



HAL
open science

Impact d'une remédiation cognitive sur les troubles du raisonnement logico-mathématique

Maïlis Labie

► **To cite this version:**

Maïlis Labie. Impact d'une remédiation cognitive sur les troubles du raisonnement logico-mathématique. Sciences cognitives. 2012. dumas-00737655

HAL Id: dumas-00737655

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-00737655>

Submitted on 2 Oct 2012

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.

Mailis LABIE

Née le 19/11/1988

**Impact d'une remédiation cognitive
sur les troubles du raisonnement
logico-mathématique.**

Mémoire présenté en vue de l'obtention du Certificat de Capacité d'Orthophoniste

Année Universitaire 2011 – 2012

Université Victor Segalen Département d'Orthophonie



UNIVERSITÉ
BORDEAUX
S E G A L E N

Mémoire d'Orthophonie

TITRE : Impact d'une remédiation cognitive sur les troubles du raisonnement logico-mathématique

DATE DE PASSATION : 25 Septembre 2012

NOM DE L'ETUDIANT : Mailis LABIE

MEMBRES DU JURY :
- Directrice Adjointe : Anne LAMOTHE-CORNELOUP
- Directeur de Mémoire : Valérie BIRABEN-VAUDRON
- Membres du Jury : - Anne-Gaëlle BARDET-TANGUY
- Emmanuelle FAURE-VERMANDE
- Cécile CHAISAT

APPRECIATION : Très Honorable – Honorable – Satisfaisant – Passable

COMMENTAIRES : Sujet novateur qui s'appuie sur une analyse des liens entre les théories constructiviste et cognitive de façon claire et bien structurée. Les erreurs dans la méthodologie de la recherche expérimentale exposée à l'écrit ont été rectifiées et ^{bien} commentées lors de la soutenance orale, ce qui montre le recul et la maturité acquise dans l'intervalle. Cette expérience ouvre des perspectives très intéressantes pour la prise en charge des enfants dyscalculiques.

Signature de la Directrice Adjointe

Signatures des membres du jury

A. Lamotte-Corneloup

Valérie Biraben-Vaudron
Anne-Gaëlle Bardet-Tanguy
Emmanuelle Faure-Vermande
Cécile Chaisat

REMERCIEMENTS

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

Mme Biraben Vaudron, mon maître de mémoire pour m'avoir suivie et guidée dans ce travail tout au long de l'année,

Mme Lamothe-Corneloup, directrice de l'école d'orthophonie.

Mme Bardet-Tanguy ma maître de stage pour l'intérêt qu'elle a porté à mon travail et pour ses précieux conseils.

Mme Choizat et Mme Amirault, neuropsychologues pour leurs conseils avisés.

Mme Azzopardi, Mme Latry et Mme Neff, orthophonistes, pour m'avoir permis de rencontrer leurs jeunes patients.

G, M, Z, Al, As, C et M, les enfants, pour leur aimable collaboration ainsi que leurs parents.

Je voudrais aussi 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

1. INTRODUCTION.....	8
1.1. Avant-propos.....	9
1.2. Dyscalculie et troubles du raisonnement logico-mathématique : définitions et connaissances actuelles.....	11
1.2.1. Définitions préalables	11
1.2.1.1. Troubles	12
1.2.1.2. Mathématiques	12
1.2.1.3. Calcul et opération	13
1.2.1.4. Logique.....	15
1.2.1.5. Raisonnement	16
1.2.2. Comment peut-on définir la dyscalculie et les troubles du raisonnement logico-mathématique ? ...	17
1.2.2.1. Diverses définitions	17
1.2.2.1.1. Dyscalculies définies relativement à la problématique du nombre et des mathématiques.	17
1.2.2.1.2. Dyscalculies définies comme liées ou conséquentes à d'autres symptômes.	18
1.2.2.2. Définition adoptée dans le cadre de ce mémoire.....	20
1.2.2.3. Comment diagnostiquer une dyscalculie et/ ou des troubles du raisonnement logico-mathématique ?.....	21
1.2.2.3.1. Critères de diagnostic	21
1.2.2.3.2. Outils de diagnostic	21
1.2.2.3.2.1. Evaluation de la performance en calcul	22
1.2.2.3.2.2. Evaluation de la compétence en calcul	22
1.3. Liens entre compétences logico-mathématiques et fonctionnement exécutif.....	24
1.3.1. Introduction au fonctionnement exécutif : brève définition et développement chez l'enfant.	24
1.3.1.1. Définition	24
1.3.1.2. Description	25
1.3.1.3. Développement exécutif	27
1.3.1.3.1. Parallèle entre développement cognitiviste et constructiviste.....	28
1.3.1.3.2. Développement des fonctions exécutives.....	29
1.3.1.3.2.1. Chez le nourrisson.....	29
1.3.1.3.2.2. Chez l'enfant d'âge préscolaire.....	30
1.3.1.3.2.3. Chez l'enfant d'âge scolaire	31
1.3.2. Lien avec les compétences logico-mathématiques	32
1.4. Etats des lieux concernant les modes de prise en charge actuels des « dyscalculies ».....	35

1.4.1. Méthodes actuelles.....	35
1.4.1.1. Approches constructivistes.....	35
1.4.1.2. Approches psychopédagogiques.....	36
1.4.1.3. Approches neuropsychologiques.....	37
1.4.2. Remédiation cognitive des fonctions exécutives dans le cadre de troubles du calcul et du raisonnement logico-mathématique.....	38
1.4.2.1. Définition de la remédiation cognitive.....	38
1.4.2.2. Intérêt d'une remédiation cognitive des fonctions exécutives dans le cadre de troubles du calcul et du raisonnement logico-mathématique.....	39
2. EXPERIMENTATION	40
2.1. Matériel et méthode	42
2.1.1. Choix et recrutement de la population.....	42
2.1.1.1. Critères d'inclusion et d'exclusion.....	42
2.1.1.1.1. Critères d'inclusion.....	42
2.1.1.1.2. Critères d'exclusion.....	42
2.1.1.2. Population expérimentale et population témoin.....	43
2.1.2. Conditions de passation.....	43
2.2. Protocole expérimental.....	45
2.2.1. Matériels utilisés pour les évaluations.....	45
2.2.1.1. Evaluation du Raisonnement logico-mathématique : l'UDN II.....	45
2.2.1.2. Evaluation de l'Utilisation et de la Construction du Nombre : le WRAT.....	48
2.2.1.3. Evaluation du fonctionnement exécutif.....	49
2.2.1.3.1. Evaluation de l'inhibition.....	49
2.2.1.3.2. Evaluation de la flexibilité.....	49
2.2.1.3.3. Evaluation de la planification.....	50
2.2.1.4. Evaluation des capacités mnésiques.....	51
2.2.1.5. Evaluation des capacités visuo-spatiales.....	52
2.2.2. Protocole de prise en charge des fonctions exécutives.....	53
2.2.2.1. Objectifs du protocole.....	53
2.2.2.2. Présentation des exercices proposés et supports utilisés.....	53
2.2.2.3. Cadre de la prise en charge.....	54
2.3. Présentation des résultats.....	55
2.3.1. Lecture des résultats.....	55
2.3.2. Présentation à T0 des profils de la population.....	56
2.3.2.1. Comparaison à T0 des profils numériques.....	56

2.3.2.1.1.	Comparaison à T0 des compétences aux épreuves de conservation	56
2.3.2.1.2.	Comparaison à T0 des compétences aux épreuves de logique élémentaire	57
2.3.2.1.3.	Comparaison à T0 des compétences aux épreuves d'utilisation du nombre	58
2.3.2.1.4.	Comparaison T0 des compétences aux épreuves d'origine spatiale	59
2.3.2.1.5.	Comparaison à T0 des compétences aux épreuves de connaissances	60
2.3.2.1.6.	Comparaison à T0 des performances au WRAT-R	61
2.3.2.2.	Comparaison à T0 des profils exécutifs	63
2.3.2.3.	Comparaison à T0 des compétences mnésiques	64
2.3.2.4.	Comparaison à T0 des profils visuo-spatiaux.....	65
2.3.3.	Comparaison à T1 des profils des groupes.....	66
2.3.3.1.	Comparaison à T1 des profils numériques	66
2.3.3.1.1.	Comparaison à T1 des compétences aux épreuves de conservation	66
2.3.3.1.2.	Comparaison à T1 des compétences aux épreuves de logique élémentaire	67
2.3.3.1.3.	Comparaison à T1 des compétences aux épreuves d'utilisation du nombre	68
2.3.3.1.4.	Comparaison à T1 des compétences aux épreuves d'origine spatiale	69
2.3.3.1.5.	Comparaison à T1 des compétences aux épreuves de connaissances	69
2.3.3.1.6.	Comparaison à T1 des performances au WRAT-R	71
2.3.3.2.	Comparaison à T1 des profils exécutifs	73
2.3.3.3.	Comparaison à T1 des compétences mnésiques	74
2.3.3.4.	Comparaison à T1 des profils visuo-spatiaux.....	75
2.3.4.	Effets de la remédiation cognitive des fonctions exécutives.....	76
2.3.4.1.	Evolution des scores aux évaluations des compétences et performances numériques entre T0 et T1.....	76
2.3.4.2.	Evolution des scores aux évaluations du fonctionnement exécutif entre T0 et T1.....	77
2.3.4.3.	Evolution des scores mnésiques entre T0 et T1.....	78
2.3.4.4.	Evolution des scores visuo- spatiaux entre T0 et T1	78
2.3.5.	Evaluation qualitative du protocole de remédiation.....	79
3.	ANALYSE DES RESULTATS	80
3.1.	Rappel des objectifs.....	81
3.2.	Rappel des résultats	81
3.3.	Discussion des résultats.....	82
3.4.	Biais et limites méthodologiques de l'étude	86
3.5.	Perspectives.....	87

4. CONCLUSION.....	88
BIBLIOGRAPHIE	90
LISTE DES TABLEAUX.....	99
ANNEXES.....	103

1.Introduction

1.1. Avant-propos

Les « dyscalculies » ou troubles du calcul et du raisonnement logico-mathématique font l'objet de recherche depuis le début du XXe siècle (Van Hout, 2005). C'est au cours de la dernière décennie que de nombreuses avancées portant sur l'étude et le diagnostic de ces troubles ont été réalisées. Si des progrès importants ont été faits concernant la dimension théorique et l'élaboration d'épreuves ils ont été moindres concernant les modes d'interventions et l'évaluation de leurs effets.

A l'école, c'est en mathématiques que ces troubles ont les conséquences les plus apparentes. De par la place particulière qu'elles occupent, tant au niveau des apprentissages qu'au niveau social, les mathématiques sont souvent au centre des préoccupations scolaires et familiales. Il s'agit de la seule discipline qui suscite, chez les enfants comme chez les adolescents, des sentiments allant de la passion au rejet, voire à la phobie. (Fayol, 2012)

De récentes études ont permis de mettre en évidence des corrélations entre des déficits de certaines fonctions exécutives et des difficultés en mathématiques (Bull et Scerif, 1999 ; Clark, Pritchard et Woodward, 2010). Nous nous sommes alors posé la question de l'application de ces recherches au domaine de l'orthophonie et plus particulièrement à la remédiation des « dyscalculies ». Cela nous a amené à réfléchir sur l'influence d'une remédiation de ces fonctions exécutives sur les compétences « mathématiques ».

