat. Compter 1 point par réponse correcte. Attention, l'Essai 4 n'est pas coté. (Le placement correct des jetons est indiqué par les points noirs.)

Note brute Apprentissage : Additionner les notes pour les Essais 1, 2 et 3.

Note brute Rappel immédiat : Note obtenue au Rappel immédiat.

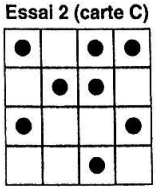
Note brute Totale Localisation de points I : Additionner la Note brute Apprentissage et la Note brute Rappel immédiat.

Essai 1 (carte C)



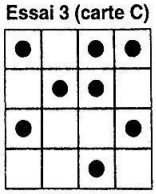
Essai 1
Note
[ ]
Max = 8

Essai 2 (carte C)



Essai 2
Note
[ ]
Max = 8

Essai 3 (carte C)

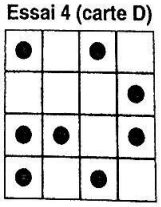


Essai 3
Note
[ ]
Max = 8

[ ]
Max = 24

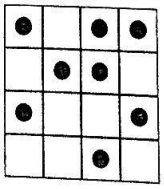
Localisation de points 1
Note brute Apprentissage

Essai 4 (carte D)



Ne pas coter

Rappel immédiat (carte C)



Note
Rappel
Immédiat
[ ]
Max = 8

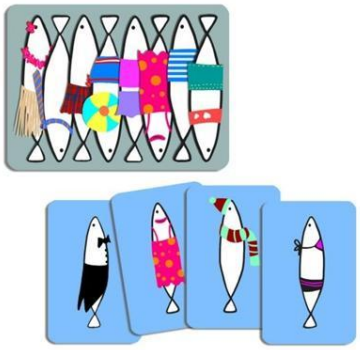
Localisation de points 1
Note brute Rappel immédiat

[ ]
Max = 32

Localisation de points 1
Note brute Totale

Annexe n°6 : Exercices d'entraînement de la mémoire de travail visuo-spatiale

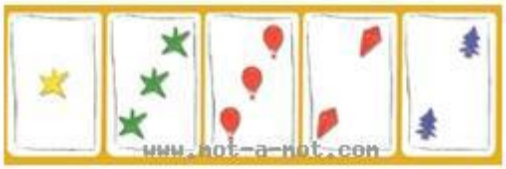
- **Les Sardines (Djeco)**



Une "boîte de sardines" est placée devant l'enfant. Il doit la mémoriser. Puis la boîte est retournée et l'enfant doit choisir, parmi les cartes "sardines", lesquelles étaient dans la boîte.

Afin de travailler l'*inner scribe*, on ajoutera une contrainte supplémentaire : replacer les sardines dans le même ordre que dans la boîte.

- **Speed (Adlung), modalité n-1**



Le jeu comporte 60 cartes ayant des caractéristiques particulières :

- Nombre d'éléments (1 à 5)
- Couleur (noir, violet, vert, bleu, rouge, jaune)
- Motif (étoile, diamant, maison, drapeau, sapin, montgolfière)

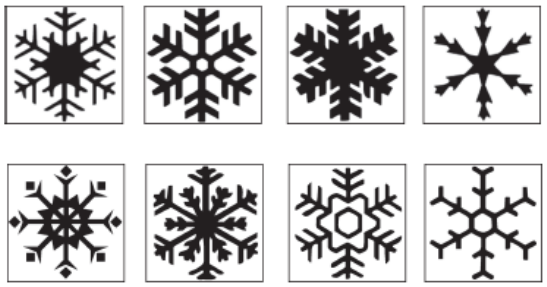
L'enfant doit rappeler un des éléments de la carte précédente, choisi en amont (nombre d'éléments, couleur de la carte ou motif). Cette activité sollicite le *visual cache* : l'enfant doit à la fois rappeler une information visuelle de la carte précédente et mémoriser une nouvelle information.