Nous avons donc proposé des exercices spécifiques de ces fonctions associés à une prise en charge orthophonique des troubles du calcul et du raisonnement logico-mathématique, à une population d'enfants de 7 à 11 ans ceci pour en évaluer les effets sur les compétences « mathématiques ».

Notre objectif est donc d'évaluer les effets d'un entraînement des principales fonctions exécutives déficitaires chez des enfants pris en charge pour « dyscalculie » en les comparant à ceux observé lors des prises en charge d'autres enfants n'ayant pas suivi cet entraînement.

Dans ce but, nous allons en premier lieu introduire notre étude par la définition du concept de « dyscalculie » puis par celle des fonctions exécutives, puis nous évoquerons les méthodes actuelles de remédiation pour enfin exposer notre problématique.

En second lieu, nous aborderons la partie méthodologique et expérimentale dans laquelle nous exposerons les caractéristiques de nos deux populations : expérimentale et contrôle. Nous présenterons les protocoles d'évaluation et de prise en charge mis en œuvre ainsi que les résultats obtenus.

En troisième lieu, nous procéderons à l'analyse et au traitement des résultats en comparant l'évolution des deux populations. Enfin, la dernière partie sera consacrée à une discussion qui permettra de reprendre la progression de l'étude et d'interpréter les conclusions obtenues.

1.2. Dyscalculie et troubles du raisonnement logico-mathématique : définitions et connaissances actuelles

Comme la « *dyslexie* » et les troubles spécifiques de la lecture ou la « *dysorthographe* » et les troubles spécifiques de l'orthographe, les troubles touchant aux nombres ont été rassemblés sous une dénomination commune : la « *dyscalculie* ». Si la dyslexie et la dysorthographe ont été largement explorées tant dans l'étiologie, la classification que les modes d'intervention, la « *dyscalculie* » n'a été abordé que tardivement et reste encore le sujet de nombreuses recherches et controverses. (Van Hout et Meljac, 2005).

Kosc a été le premier à introduire le terme de « *dyscalculie développementale* » (Kosc, 1974). Si celui-ci est largement utilisé, il n'est pas accepté unanimement du fait, pour certains, de son aspect restrictif. D'autres auteurs parlent de « *difficultés en arithmétiques* » (Lewis, 1994) ou encore des « *troubles des apprentissages en mathématiques* » (Geary, 2005). De même dans la communauté des orthophonistes, la mention « *dyscalculie* » figurant dans la Nomenclature Générale des Actes Professionnels (NGAP) a été élargie en 1992 à « *dyscalculie et troubles du raisonnement logico-mathématiques* », cet énoncé répondant mieux aux difficultés rencontrées par les sujets adressés pour des troubles en mathématiques. (Stroh et Morel, 2004).

La notion de « *dyscalculie* » est donc difficile à définir car les cadres de référence sont multiples et les modèles théoriques variés. Il y a donc d'importantes divergences tant dans la conception des troubles que dans la prise en charge résultante. Dans ce chapitre nous allons observer ces différentes définitions afin de mieux les comprendre et de pouvoir former notre propre conception de ces troubles.

1.2.1. Définitions préalables

Nous avons choisi de définir en préalable les notions de « *troubles* », de « *calcul* », de « *raisonnement* », de « *logique* » et de « *mathématiques* » qui seront omniprésentes dans notre étude et nous semblent essentielles à la compréhension du domaine exploré.

1.2.1.1. Troubles

D'après le Dictionnaire d'Orthophonie (Brin-Henry, Courrier, Lederlé et Masy, 2004), la notion de **trouble** est définie comme « le dysfonctionnement temporaire ou durable d'un organe, d'une fonction ou d'un système ».

On distingue selon les définitions proposées par les sciences cognitives, d'une part les *troubles fonctionnels* (fonctionnement inapproprié d'un organe, d'une fonction ou d'un système pouvant disparaître avec une rééducation efficace) et les *troubles structurels* (résistants à la prise en charge orthophonique et nécessitant la mise en place de stratégies compensatoires), d'autre part les *troubles développementaux* (déficit significatif durable entraînant des particularités adaptatives) et les *troubles acquis* (perte d'une fonction subséquente à une maladie ou un accident) et enfin les *troubles spécifiques* (déficit significatif par rapport à une norme d'une seule fonction cognitive) et les *troubles globaux* (déficit de plusieurs fonctions cognitives).

Des troubles tels que la dyslexie ou la dysorthographe sont des troubles *spécifiques du développement* des aptitudes de lecture et d'orthographe.

La notion de « *troubles spécifiques des apprentissages* » issue de la classification du DSM IV (APA, 2003) et de « *troubles spécifiques des acquisitions scolaires* » selon la CIM 10 (OMS, 1993) comprend les troubles spécifiques du langage oral ou écrit (dysphasie, dyslexie), les troubles des fonctions logico-mathématiques, les troubles de l'acquisition de la coordination (dyspraxie) et les troubles attentionnels avec ou sans hyperactivité qui entraînent un trouble de l'acquisition de la lecture, du calcul et de l'expression écrite ou un trouble des apprentissages mixte touchant le calcul et la lecture ou l'orthographe.

1.2.1.2. Mathématiques

Les **mathématiques**, du grec *μάθημα* (*máthēma*) signifiant « science, connaissance », sont l'ensemble des sciences qui ont pour objets la quantité et l'ordre, l'étude des êtres abstraits (nombre, figure, fonction...) ainsi que les relations qui s'établissent entre eux par le moyen du raisonnement hypothético-déductif. (Brin et coll., 2004)

Les mathématiques se distinguent des autres sciences par un rapport particulier au réel. Elles sont de nature purement intellectuelle, basées sur des axiomes non soumis à l'expérience ou

sur des postulats provisoirement admis mais sur une structure rationnelle issue d'une démonstration ou raisonnement déductif. La spécificité des mathématiques à fonctionner à partir d'abstraction la rapproche de la philosophie que l'on peut qualifier de « science de la pensée ».

Le terme « mathématiques » désigne également une discipline scolaire dont l'apprentissage est souvent difficile pour les enfants car il nécessite l'application d'une pensée logique et l'utilisation d'un langage spécifique.

Les travaux piagétiens ont permis de démontrer que les compétences de raisonnement logico-mathématiques se construisent progressivement grâce à la mise en place de structures logiques et infra-logiques au cours du développement de l'enfant. (Brin et coll., 2004)

1.2.1.3. Calcul et opération

La distinction entre « **calcul** » et « **opération** » n'est pas toujours évidente. Le **calcul** est la « phase mécanique » d'une opération. Alors que l'**opération** est une phase décisionnelle représentant le résultat selon un rapport entre deux membres, le **calcul** consiste en la représentation d'un troisième membre issu de l'application des règles opératoires. (Brin et coll., 2004)

Il existe quatre types d'opérations, l'addition, la soustraction, la multiplication et la division auxquelles correspondent quatre types de calculs : la somme, la différence, le produit et le quotient.

La compétence d'application des règles opératoires ou algorithmes (schémas de calcul) est issue des apprentissages contrairement à l'accès au sens des opérations qui est le résultat de la bonne mise en place des structures logiques (classifications, inclusion et construction du nombre) au cours du développement normal de l'enfant.

Ainsi un enfant qualifié de « dyscalculique » pourra être un bon calculateur tout en étant incapable de choisir la bonne opération.

Piaget distingue les opérations logico-mathématiques, et les opérations infra-logiques. Au sens piagétien, une **opération** est un type d'action particulier caractérisée par la possibilité

d'être **intériorisée**, par sa **réversibilité** et par son **articulation possible avec d'autres opérations** pour former un ensemble.

Les **opérations logico-mathématiques** permettent de classer et d'organiser les objets selon leurs ressemblances et leurs différences. Il s'agit des notions de classification et de sériation acquises vers 7/8ans. L'activité de **classification** consiste à réunir des objets selon leurs ressemblances en fonction d'un critère donné. Il s'agit d'une opération mentale qui implique l'extraction et la coordination de critères communs à des objets distincts. L'activité d'**inclusion**, acquise vers 11ans, dérive des classifications hiérarchiques, il s'agit de l'établissement d'une relation d'ordre entre deux ensembles ou classes : on dit que B est inclus dans l'ensemble A quand tous les éléments de B sont éléments de A. L'activité de **sériation** consiste à ranger des objets ou des ensembles. Elle nécessite des capacités de coordination de différents points de vue et de **réversibilité** (capacité de la pensée à se décentrer pour envisager mentalement un retour en arrière). Pour Piaget c'est la **coordination de la classification et de la sériation** qui rend possible l'élaboration de la notion de nombre par **intégration des systèmes cardinal** (reposant sur la notion d'inclusion des classes) et **ordinal** (reposant sur la notion de sériation). On peut dire que le nombre se développe comme une classe sériée. (Piaget et Szeminska, 1941).

La notion de **coordination** est très présente dans le domaine logico-mathématique, elle renvoie au terme « et » qui permet de relier deux points de vue différents, donc d'avoir une **pensée mobile**. (Brin et coll., 2004)

Les **opérations infra-logiques** permettent de construire l'objet par prise en compte des caractéristiques physiques de ceux-ci. La notion de **conservation** consiste en la construction d'**invariants** (propriétés ou relations des objets constantes malgré les transformations subies) (Troadek et Martinot, 2003). Elle peut s'appliquer à des objets « discrets » (constitués d'unités distinctes) et concerne alors la **permanence de l'objet individuel** (prise de conscience de l'existence de l'objet malgré son absence du champ perceptif, acquise vers 2 ans) et la **conservation du « nombre d'objets »** (acquise vers 6/7 ans) en lien avec la **correspondance terme à terme** (établissement de l'équivalence entre deux rangées d'objets présentés). Elle peut aussi s'appliquer à des objets « continus » (sans unités distinctes, *ex : les liquides*) et concerne la **conservation de la longueur** (acquisition vers 7 ans), **de la substance**

(acquisition vers 7/8 ans), **du poids** (acquisition vers 9/10 ans) et **du volume** (acquisition vers 11/12 ans) (Piaget, 1957).

La notion de conservation est nécessaire à l'acquisition du nombre. (Troader et Martinot, 2003).

1.2.1.4. Logique

Du grec *λόγος* ou *logos* qui signifie « raison » : la **logique** est la « science du raisonnement ». (Brin et coll., 2004).

D'abord liée au langage par le philosophe grec Aristote et ses syllogismes au IV^e siècle, elle devient une branche des mathématiques à part entière grâce aux travaux de Boole (Boole, 1847) sur la logique binaire selon laquelle toute proposition est « vraie » ou « fausse » excluant la possibilité du « peut-être ».

Dans l'approche piagétienne, le développement de la pensée logique, qui contribue à l'acquisition de la notion de nombre, se construit au cours de quatre stades communs à chaque enfant, successifs (constance de l'ordre) et intégratifs (intégration de chaque stade précédent par le nouveau) et qui tendent vers une *équibration* entre *accommodation* (effets du milieu sur l'organisme) et *assimilation* (effets de l'organisme sur le milieu). Ces stades sont caractérisés par la mise en place des opérations logico-mathématiques et infra-logiques.

Le premier est le **stade sensori-moteur** (de la naissance à 18 mois), caractérisé par une intelligence pratique. L'enfant va répondre au départ à la perception par l'action, puis grâce à l'acquisition de *la permanence de l'objet* (conscience de l'existence de l'objet malgré son absence) et de *la notion d'espace*, il va peu à peu se détacher de ses conduites essentiellement réflexes. Ensuite au **stade préopérateur** (18 mois-7/8 ans), l'apparition de la *fonction symbolique* et de la *représentation mentale*, grâce aux conduites d'imitation différée, de jeu et de langage, vont permettre à l'enfant de poursuivre son évolution vers les capacités opératoires. Puis, le **stade opératoire concret** (7/8 ans-10/11 ans) marque un tournant dans le développement de l'intelligence avec l'apparition de la *réversibilité* (capacité d'effectuer une même action dans les deux sens de son parcours) permettant la mise en place des *opérations concrètes* (conservations, classification, sériation...) reposant encore sur le réel. Le **stade final opératoire formel** (11/12 ans- 14/15 ans) marque la libération de la manipulation et du

concret quant au raisonnement. L'enfant acquiert *l'intelligence formelle ou hypothético-déductive* soit une *pensée logique opératoire formelle* qui correspond à la capacité de manipuler des données spatiales ou temporelles de façon abstraite, c'est-à-dire sans manipulation réelle. C'est pour Piaget le moment où l'intelligence acquiert sa pleine maturité. (Piaget, 1957 in Troadec et Martinot, 2003)

La logique est donc inhérente à la pensée puisqu'elle participe à sa construction et son action va bien au-delà des mathématiques.

1.2.1.5. Raisonnement

Le **raisonnement** peut être défini comme étant l'exercice de la raison (« faculté de penser ») ou comme une suite de propositions articulées entre elles selon des principes déterminés, et aboutissant à une conclusion que l'on souhaite démontrer. (Brin et coll., 2004)

Il s'agit donc de partir d'une hypothèse, souvent introduite par « si », que l'on va confirmer ou infirmer, pour arriver à une déduction introduite par « alors ». *ex : Si $a=b$ et que $b=c$ alors $a=c$.*

La capacité d'effectuer des raisonnements hypothético-déductifs est selon Piaget acquise au stade opératoire formel lorsque l'intelligence est pleinement mature et libérée de la manipulation concrète.

L'accès au raisonnement hypothético déductif suppose donc la mise en place des invariants (propriétés constantes concernant les objets, malgré les transformations), de la réversibilité et de la combinatoire (capacité à explorer tous les choix possibles par décentration de point de vue vers d'autres) qui caractérisent une **pensée mobile** (pensée caractéristique de la fin des opérations concrètes : réversible, capable d'anticiper, de faire des hypothèses et de coordonner des points de vues différents).

C'est ce manque de mobilité de pensée qui caractérise la plupart des enfants suivis pour « dyscalculie et troubles du raisonnement logico-mathématique ».

Le raisonnement permet aussi de produire de nouveaux postulats à partir d'informations données par une situation et qui pourront être par la suite utilisées pour d'autres raisonnements. Il se présente selon deux formes : l'*induction*, fait de remonter par le

raisonnement de certains indices à des faits qu'ils rendent plus ou moins probables (élaboration d'hypothèses), et la *déduction* fait de conclure à partir d'une ou plusieurs propositions données une autre proposition en vertu de règles logiques (production de démonstrations).

1.2.2. Comment peut-on définir la dyscalculie et les troubles du raisonnement logico-mathématique ?

Comme il l'a déjà été évoqué plus haut, s'il appartient aux orthophonistes d'intervenir dans l'évaluation et la prise en charge des troubles du calcul et du raisonnement logico-mathématique, il est encore difficile de donner une définition de la notion de « dyscalculie ». Doit-on parler de « dyscalculie » ou de « dyscalculies », de troubles du « calcul », de la « logique » ou de « retard d'acquisition en arithmétique » ?

1.2.2.1. Diverses définitions

Dans un article paru en 2003, Legeay et Morel réalisent un inventaire des définitions proposées par un certain nombre d'auteurs. (Legeay et Morel, 2003)

1.2.2.1.1. Dyscalculies définies relativement à la problématique du nombre et des mathématiques.

Kosc parle d'un « trouble structurel des habiletés mathématiques dont l'origine est génétique ou liée à un problème congénital affectant les aires cérébrales qui sont le substrat anatomophysiologique direct de la maturation des habiletés mathématiques sans trouble simultané des fonctions mentales plus générales » et distingue plusieurs types de dyscalculies : *verbale* (difficultés pour nommer les signes numériques), *lexicale* (difficulté de lecture des symboles arithmétiques), *graphique* (difficulté pour écrire les symboles arithmétiques), *practognosique* (difficultés de manipulation mathématique), *idéognosique* (difficultés de comprendre les concepts numériques) et *opérationnelle* (difficulté de réalisation de opérations). (Kosc, 1974)

Badian (Badian, 1983) distingue lui aussi plusieurs types de dyscalculies : *dyscalculie suite à une alexie ou une agraphie des nombres*, *dyscalculie spatiale*, *anarithmétique* (confusion des algorithmes), *dyscalculie liée à des troubles attentionnels* et *dyscalculie mixte*.

Pour Temple (Temple, 1992), il s'agit « d'un trouble des compétences numériques et des habiletés arithmétiques qui se manifeste chez des enfants d'intelligence normale qui ne présentent pas de déficits neurologiques acquis ». En se basant sur « l'architecture cognitive proposée par McCloskey » on distingue une *dyscalculie du traitement numérique* (difficultés du traitement des symboles numériques), une *difficulté des faits numériques* (difficulté de maîtrise des faits arithmétiques) et une *dyscalculie procédurale* (difficulté à planifier et conduire la séquence ordonnée des opérations nécessaires à la réalisation des calculs complexes).

Dans le DSM-IV (Diagnostic and Statistical Manual of Mental disorders, 4^{ième} édition), on retient le terme de « trouble du calcul » qui requiert trois critères pour son diagnostic :

- 1- Un retard significatif dans les tests standardisés de mathématiques par rapport à l'âge développemental.
- 2- Une interférence de ce retard dans les activités de la vie courante et de la réussite scolaire.
- 3- Dans le cas d'un déficit sensoriel les difficultés doivent dépasser les difficultés engendrées habituellement par ce trouble.

La CIM 10 considère quant à elle les « troubles spécifiques de l'arithmétique » et distingue comme critères : un écart à la norme de plus de 2 écarts-types sous la moyenne, une absence d'antécédents de difficultés significatives en lecture et en orthographe et en cas de déficit sensoriel des troubles qui dépassent les conséquences habituelles.

Enfin Lussier et Flessas (Lussier et Flessas, 2001) définissent la dyscalculie en la distinguant des troubles acquis comme l'acalculie.

1.2.2.1.2. Dyscalculies définies comme liées ou conséquentes à d'autres symptômes.

Jaulin-Mannoni explique que l'utilisation correcte du terme « *dyscalculie* » permettrait de qualifier « l'incapacité d'accès à la fonction calculatrice sans troubles du raisonnement associé » soit un trouble du calcul pur. Par la suite, elle explique que les difficultés mathématiques sont à mettre en lien avec des **défauts de structuration du raisonnement logico-mathématique**. Pour elle la « *dyscalculie* » recouvre toutes les formes de difficultés

liées à la construction des univers déductifs soit des troubles de construction des structures de pensées. (Jaulin-Mannoni, 1989).

Cette hypothèse est soutenue par Mazeau (Mazeau, 1999) qui, pour définir le champ des dyscalculies s'intéresse aux différents aspects du nombre et aux compétences cognitives sous-jacentes qu'ils recouvrent. Elle distingue ainsi trois versants différents mais coordonnés au sein du concept du nombre : un *versant linguistique* (lié à l'utilisation des mots oraux), un *versant spatial* (lié à la perception des collections et grandeurs, du comptage et aux algorithmes de résolution des opérations) et un *versant logique* (résultant d'opérations de catégorisations, de classifications et de sériations en lien avec les travaux piagétiens). (Mazeau, 1996)

Mazeau poursuit son hypothèse en incluant la nécessité d'autres compétences cognitives sous-jacentes au nombre : les compétences mnésiques et exécutives. Les **compétences mnésiques** sont ainsi selon elle sollicitées « à toutes les étapes de l'acquisition des différents savoirs afférents au nombre » de la *mémoire déclarative* (soit les connaissances acquises sur les nombres) aux *mémoires transitoires* ou mémoire de travail (utilisée pour les opérations mentales sur les nombres). Les **fonctions exécutives**, quant à elles, permettraient la hiérarchisation et l'organisation des opérations mentales, la structuration de stratégies appropriées et l'inhibition de schèmes automatiques mais non-pertinents (Houdé, 1995). Elles sont également impliquées dans la structuration des compétences numériques et la résolution de problèmes (Mazeau, 1999). Lussier et Flessas soutiennent cette hypothèse en soulignant l'importance de fonctions stratégiques (fonctions exécutives, raisonnement, mémoire et attention) dans le choix de la démarche cognitive pour la résolution de problèmes ou d'équations mathématiques. (Lussier et Flessas, 2001). Badian parle même de dyscalculie attentionnelle séquentielle pour les enfants qui présentent d'importantes difficultés dans l'apprentissage et la restitution des faits arithmétique et qui réalisent de nombreuses erreurs d'attention dans la séquenciation des différentes étapes des algorithmes (Badian, 1983).

Comme Mazeau qui parle d'un *versant linguistique* du nombre, d'autres auteurs mettent la dyscalculie en lien avec des déficits du langage. Cazenave considère que l'acquisition du langage est un pré-requis à toute compréhension mathématique, de même que la mise en place de notions telles que la sériation et les conservations est impossible sans accès au symbolisme verbal (Cazenave, 1970). Boden souligne cette hypothèse en estimant que nombre des

difficultés en mathématiques sont liées à l'écart entre logiques langagière et mathématique (Boden, 1994). Deloche et Seron précisent que les erreurs de transcodage proviennent d'un mauvais accès au lexique ou d'un traitement syntaxique déficient (Deloche et Seron, 1984).

Enfin Nimier repère et étudie quatre modes de relation à l'objet mathématique qui contribuent à la création de troubles du champ mathématique : un mode de maîtrise, un mode de relation anaclitique (idéalisation de l'objet mathématique), un mode de relation schizoïde (obstacle et jeu) et un mode persécuteur. (Nimier, 1988).

D'autres auteurs ont cherché l'origine de la dyscalculie dans des dysfonctionnements de l'hémisphère droit ou de l'hémisphère gauche (Rourke, 1993 ; Spiers, 1978) ou dans les conséquences de troubles dyspraxiques ou dysphasiques ou de facteurs génétiques (Van Hout, 2001) mais il s'agit encore de cas particuliers.