- **Memory**

L'enfant doit retrouver les deux cartes identiques parmi un ensemble de cartes à des places fixes, faces cachées. Le jeu du memory fait intervenir les deux sous-composants du calepin visuo-spatial.

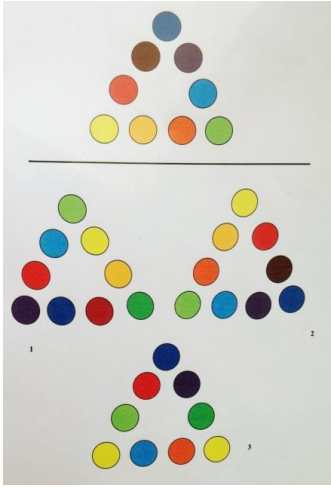
- **Défilé de cartes - Rééducation de la mémoire de travail (Ortho Editions)**

On présente les cartes une après l'autre. L'enfant doit dire "stop" dès qu'il voit deux cartes identiques à la suite l'une de l'autre. Ce jeu fait travailler le *visual cache*.

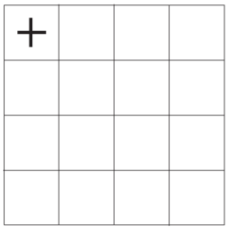


- **Formes et couleurs - Rééduquer la mémoire de travail, H. Brissart, E. Morèle & M. Leroy (Solal)**

L'enfant doit retrouver quel dessin est identique au modèle en effectuant une rotation mentale..
Cet exercice permet d'entraîner la totalité du calepin visuo-spatial.



- **<u>Déplacement sur un quadrillage</u>**



L'enfant doit déplacer mentalement la croix en fonction des consignes de l'orthophoniste (*ex : deux cases vers le bas, une case vers la gauche…*). A la fin, il donnera le nouvel emplacement de la croix. On augmentera le nombre de déplacements au fur et à mesure.

Cet exercice permet de travailler le calepin visuo-spatial dans son ensemble.

RESUME

Plusieurs auteurs ont mis en évidence un déficit du calepin visuo-spatial de la mémoire de travail chez les enfants dyscalculiques. Ce calepin visuo-spatial est lui-même divisé en deux sous-composants : le *visual cache* (composant visuel) et l'*inner scribe* (composant spatial). Nous avons alors émis l'hypothèse que les performances de ces enfants n'étaient pas équivalentes dans les deux sous-composants. Pour cela, nous avons évalué 29 enfants, âgés entre 8 et 13 ans. Nous leur avons fait passer un bilan comprenant deux épreuves : chacune évaluant l'un des sous-composants du calepin visuo-spatial. Les résultats obtenus au terme de cette étude mettent en avant un déficit du *visual cache* chez la majorité de la population testée, alors que l'*inner scribe* fonctionne.

Cette étude nous permet donc de confirmer notre hypothèse et de proposer l'intégration de l'évaluation de ces sous-composants dans les bilans pour "trouble du calcul et du raisonnement mathématique" mais également le travail de ces compétences lors des prises en charges d'enfants dyscalculiques.

MOTS CLES : Dyscalculie, Calepin visuo-spatial, Visual cache, Inner scribe, évaluation

ABSTRACT

Several authors highlighted a deficit of the visuospatial sketchpad of working memory at children with dyscalculia. This visuospatial sketchpad is split in two sub-components: the visual cache (visual component) and the inner scribe (spatial component). Then, we ventured the hypothesis that the performances of these children weren't equivalent in both sub-components. For that purpose, we assessed 29 children, between 8 to 13 years old. We made them sit an assessment including two tests : each estimating one of the sub-components of the visuo-spatial sketchpad. The results of this study bring the light on a deficit of the visual cache at the majority of the tested population, while the inner scribe works.

Thus, this study allows us to confirm our hypothesis and to propose the integration of the assessment of these sub-components in assessment for "calculation and mathematical reasoning disorder", but also propose the training of these skills during this children's care.

KEYWORDS: Dyscalculia, Visuospatial sketchpad, Visual cache, Inner scribe, Assessment

100 pages
64 références bibliographiques