1.2.2.2. Définition adoptée dans le cadre de ce mémoire

Dans le cadre de notre mémoire nous reprendrons l'analyse de Mazeau qui considère la dyscalculie comme un ensemble de dysfonctionnements. Elle explique ainsi que : « l'incompétence en calcul ou dans l'ensemble des activités logico-mathématiques est un symptôme - et non un diagnostic – qui doit faire l'objet d'une analyse, fonction de l'inventaire des compétences requises pour telle ou telle tâche. Ainsi pourront être reconnues des dyscalculies multiples, dont les expressions sont diverses, fonction des processus sous-jacents dysfonctionnant ». (Mazeau, 1999).

Elle souligne l'importance de l'évaluation des domaines linguistiques (oral et écrit), spatiaux et raisonnements sans oublier l'évaluation systématique des fonctions mnésiques et exécutives.

Dans notre étude nous prendrons en compte cette définition de la dyscalculie comme étant : **un ensemble de troubles du calcul et du raisonnement logico-mathématique symptomatiques de dysfonctionnements des compétences cognitives sous-jacentes (langage, compétences visuo-spatiales, compétences logiques, capacités mnésiques et exécutives), pédagogiques, organiques ou psychologiques.**

1.2.2.3. Comment diagnostiquer une dyscalculie et/ ou des troubles du raisonnement logico-mathématique ?

1.2.2.3.1. Critères de diagnostic

Pour poser le diagnostic de « *dyscalculie* » au sens de « *troubles du calcul et ou du raisonnement logico-mathématique* », il conviendra donc de faire apparaître la notion de « *trouble* », soit un déficit significatif et durable dans un domaine donné, et la notion de « *spécificité* », soit un décalage par rapport à une norme attendue à un âge donné, dans un domaine, ici le calcul et le raisonnement logico-mathématique. Or nous avons vu précédemment qu'il n'existe pas une, mais de multiples « *dyscalculies* », symptômes de dysfonctionnement sous-jacents (Mazeau, 1999).

Un patient sera donc qualifié de « *dyscalculique* » quand, en dehors de tout déficit intellectuel ou sensoriel, il présente des troubles spécifiques dans les domaines numériques. Soit des défauts dans la construction et l'utilisation des nombres, soit des difficultés dans la structuration du raisonnement ou de l'utilisation des outils logiques et mathématiques. Ces défauts entraînent des difficultés spécifiques en mathématiques et parfois des troubles de langage en lien avec un dysfonctionnement de la pensée.

Les tests utilisés pour évaluer de tels troubles devront posséder les qualités psychométriques essentielles (validité, sensibilité et fiabilité) de façon à établir un profil bien différencié qui permettra aussi, par la suite, d'orienter vers un bilan plus complet dans un domaine suspect (capacités visuo-spatiales, linguistiques, mnésique...).

Enfin, si ces troubles peuvent être « *développementaux* » (c'est-à-dire sans antécédents décelables) ou « *acquis* » (séquelles de lésions précoces) ils peuvent constituer un réel handicap au quotidien mais aussi pour les apprentissages scolaires. Rarement isolés, ils peuvent se surajouter à d'autres troubles pour constituer un réel « *sur-handicap* » qu'il ne faut en aucun cas négliger. (Mazeau, 1999)

1.2.2.3.2. Outils de diagnostic

Le diagnostic de troubles du calcul et du raisonnement logico-mathématique nécessite donc une évaluation pour, d'une part déterminer le critère de gravité et l'écart par rapport à la norme et, d'autre part pour préciser les différentes atteintes qui constituent ces troubles.

Grégoire distingue d'après Chomsky (Chomsky, 1965) les tests de performance (qui évaluent si les résultats obtenus sont en accord avec ceux attendus) et les tests de compétences (qui évaluent les processus cognitifs mis en œuvre pour effectuer une activité) (Grégoire, 2000).

1.2.2.3.2.1. Evaluation de la performance en calcul

L'évaluation des performances « pures » pour diagnostiquer la dyscalculie est critiquable dans le sens où ces tests ne permettent ni de comprendre les causes des échecs ou des réussites ni de mettre en place une action remédiate. Ainsi, ces tests qui ne s'appuient sur aucun modèle théorique, sont tributaires de l'apprentissage scolaire ce qui pose la question de la variabilité entre plusieurs écoles ou plusieurs enseignants. De même, l'influence du contexte, situations concrètes ou scolaires, dans lequel est posée la question peut avoir un impact sur la réussite. (Grégoire, 2000).

Malgré tout, les tests de performance restent utiles dans le sens où ils permettent de valider les difficultés mathématiques par rapport à un niveau scolaire attendu.

1.2.2.3.2.2. Evaluation de la compétence en calcul

Pour cerner la problématique sous-jacente aux difficultés d'apprentissage de l'enfant et guider le thérapeute dans sa prise en charge, des tests approfondis permettent d'interpréter les difficultés de l'enfant. Trois courants théoriques ont permis le développement d'outils d'évaluation du domaine numérique : la théorie piagétienne, la théorie neuropsychologique des acalculies et celle de la psychologie cognitive du développement numérique.

Le modèle piagétien a ainsi inspiré la constitution de l'UDN-II (pour Utilisation Du Nombre) par Meljac et Lemmel (Meljac et Lemmel, 1999), une batterie pour les enfants de 4 à 11 ans, du traitement numérique, logique et mathématique qui permet d'évaluer les opérations logiques élémentaires (classification, sériation et inclusion), les conservations, les compétences spatiales, l'utilisation et la connaissance du nombre.

Issus des travaux de McCloskey, Caramazza et Basili (McCloskey, Caramazza et Basili, 1985) et de leur modèle d'une architecture cognitive pour le calcul et le traitement numérique basés sur les observations des acalculies acquises, deux tests ont été élaborés : le Numerical (Gaillard, 2000), pour les adultes, et le Zareki-R (Von Aster et Dellatolas, 2006), pour les enfants du CP au CM2.

En relation avec les recherches sur le développement numérique de l'enfant et la mise en évidence des compétences « proto-numériques » du bébé, des batteries d'évaluation précoce de l'enfant ont été développées. Ainsi le Tedi-Math, développé par Van Nieuwenhoven, Grégoire et Noël (Van Nieuwenhoven, Grégoire et Noël, 2001) est une batterie d'évaluation des premiers développements numériques de l'enfant de la maternelle au CE2. A la différence de l'UDNII seules les notions relevant du domaine numérique sont prises en compte.

→Après avoir étudié les différentes définitions et conceptions de la dyscalculie nous avons pu voir qu'il s'agissait d'un trouble aux composantes sous-jacentes multiples et notamment au niveau des compétences exécutives et mnésiques qui sont impliquées dans la structuration des compétences numériques. Nous allons maintenant étudier ce lien entre compétences logicomathématiques et compétences exécutives.

1.3. Liens entre compétences logico-mathématiques et fonctionnement exécutif

En ce qui concerne le développement cognitif, la conception piagétienne a longtemps été pionnière. En effet, Piaget (Piaget, 1957) a été l'un des premiers à théoriser le développement cognitif par l'observation de stades de développement, d'ordre immuable, communs à chaque enfant basé sur des observations cliniques. Pour lui l'accessibilité à une intelligence mature dépend de la mise en place de structures logiques. Cette théorie dite « constructiviste » a contribué à la recherche sur les fondements de la pensée mathématique et a influencé l'enseignement des mathématiques. Pourtant de nombreuses critiques ont émergé du fait du développement des études et des moyens technologiques.

Les âges-clés proposés par Piaget ont été remis en question devant la mise en évidence de compétences numériques précoces chez le nourrisson (Starkey et Cooper, 1980 ; Wynn, 1992) et de variation intra- et inter- individuelles (Fayol, 2012).

S'inscrivant dans le courant post-piagétien, Houdé intègre les apports expérimentaux récents sur les rapports entre inhibition et développement cognitif aux notions constructivistes de développement allant de la construction de l'objet au raisonnement formel (Houdé, 2000).

Par la suite les travaux cognitivistes ont montré l'implication des capacités cognitives dans les compétences numériques de l'enfant et de l'adulte. Des capacités de perception numérique aux compétences de transcodage en passant par les aptitudes opératoires et de résolution de problèmes, ces recherches amènent à s'interroger sur le lien entre fonctionnement exécutif et compétences logico-mathématiques. Dans ce chapitre nous allons définir la notion de fonctions exécutives puis nous allons la mettre en lien avec les compétences logico-mathématiques de l'enfant.

1.3.1. Introduction au fonctionnement exécutif : brève définition et développement chez l'enfant.

1.3.1.1. Définition

Le terme de « fonctions exécutives » apparaît pour la première fois dans les travaux de Luria (Luria, 1964 cité par Tranel, Anderson et Benton) pour décrire des fonctions cognitives de haut niveau servant au contrôle de tâches cognitives diverses.

Elles se définissent comme un ensemble de processus cognitifs de haut niveau permettant de façon intentionnelle de faciliter l'adaptation du sujet aux situations nouvelles et/ou complexes. Ceci par la définition de l'objectif à atteindre, du choix d'une stratégie pour y parvenir et du contrôle de sa mise en œuvre et de ses résultats, en particulier lorsque les habiletés cognitives sur-apprises ne sont plus suffisantes. (Miyake, Friedman, Emerson, Witzki, Howerter et Wager, 2000; Collette, 2007 ; Allain et Le Gall, 2008).

1.3.1.2. Description

La description des différents processus exécutifs est extrêmement variable dans la littérature. Selon les auteurs contemporains, le terme de « fonctions exécutives » est un concept très large qui englobe un certain nombre de fonctions distinctes mais interactives (Anderson et Jacobs, 2004).

Rabbitt identifie une série de critères d'interventions des processus exécutifs : la nouveauté, la remémoration délibérée d'informations en mémoire, la coordination simultanée de deux tâches, l'inhibition de réponses non appropriées, la détection et la correction d'erreurs, l'accès partiel à la conscience et l'initiation de séquences comportementales et leur régulation (Rabbitt, 1997).

Il explique que le contrôle exécutif est nécessaire pour réaliser des tâches nouvelles qui demandent : la formulation d'un but, la planification et le choix des différentes séquences de comportement qui permettront d'atteindre le but, la comparaison des plans selon leur probabilité de succès et leur efficacité dans l'accomplissement de l'action, et enfin la mise en œuvre du plan choisi pour atteindre le but. (Rabbitt, 1997).

Baddeley propose, quant à lui, d'isoler les processus exécutifs suivants : la capacité de *coordination en double tâche* (allocation de ressources durant la réalisation simultanée de deux tâches), la *modification des stratégies de récupération de l'information* (telles que celles utilisées dans une tâche de génération aléatoire), la *capacité d'attention sélective* (capacité à porter son attention sur un item pertinent tout en inhibant l'effet perturbateur provoqué par la présentation d'autres items) et *l'activation des informations résidentes en mémoire à long terme*.(Baddeley, 1996)

Par la suite Miyake et coll., (Miyake et coll., 2000) ont réalisé une étude pour déterminer si ces processus exécutifs fonctionnaient en termes d'unité ou de diversité de fonction. Ils ont mis en évidence trois processus se distinguant les uns des autres mais pas complètement indépendants et possédant des processus communs : la fonction de **mise à jour** (modification du contenu de la mémoire de travail en fonction des nouvelles entrées), les capacités de **flexibilité** (capacité de déplacer volontairement le foyer attentionnel d'une catégorie de stimuli à une autre, ou d'un processus cognitif à un autre) et les processus d'**inhibition** (dont le but est d'empêcher des informations ou des processus non pertinents de venir perturber la tâche en cours).

Du fait de cette variabilité de descriptions nous retiendrons pour notre étude trois fonctions sur lesquelles s'accordent la majorité des auteurs :

La **planification** qui consiste à établir un objectif et à mettre en place des stratégies organisationnelles pour l'atteindre (Anderson, Anderson, Northam, Jacobs & Catroppa, 2001), elle implique des capacités d'anticipation de façon à juger des stratégies le plus appropriées à mettre en place.

L'**inhibition** qui consiste à inhiber les informations non pertinentes, se compose de trois sous-types distingués par Friedman et Miyake (Friedman et Miyake , 2004) : le *filtrage* (résistance à l'interférence provoquée par les distracteurs, en lien avec l'attention sélective), la *suppression* en mémoire de travail des informations non pertinentes ou qui ne le sont plus et le *blocage* des réponses automatiques ou surappries non adaptées à la tâche.

La **flexibilité mentale** qui consiste en la capacité de passer d'une tâche à l'autre ou d'un ensemble de représentations mentales à un autre. Cette capacité est dépendante des mécanismes d'inhibition notamment de la fonction de suppression par le déplacement du foyer attentionnel. (Miyake et al., 2000)

Il existe une forte intrication entre les processus attentionnels et les fonctions exécutives (Zesiger, 2009). Ainsi Rabbitt (Rabbitt, 1997) fait référence à l'attention partagée dans son critère de coordination de deux tâches simultanées et l'inhibition est liée à l'attention sélective par le mécanisme de filtrage (Miyake et al., 2000).

De même, il existe un lien important entre fonctions exécutives et **mémoire de travail**. En effet, la capacité de maintien de l'information pendant une tâche complexe nécessite l'intervention de la mémoire de travail ainsi que de l'attention soutenue et de l'attention partagée pour coordonner deux activités et de l'inhibition des informations non pertinentes. Baddeley (Baddeley, 1986) a introduit dans son modèle tripartite de la mémoire de travail un composant central : « *l'administrateur central* » chargé d'assurer le contrôle attentionnel mais aussi la gestion et la coordination de l'information. Ce système à capacité limitée est responsable de la sélection et de la planification dans la résolution des tâches. Il s'appuie sur deux systèmes esclaves : la *boucle phonologique* (système de stockage temporaire des informations phonologiques) et le *calepin visuo-spatial* (système de stockage temporaire de l'information visuo-spatiale). La notion d' « *administrateur central* » de Baddeley est à rapprocher du « système de supervision attentionnelle » introduit par Norman et Shallice (Norman et Shallice, 1986) chargé de la résolution des conflits lors de la confrontation à une situation nouvelle. Ces deux modèles illustrent assez bien le contrôle exécutif par leur notion de gestion de résolution de problèmes faisant intervenir plusieurs processus.

Chez le jeune enfant, la résolution de problèmes ferait intervenir la mémoire de travail et l'inhibition (Senn, Espy et Kaufmann, 2004) à la différence de l'adulte où seule l'inhibition joue un rôle dans la résolution de problèmes (Miyake et al., 2000). Cette association de processus chez l'enfant a été mise en relation avec l'exigence du maintien des règles par rapport au but qui engagerait la mémoire de travail à un degré plus important que chez l'adulte. La flexibilité, en revanche, ne contribuerait pas de façon importante à la résolution de problèmes. Par ailleurs, on observe qu'avant 4 ans l'enfant utilise ses capacités de contrôle inhibiteur, qui se développent précocement, pour la résolution de problèmes alors qu'après 4 ans il s'appuierait sur ses capacités de mémoire de travail plus développées. (Senn, Espy et Kaufmann, 2004).

1.3.1.3. Développement exécutif

Les études sur le développement des fonctions exécutives ont permis de distinguer quatre périodes de développement correspondant aux poussées de croissance observées au niveau du développement cérébral et corrélées aux stades cognitifs piagétiens : une période de 0 à 2 ans (stade sensorimoteur), une période de 2 à 6/7ans (stade préopératoire), une période de 6/7 à 9

ans (stade opératoire formel) et une période correspondant à la jeune adolescence (stade opératoire formel).(Anderson et Jacobs, 2004)

1.3.1.3.1. Parallèle entre développement cognitiviste et constructiviste.

Un parallèle entre les conceptions de Piaget (Piaget, 1967) et de Luria (Luria, 1970) a été proposé par Morgan (Morgan, 1988).

Piaget (Piaget, 1967) considère en effet le cerveau de l'enfant comme réorganisateur des expériences vécues avec un effet variable selon le niveau de maturation cérébrale. Cette réorganisation s'inscrit dans une structure d'ensemble caractéristique de chacun des stades piagétiens. La transition entre chaque stade s'opérant à travers une réorganisation des processus de pensée. (Lussier et Flessas, 2009)

Pour Luria (Luria, 1970), la maturation cérébrale se fait elle aussi à travers l'émergence de systèmes fonctionnels, mettant en jeu des zones neuronales spécifiques. L'installation de réseaux de connexions neuronales permet l'intégration d'informations de complexité croissante (Lussier et Flessas, 2009). Il détermine donc cinq stades successifs de maturation cérébrale :

- Le *premier stade* correspond au développement des capacités d'éveil et de focalisation attentionnelle en lien avec la formation réticulée située dans la région sous-corticale.
- Le *second stade* correspond à la mise en place progressive des capacités d'organisation des gestes en fonction des perceptions en lien avec la coordination des aires motrices et sensorielles amenant à l'épanouissement d'une intelligence sensori-motrice. La maturation toucherait en premier le cortex frontal puis les aires pariétales, occipitales et temporales.
- Le *troisième stade* serait lié au développement des aires motrices et sensorielles secondaires qui permettront, non seulement de mieux traiter les informations des zones primaires mais aussi d'affiner les perceptions et de mémoriser les données recueillies. La mise en place des zones correspondant au langage amènerait l'enfant à traduire ses expériences à travers celui-ci et introduirait la pensée symbolique propre au stade préopératoire. La maturation du cortex pré-moteur à cette période permettrait à l'enfant d'organiser des séquences motrices de complexité croissante.

- Le *quatrième stade* correspondrait à un enrichissement et une diversification des circuits neuronaux entre les lobes pariétaux, temporaux et occipitaux (responsables des modalités visuelles, auditives et somesthésiques) responsables de la mise en place du stade des opérations concrètes piagétien. L'enfant devient capable à ce stade de mettre en relation les propriétés d'un objet en coordonnant les données perceptives qui permettent d'accéder au principe de conservation.
- Le *cinquième stade* correspondant à la maturation des aires préfrontales impliquées dans la maîtrise des processus de pensée hypothético-déductive et d'autorégulation des comportements expliquerait l'accès au stade opératoire formel.

Ainsi, pour Luria comme pour Piaget le développement des fonctions exécutives s'effectue au travers de stades séquencés impliquant une intégration progressive de tous les circuits neuronaux conduisant à une réorganisation des processus de pensée. Ce parallèle entre des considérations phénoménologiques et neurologiques apporte un éclairage complémentaire par l'apport d'une explication scientifique des faits observés (Lussier et Flessas, 2009).

1.3.1.3.2. Développement des fonctions exécutives.

Il existe de nombreux modèles théoriques pour orienter l'évaluation et la rééducation des troubles exécutifs chez l'adulte. Ces modèles prenant comme référence un état mature, ils rendent difficilement compte de la mise en place progressive des fonctions exécutives chez l'enfant (Zesiger & Hirsbrunner, 2000). Ce sont les théories issues de la psychologie du développement qui permettent principalement de conceptualiser le développement des fonctions exécutives. Les premiers à avoir inclus la notion de fonctions exécutives dans le développement cognitif sont les néo-piagétiens.

1.3.1.3.2.1. Chez le nourrisson.

Chez le nourrisson, c'est à travers l'expérimentation piagétienne de la permanence de l'objet, « A-non-B » (Piaget, 1936) que l'on considère les premiers signes de l'émergence des fonctions exécutives. En effet, cette permanence de l'objet qui s'installe entre 6 et 12 mois, nécessite d'inhiber la réponse de recherche de l'objet à l'emplacement premier et le maintien à l'esprit de la nouvelle cachette. (Diamond, 1990)

Ces capacités précoces d'inhibition, de planification et d'anticipation par représentation mentale sont à mettre en lien avec les modifications du cortex préfrontal par développement des circuits neuronaux observable à ces âges (Diamond, 2004; Roy, 2007).

1.3.1.3.2.2. Chez l'enfant d'âge préscolaire

Les compétences de mémoire de travail et d'inhibition continuent à évoluer durant la période préscolaire. Des recherches montrent des progrès importants de mémoire de travail entre 2 et 6 ans (Roy, 2007). Quant à l'inhibition, des recherches montrent que les capacités d'inhibition de réponse prépondérante évoluent entre 3 et 6 ans (Klenberg, Korkman et Lahti-Nuutila, 2001).

Les travaux sur les compétences de flexibilité montrent un développement actif au cours de la période préscolaire ainsi que l'existence de deux pics développementaux : l'un entre 4 et 5 ans (correspondant aux capacités d'abstraction et de flexibilité déductive) et l'autre entre 5 et 7 ans (correspondant aux capacités de flexibilité inductive sans aide explicite). (Smidts, Jacobs et Anderson, 2004)

Les travaux sur les capacités de planification chez le jeune enfant, grâce à l'épreuve de la « Tour de Londres » ont permis d'établir un développement précoce des aptitudes de résolution de problèmes avec un pic de développement entre 5 et 6 ans et une maturité à 8 ans (Luciana et Nelson, 1998). Les erreurs commises étant liées au départ à un défaut d'inhibition des réponses automatiques, d'autocorrection et d'autorégulation. La surcharge cognitive est peu à peu diminuée par la mise en place par les enfants de stratégies simples (Welsh, 1991).

Outre les fonctions propres au développement exécutif, des études ont été réalisées sur la prise de décision à propos d'événements entraînant des conséquences émotionnelles. D'après Damasio celle-ci serait liée à des marqueurs somatiques, signaux émotionnels positifs ou négatifs, qui l'orienteraient (Damasio, 1995). La faible maturation du cortex préfrontal, chez les enfants, entraînerait une prise de décision immature avec préférence pour le profit immédiat avec une moindre sensibilité aux conséquences de celle-ci. Un développement rapide de cette capacité est observé entre 3 et 4 ans soit en lien avec le développement des compétences exécutives. (Kerr et Zelazo, 2004)

1.3.1.3.2.3. Chez l'enfant d'âge scolaire

Les travaux sur les enfants en âge scolaire ont permis de déterminer une zone d'âge à laquelle les performances des enfants à des tâches exécutives devenaient comparables à celles des adultes.

Ainsi, pour les tâches d'inhibition on observe des niveaux de maturité hétérogènes en lien avec les processus de filtrage, de suppression et de blocage distingués par Friedman et Miyake (Friedman et Miyake, 2004) et des variations en lien avec la diversité des tâches proposées. Les recherches ont permis d'établir d'importants progrès pour les capacités d'inhibition par filtrage entre 6 et 10 ans (Klenberg et al., 2001), d'inhibition par suppression entre 10 et 12 ans (Passler, Isaac et Hynd, 1985) et d'inhibition par blocage entre 7 et 10 ans (Klenberg et al., 2001) voire plus pour certaines tâches.

Les âges de maturité pour les tâches de flexibilité sont eux-aussi variables pour des raisons similaires aux précédentes mais on peut parler de progrès importants entre 10 et 12 ans. (Klenberg, Korkman et Lahti-Nuuttila, 2001).

Les capacités de planification quant à elles progressent de façon quasi-constante pendant la période scolaire avec au niveau des capacités de résolution de problèmes une progression entre 6 et 15 ans (Welsh, 1991 ; Klenberg, Korkman et Lahti-Nuuttila, 2001) et au niveau des capacités visuo-constructives (Figure de Rey) des progrès entre 11 et 12 ans (Anderson, Anderson et al., 2001).

Les travaux sur le développement des fonctions exécutives et attentionnelles chez l'enfant montrent donc une évolution active durant la période scolaire et qui se poursuit jusqu'à la fin de l'adolescence. L'identification de processus exécutifs de « base » comme l'inhibition, la mémoire de travail, la flexibilité et la planification a permis d'étudier la valeur prédictive de tels processus. Cependant il convient de rester prudent quant à la notion de maturité d'une fonction tant les tâches sont diverses tant dans leur contenu que dans les processus impliqués. (Zesiger, 2009)

Dans notre étude nous nous intéresserons aux enfants de 7 à 11 ans soit en âge scolaire, période critique d'évolution des processus exécutifs.

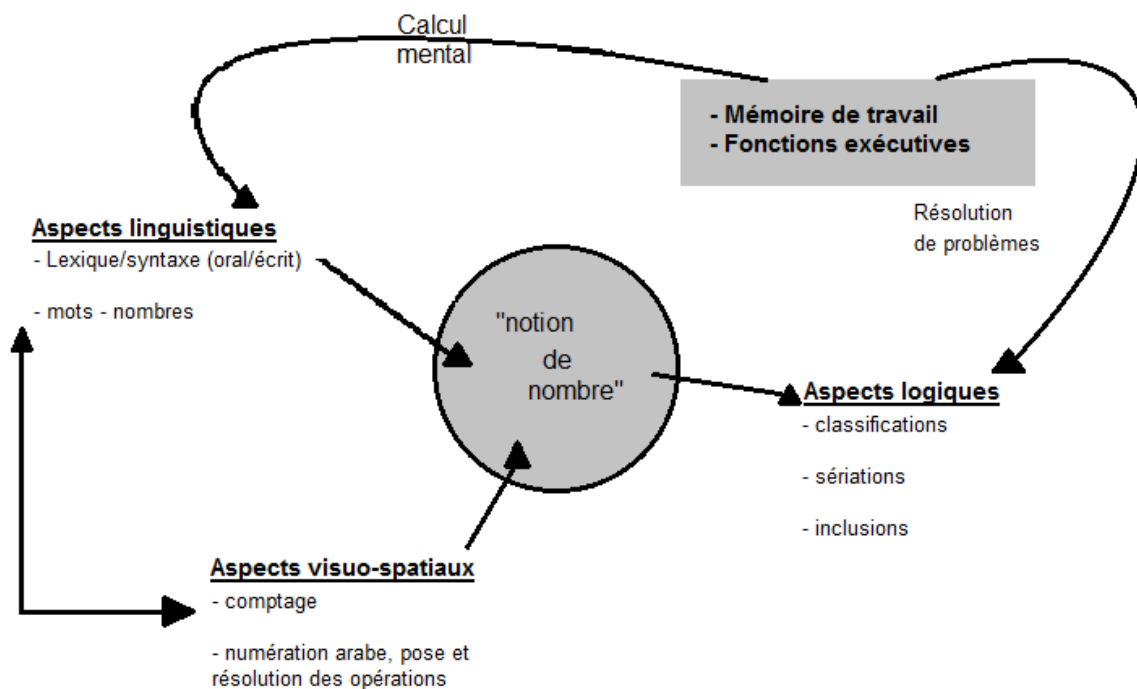
1.3.2. Lien avec les compétences logico-mathématiques

L'étude des troubles du calcul et du raisonnement logicomathématique fait actuellement l'objet du débat entre courants **constructiviste** (issu des théories piagésiennes) et **cognitviste**, (issu de la remise en cause de ces théories et de l'étude du calcul sur des bases neurologiques).

Pourtant l'apport des connaissances sur le fonctionnement exécutif permet de faire un lien avec les compétences logico-mathématiques.

C'est Badian qui, le premier, associe les échecs en mathématiques à des défauts d'attention ou d'impulsivité en lien à des aspects exécutifs déficitaires (Badian, 1983). Par la suite, Mazeau distingue au sein du concept de nombre des aspects linguistiques, visuo-spatiaux et logiques auxquels elle ajoute la nécessité de compétences mnésiques et exécutives essentielles à chaque étape d'acquisition des savoirs afférents aux nombres (Mazeau, 1999 ; Mazeau, 2005, cf. Figure1).

Figure 1 : Les principales fonctions cognitives engagées dans les activités arithmétiques. (Mazeau, 2005)



En effet les fonctions exécutives participent à l'acquisition des compétences numériques mais aussi à l'acquisition des compétences « logiques » inhérentes à la construction piagétienne du nombre.

Le parallèle entre maturation cérébrale et acquisitions piagésiennes de Luria et Piaget, (Morgan, 1988 ; Lussier et Flessas, 2009) permet d'expliquer des observations cliniques par des faits neurobiologiques. Par exemple, la capacité de mise en relation des propriétés d'un objet afin d'acquiescer la conservation de celui-ci ne peut être possible sans le développement suffisant des aires sensorielles. De même, les compétences de classification ne peuvent être mises en place sans des aptitudes de flexibilités, d'inhibition, de mémoire de travail et de planification inhérentes au développement du cortex préfrontal. Enfin, le raisonnement hypothéico-déductif qui peut être assimilé à la résolution de problèmes ne saurait être efficace sans l'action des différents processus exécutifs.

Par ailleurs de nombreuses études ont montré que les fonctions exécutives jouaient un rôle important dans les performances mathématiques. Bull et Scerif ont notamment démontré que les mauvais calculateurs présentaient un dysfonctionnement de « l'exécuteur central », témoin de la mise en œuvre des fonctions exécutives. Ainsi, des déficits au niveau de l'inhibition, de la flexibilité et de la mémoire de travail seraient liés aux difficultés présentées par les enfants avec un faible niveau en mathématiques:

- difficulté d'inhiber une stratégie apprise et d'échange avec une nouvelle,
- lenteur manifeste pour les épreuves nécessitant l'inhibition d'interférences en lien avec un faible empan de mémoire de travail,
- présence d'un grand nombre de persévérations sur les épreuves de flexibilité,
- défaut de génération de stratégies et de régulation de celles-ci (Bull et Scerif, 1999).

Enfin Clark, Pritchard et Woodward ont mis en évidence que les enfants les moins performants sur le plan de leurs fonctions exécutives (inhibition, flexibilité) associé à un déficit de mémoire de travail étaient statistiquement moins performants dans la résolution de problème et progressaient moins vite que leurs pairs lors d'un entraînement intensif à la résolution de ce type de problèmes (Clark, Pritchard et Woodward, 2010).

→ Les fonctions exécutives sont donc des fonctions de haut-niveau qui évoluent de la naissance à l'adolescence en lien avec la maturation cérébrale. On distingue plus particulièrement l'inhibition, la flexibilité et la planification auxquelles on associe la mémoire de travail. Ces fonctions jouent un rôle important dans les acquisitions de l'enfant notamment au niveau du nombre et de la logique. Par ailleurs, des dysfonctionnements au niveau des compétences mathématiques ont été mises en lien avec des déficits des fonctions exécutives. Nous allons voir maintenant les modes de rééducation actuels des « dyscalculies ».

1.4. Etats des lieux concernant les modes de prise en charge actuels des « dyscalculies ».

Comme nous avons pu le voir précédemment nous disposons d'un large éventail d'observations des enfants présentant des difficultés d'élaboration du domaine numérique et logique. Si les outils d'évaluation de performances scolaires pour les repérer sont nombreux les outils d'évaluation des compétences, utilisés par les orthophonistes, sont encore peu nombreux et en constante évolution. Les différents courants théoriques sous-jacents à l'élaboration de ces outils sont à l'origine de prises en charge variées.

Nous allons réaliser dans cette partie un bref inventaire des modes d'intervention spécialisés dans le domaine numériques avant de présenter notre problématique.

1.4.1. Méthodes actuelles

La prise en charge des troubles du calcul et du raisonnement logicomathématique est parfois difficile à appréhender. En effet, il s'agit de se distinguer des *cours de soutien scolaire* puisque l'aide apportée consiste à transmettre autre chose que ce que l'enfant peut trouver dans son quotidien. Le terme de *remédiation* apparaît alors approprié car il s'agit de recréer un lien entre l'enfant, le nombre et la logique, voire plus globalement les mathématiques et de l'accompagner dans ce parcours. (Meljac, 2001)

Il n'existe à ce jour ni doctrine, ni praticien spécifique officiellement reconnu par un diplôme autonome pour la seule remédiation mathématique. Les pratiques actuelles sont issues de formations diverses ce qui rend la prise en charge des troubles du calcul et du raisonnement logico-mathématique inégale selon l'implantation géographique et la formation du remédiateur.

Parmi les types d'interventions on distingue les approches constructivistes, psychopédagogiques et neuropsychologiques (Stroh et Morel, 2008).

1.4.1.1. Approches constructivistes.

L'approche constructiviste se construit sur la théorie piagétienne. Parmi les pratiques issues de ce courant on peut citer les remédiations des structures du raisonnement logico-mathématique.

Le Groupe d'Etude sur la Psychopathologie des Activités Logico-Mathématique (GEPALM) créé par Jaulin-Mannoni base ses pratiques de rééducation sur un accompagnement dans la construction du raisonnement de l'enfant. Il propose donc des activités axées sur la mobilité des processus mentaux en s'appuyant sur un travail des « *structures du réel* » (déterminées par les lois soumises aux contraintes du monde physique) et des « *structures de pensée* » (constructions inférentielles permettant la coordination pertinente des connaissances et des actions). Il s'agit de mettre du sens sur ces activités afin de développer par la suite des compétences spécifiques pour l'appropriation des savoirs scolaires.

Le groupe de recherche **Cogi'Act** créé par Legeay, Morel, Stroh et Voye base sa démarche de rééducation sur le travail du fonctionnement de la pensée et des conduites langagières. Les situations rééducatives sont mises en place grâce à l'installation d'un libre espace à penser (espace d'expérimentation et de création de nouvelle symbolisation) et d'un travail au travers des activités ludiques. Les situations développées sollicitent l'activité logique par des conduites de classification, de sériation, d'inclusion, de mise en relation et de jugement. La démarche de rééducation part de l'exploration des possibles et des coordinations vers la sollicitation d'anticipations, de déductions (élémentaires puis coordonnées) et d'hypothèses. Cette intervention a pour but de donner du sens aux contenus des connaissances et des apprentissages scolaires et d'accompagner l'enfant dans un processus de décentration et de mise en lien.

Les **remédiations neuro-constructivistes** proposées par **Menissier** (Menissier, 1999) sont basées sur les théories constructivistes piagétienes, les apports du néo-constructivisme, de la psychologie cognitive et de la neuropsychologie (modèle théorique de traitement numérique de MC Closkey et coll., 1985). Il s'agit de placer l'enfant en situation de construction des outils qui lui manquent.

1.4.1.2. Approches psychopédagogiques

D'autres professionnels ont choisi de développer une approche psychopédagogique avec la rééducation des difficultés dans les apprentissages mathématiques.

Ainsi Gueritte-Hess centre sa rééducation sur les procédures d'apprentissage par élaboration d'exercices pour préparer l'accès au sens du nombre (Bacquet et Gueritte-Hess, 1990).

Riad Al-Hammal propose une rééducation centrée sur l'édification des opérations mentales globales par travail des relations entre développement de la pensée et structures affectives (Al Hammal, Rousselet, 1996).

Enfin d'autres orthophonistes proposent des rééducations centrées sur les stratégies d'apprentissage et les caractéristiques personnelles de l'apprenant par utilisation de la gestion mentale (Pagès cité par Legeay et Stroh, 2008).

1.4.1.3. Approches neuropsychologiques

La neuropsychologie des troubles du calcul et du traitement des nombres présente un double enjeu : clinique et théorique (Pesenti et Seron, 2000). Sur le plan clinique, l'analyse des performances et des déficits associés permet l'élaboration de stratégies rééducatives adaptées. Sur le plan théorique, il n'y a pas encore de consensus entre les modèles cognitifs en raison d'associations et de dissociations de troubles chez les sujets.

Du fait de l'intérêt tardif de la neuropsychologie pour la dyscalculie chez l'enfant, il n'existe à ce jour que quelques tentatives isolées de rééducation cognitive des troubles numériques celles-ci portant sur la rééducation des habiletés numériques. Les contributions existantes se sont essentiellement focalisées sur les troubles du transcodage numérique (capacité à traduire des stimuli numériques d'une notation à l'autre *ex : 4 en quatre*) et les troubles du calcul, (Pesenti et Seron, 2000).

Ces tentatives, bien que rares et encore trop peu nombreuses pour servir de modèle, se sont révélées fructueuses au niveau du maintien et de la généralisation des effets thérapeutiques ce qui peut motiver la recherche future.

1.4.2. Remédiation cognitive des fonctions exécutives dans le cadre de troubles du calcul et du raisonnement logico-mathématique

1.4.2.1. Définition de la remédiation cognitive

Le concept de « remédiation cognitive » est issu de la neuropsychologie : il désigne « une activité où l'on apprend à être attentif, à résoudre des problèmes, à traiter rapidement l'information et à mieux se remémorer » (Médalia et Choi, 2009). Il s'agit donc d'une forme d'entraînement par l'exercice des fonctions cognitives élémentaires que sont l'attention, la recherche de solutions, la vitesse de pensée et la mémorisation.

Si à l'origine cette méthode a été développée pour la prise en charge de pathologies acquises par application de techniques de récupération progressives au moyen d'exercices gradués, elle a été adaptée pour les pathologies développementales dont les déficiences mentales (Buchel et Paour, 2005), les troubles de l'attention et de l'hyperactivité (Minary, 2010) et les troubles des apprentissages (Mazeau, 2005). Des données empiriques montrent des progrès significatifs et durables issus de cette remédiation. La remédiation cognitive répond donc aux modèles d'intervention en neuropsychologie. Ceux-ci s'articulent autour de la notion de « plasticité cérébrale » (mécanismes permettant la réorganisation architecturale et fonctionnelle du cerveau) (Anderson, Winocur et Palmer, 2003) et vise la restauration ou la réorganisation des fonctions selon deux processus (Lussier et Flessas, 2009) :

- Processus de bas en haut, *bottom-up strategy*, qui ont donné lieu au développement de modes d'intervention directs désignés sous le terme « d'approches spécifiques au domaine » d'après la théorie voulant que l'activation répétée augmente la capacité fonctionnelle et facilite la réorganisation corticale par entraînements intensifs et répétitifs des mécanismes de bas-niveau supposés agir sur les processus de haut-niveau (Lussier et Flessas, 2009).
- Processus de haut en bas, *top-down strategy*, qui sont associés aux méthodes de rééducation cognitive ou métacognitive davantage axées sur la prise de conscience des déficits et le développement des capacités d'autorégulation. Ils visent à activer des fonctions cognitives supérieures pour agir sur des systèmes inférieurs (Lussier et Flessas, 2009).

Si certaines interventions privilégient l'une ou l'autre de ces stratégies, des auteurs mettent en avant les bénéfices d'une stratégie combinant les deux précédentes (Lussier et Flessas, 2009).

1.4.2.2. Intérêt d'une remédiation cognitive des fonctions exécutives dans le cadre de troubles du calcul et du raisonnement logico-mathématique.

Nous avons pu voir que la construction du concept de nombre était liée au développement des fonctions exécutives (Mazeau, 1999).

De même, nous avons pu établir qu'un dysfonctionnement de ces mêmes fonctions était corrélé aux difficultés en mathématiques rencontrés par certains enfants (Bull et Scerif, 1999; Clark, Pritchard et Woodward, 2010).

Nous avons aussi vu que les tentatives de remédiation neuropsychologique des troubles du calcul et du raisonnement logico-mathématique étaient rares, limitées à des champs spécifiques mais avec des effets thérapeutiques fructueux dans les domaines concernés (Legeay et Stroh, 2008).

Devant ces éléments nous posons la question suivante : **Quel impact aurait une remédiation cognitive des fonctions exécutives sur les troubles du calcul et du raisonnement logico-mathématique ?**

Les effets d'une remédiation cognitive étant généralement durables et efficaces, **nous supposons qu'un entraînement intensif des fonctions exécutives trouvées déficitaires dans le cadre de troubles spécifiques du calcul et du raisonnement logico-mathématique permettrait aux enfants de développer les compétences nécessaires à la mise en place normale des compétences numériques et logiques pour l'acquisition et l'utilisation du nombre.**

→ Dans la suite de notre étude nous exposerons notre expérimentation en présentant notre population, notre protocole d'évaluation et d'entraînement des fonctions exécutives, nos résultats et les conclusions que l'on peut tirer des analyses.

2.Expérimentation

Au vu du lien, observé lors de l'exploration théorique, entre fonctions exécutives et raisonnement logico-mathématique et leur implication dans les dysfonctionnements, nous avons été amenés à nous demander si une rééducation spécifique des fonctions exécutives aurait une influence sur les dysfonctionnements du raisonnement logico-mathématique.

Par une étude pratique nous avons donc voulu évaluer les dysfonctionnements exécutifs chez des enfants présentant des troubles du raisonnement logico-mathématique et l'influence d'une rééducation de ces dysfonctionnements sur les compétences mathématiques.

Pour cela nous avons fait passer à un groupe d'enfants de 7 à 11 ans, suivis en orthophonie, des épreuves pour évaluer leurs troubles logico-mathématiques et les déficits du fonctionnement exécutif associés. Puis nous avons divisé cette population en deux de façon à avoir un groupe expérimental et un groupe contrôle appariés. Nous avons ensuite proposé au groupe expérimental une série d'exercices de remédiation cognitive des fonctions exécutives centrés sur les déficits observés au cours du bilan des fonctions exécutives. Enfin nous avons réévalué les deux groupes avec les mêmes épreuves que pour le bilan initial. L'analyse des données obtenues nous a permis d'observer l'évolution entre les deux évaluations et d'analyser les résultats obtenus.

Dans un premier temps nous aborderons la méthodologie employée pour recruter la population, l'administration des épreuves de bilan et les séances de remédiation avec la population expérimentale.

Dans un second temps nous décrirons les différentes épreuves de bilan et les exercices proposés aux enfants de la population expérimentale.

Dans un troisième temps nous décrirons les résultats obtenus.

2.1. Matériel et méthode

2.1.1. Choix et recrutement de la population

2.1.1.1. Critères d'inclusion et d'exclusion

Le recrutement de la population s'est fait dans des cabinets d'orthophonistes exerçant en libéral. (cf. Annexe 1)

2.1.1.1.1. Critères d'inclusion

- Diagnostic : Enfants suivis en rééducation orthophonique pour des troubles du calcul et du raisonnement logico-mathématiques
- Age : Enfants âgés de 7 à 11 ans. Cette tranche d'âge se justifie par plusieurs points :
 - ⇒ Il s'agit, comme nous l'avons vu, de la tranche d'âge où se mettent en place les principales structures logiques inhérentes au stade opératoire concret du développement cognitif piagétien.
 - ⇒ Il s'agit de l'un des pics du développement du cortex préfrontal lié au développement des fonctions exécutives impliquées dans le traitement numérique.
 - ⇒ Il s'agit de la tranche d'âge pendant laquelle l'école cherche à mettre en place les apprentissages mathématiques de base (cycle primaire).
- Niveau scolaire : Enfants scolarisés en milieu ordinaire du CE1 au CM2
- Sexe : Enfants de sexe féminin ou masculin, sans distinction.
- Consentement parental : Les objectifs et modalités de l'expérimentation ont été exposés oralement puis récapitulés par écrit aux parents. Ces derniers, ainsi que les enfants, ont été invités à signer une attestation témoignant de leur consentement. (cf. Annexe 2).

2.1.1.1.2. Critères d'exclusion

- Comorbidité : Ont été exclus les enfants présentant des troubles sévères associés (retard mental, troubles du langage oral et du langage écrit, troubles neurologiques, troubles psychologiques).
- Eloignement géographique : Pour des raisons pratiques (une séance de rééducation par semaine) et afin de s'assurer de l'assiduité des enfants et de leurs familles nous avons exclu les enfants pris en charge en dehors de l'agglomération bordelaise.

- Prise en charge : Pour des raisons d'homogénéité de notre population nous avons exclu les enfants dont le suivi orthophonique était inférieur à 1 an.

En raison de la rareté des cas de dyscalculie sans troubles du langage écrit associés et de la tranche d'âge assez jeune de la population recherchée, il a été difficile de recruter la population adéquate. Notre étude porte sur une population de:

- 6 enfants : 5 filles et 1 garçon
- Agés de 8 ans 1 mois à 9 ans 8 mois
- Scolarisés entre le CE2 et le CM1

2.1.1.2. Population expérimentale et population témoin

Une fois la population globale recrutée elle a été séparée en deux de façon à avoir deux groupes appariés en âge et en sexe dans la mesure du possible.

Notre groupe expérimental se compose de :

- G, garçon de 8 ans 1 mois, scolarisé en CE2
- Z, fille, 9 ans 8 mois, scolarisée en CM1
- C, fille, 9 ans 3 mois, scolarisée en CM1

Notre groupe contrôle se compose de :

- M, fille, 8 ans 2 mois, scolarisée en CE2
- As, fille, 9 ans 8 mois, scolarisée en CM1
- Al, fille, 9 ans 3 mois, scolarisée en CM1

La population expérimentale se compose donc de 3 enfants âgés de 8 à 9 ans et la population témoin de 3 enfants âgés de 8 à 9 ans.

2.1.2. Conditions de passation

L'accord des orthophonistes et des parents a été sollicité au préalable.

Pour les épreuves de bilan nous avons rencontré les enfants, de manière individuelle, dans les cabinets libéraux, salles d'attente et bureaux mis à disposition ou au domicile le cas échéant.

Le bilan a été fractionné en deux séances d'1h30 ou trois séances d'1h selon la fatigabilité des enfants.

Pour la population d'étude, les séances de rééducation se sont déroulées dans le cabinet de l'orthophoniste de l'enfant.

2.2. Protocole expérimental

2.2.1. Matériels utilisés pour les évaluations

Les enfants participant à l'étude étaient les patients de cinq orthophonistes différentes. Aussi nous a-t-il semblé nécessaire d'effectuer un bilan des compétences logico-mathématiques commun afin de pouvoir effectuer des liens entre les difficultés spécifiques. Pour l'évaluation mathématique nous avons utilisé des tests permettant d'évaluer la compétence et la performance puis nous avons utilisé des épreuves spécifiques permettant d'évaluer les fonctions cognitives.

2.2.1.1. Evaluation du Raisonnement logico-mathématique : l'UDN II

Nous avons choisi d'utiliser le test UDN-II (pour Utilisation du Nombre) de Meljac et Lemmel pour évaluer les compétences logico-mathématiques (Meljac et Lemmel, 1999).

L'UDN-II est une batterie du traitement numérique, logique et mathématique inspirée de la théorie constructiviste. L'objectif principal de cette batterie est, d'après ses auteurs, de fournir aux praticiens un instrument approprié pour l'examen des compétences logiques et cognitives sous-jacentes au raisonnement numérique et aux performances arithmétiques grâce à des épreuves attractives, variées et stimulantes au travers de situations numériques et non numériques.

Cette batterie est essentiellement basée sur l'observation de l'enfant aux cours des différentes épreuves. L'examineur observe la mise en place d'une argumentation de raisonnement par l'enfant qu'il va étayer par des suggestions, des aides ou des démonstrations. L'observation des conduites du patient et l'analyse de ses erreurs d'un point de vue structural permet de comprendre comment l'enfant utilise et met en œuvre les notions et procédures logico-mathématiques.

Une attention particulière est portée à l'observation du développement des opérations logiques (sériation, classification et conservations) mais aussi à leur coordination permettant, d'après la théorie piagétienne, l'acquisition de la notion de nombre.

La cotation est réalisée à partir de l'analyse qualitative des conduites du patient. Le type de procédure mise en place et la qualité des réponses permet de déterminer le niveau de l'enfant.

Il existe trois niveaux :

- Le niveau réussite : l'enfant accède au principe évalué.
- Le niveau échec : l'enfant échoue l'épreuve.
- Le niveau intermédiaire : on peut qualifier ce niveau de niveau d'acquisition, en effet, l'enfant n'accède pas encore au principe évalué mais n'échoue pas complètement à l'épreuve.

Cinq grandes rubriques sont distinguées (cf. Annexe 3) :

La première porte sur les **conservations** des quantités discontinues (conservation du nombre) et continues (par exemple celles de la longueur, du poids et du volume). Les épreuves de conservation permettent d'observer chez l'enfant le développement des invariants. Les épreuves de conservation s'organisent en trois temps :

- Premier temps : mise en place de conditions suggérant l'identité, l'égalité ou l'équivalence de deux éléments (baguettes de bois, pâte à modeler)
- Deuxième temps : transformation de l'un des deux éléments de façon à ce que le recours à la seule perception ne permette l'affirmation directe de l'identité, de l'égalité ou de l'équivalence. L'enfant doit alors argumenter pour émettre un jugement de comparaison des deux éléments.
- Troisième temps : proposition d'une contre-argumentation par l'examineur de façon à tester la solidité de l'acquisition de l'enfant. *Ex : « Un enfant m'a dit (argument contraire à celui énoncé par l'enfant) et toi que lui répondrais-tu ? »*

Il existe trois types d'arguments de conservation : l'argument d'identité (ex : « *C'est pareil parce qu'on n'a rien ajouté ni enlevé.* »), l'argument de réversibilité (ex : « *On peut refaire la boulette B pour qu'elle redevienne comme la boulette A.* »), l'argument de compensation (ex : « *C'est pareil parce que B est plus long mais plus mince et que A est plus court mais plus gros.* »). La variété des argumentations est un bon indicateur de la souplesse d'esprit et de la capacité à envisager différents points de vue. La double compensation est particulièrement intéressante dans la mesure où elle implique l'articulation de deux arguments apparemment contradictoires (longueur et grosseur).

La seconde porte sur les **opérations logiques élémentaires**, non spécifiques au domaine numérique, avec évaluation de : la **classification** (de cartes selon trois critères successifs), la **sériation** (de baguettes suivant leur longueur), l'**inclusion** (d'un sous-ensemble dans un ensemble constitué de deux sous-ensembles) et la **transitivité** (si $B=A$ et que $C=B$ quel est le rapport entre A et C ?).

La troisième rubrique porte sur la **recherche de l'origine spatiale** (utiliser des repères dans l'espace pour découper une longueur ou une surface identique à un modèle).

La quatrième évalue **l'utilisation du nombre dans des situations variées** : pour décrire une situation, résoudre des problèmes simples, comparer ou transformer des collections... ces sous-tests permettent également d'apprécier les capacités de dénombrement de l'enfant.

Enfin la cinquième rubrique évalue les **connaissances numériques transmises par les apprentissages** avec notamment la compréhension du vocabulaire (plus que, moins que, autant...), la connaissance de la suite de nombre, la lecture et l'écriture des nombres et la résolution d'opérations de calculs.

Grâce à un étalonnage retenant des sujets de 4 à 11 ans l'UDN-II permet d'évaluer les compétences d'élèves de la maternelle à la fin du primaire avec **une plage d'application optimum de 6 à 11 ans**. Les épreuves sont cotées comme non réussies, réussies ou d'un niveau intermédiaire. L'évaluation a donc un fort aspect qualitatif. Sur la base de l'étalonnage, des **âges-clés** ont été définis pour chaque épreuve, ils correspondent au moment où l'épreuve est réussie par plus de 75 % des enfants et échouée par moins de 10% d'entre eux. (cf. Annexe 4)

La passation se fait de façon interactive : l'enfant est assis à côté de l'expérimentateur qui lui propose les différents items tout en lui posant des questions. La succession des épreuves suit un protocole précis et permet de rendre la passation plus variée, de ne pas fixer l'échec de l'enfant et d'éviter l'influence entre deux épreuves. Le matériel est sorti au fur et à mesure de façon à éviter la dispersion. Quand une épreuve est réussie on propose l'épreuve de niveau supérieur. Dans le cas où cette épreuve est échouée on peut proposer celle du niveau inférieur.

Lors de la passation de chaque épreuve toutes les conduites et propos de l'enfant sont recueillis afin d'être exploités. Un cahier de relevé de conduites permet de consigner toutes ces données.

2.2.1.2. Evaluation de l'Utilisation et de la Construction du Nombre : le WRAT

De façon à pouvoir évaluer les performances arithmétiques des enfants nous avons choisi d'utiliser le WRAT-R (Wide Range Achievement Test-Revised de Jastak et Wilkinson, 1984) avec l'étalonnage français de De Jossineau. (De Jossineau, Crepin, Bouhier, Sabouret de Nedde, 1995)

Le manuel présente l'évaluation des troubles d'apprentissage comme une des fonctions de ce test et permet selon l'auteur de déterminer la localisation des difficultés afin de prescrire des programmes de remédiation pour le traitement des faiblesses spécifiques. (Jastak et Wilkinson, 1984 cités par Grégoire, 2008).

Le WRAT est étalonné pour les enfants de **5 ans à 11 ans 11 mois**.

La partie arithmétique du WRAT comprend **7 questions orales** (essentiellement en rapport avec la numération) et **44 calculs écrits**. La passation dure **30 minutes**.

Les scores à ces items permettent de calculer une note brute en arithmétique, qui peut ensuite être traduite sous forme de note standardisée, de percentile ou de niveau scolaire en référence aux résultats d'un échantillon représentatif de la population des élèves français.

Le WRAT-R permet ainsi d'observer les performances dans les domaines suivants :

- Usage des signes $>$, $<$ et $=$.
- Performances opérationnelles pour les additions, soustractions, multiplications et divisions à un ou plusieurs membres, avec ou sans retenue, avec des entiers des décimaux ou des fractions, posées horizontalement ou verticalement.
- Performances de comptage.
- Performances de numération.
- Performances de comparaison des nombres (classement par grandeur).
- Performances de conversion dans le système métrique et dans le système des heures.

2.2.1.3. Evaluation du fonctionnement exécutif

Nous avons choisi d'utiliser plusieurs épreuves issues de différents tests, le TEA-Ch ou Test of Everyday Attention for Children (Manly, Robertson, Anderson et Nimmo-Smith, 2004) et la NEPSY ou Bilan neuropsychologique de l'enfant (Korkman, Kirk et Kemp, 2003), afin d'évaluer les domaines spécifiques.

2.2.1.3.1. Evaluation de l'inhibition

Pour évaluer l'inhibition nous avons choisi de proposer les épreuves « Marche-Arrête » du TEA-Ch et de la « Statue » de la NEPSY.

L'épreuve « **Marche-Arrête** » du TEA-Ch permet d'évaluer les capacités d'attention soutenue et d'inhibition de réponses automatiques. Dans cette tâche on demande aux enfants d'avancer d'un pas sur une planche sur laquelle sont représentés des pas (à l'aide d'un crayon feutre effaçable) s'ils entendent un stimulus sonore, mais d'arrêter si celui-ci est immédiatement suivi d'un bruit d'explosion. Un item (trajet) contient trois à douze pas, et le rythme de succession des stimuli s'accroît du premier au vingtième item. Cette tâche exige une attention soutenue du fait du maintien nécessaire de l'attention sur l'épreuve et de l'effort à fournir pour ne pas répondre de façon automatique (inhibition de réponses). La note d'attention s'obtient en additionnant le nombre de trajets correctement réalisés.

Note Y : nombre de trajets correctement réalisés.

L'épreuve de « **Statue** » de la NEPSY évalue la persévération motrice et l'inhibition des distracteurs. On demande à l'enfant de rester dans la même position debout, les yeux fermés pendant 75 secondes et d'inhiber toute réponse impulsive (mouvement du corps, ouverture des yeux, vocalisation) à des distracteurs sonores (toux, bruits de stylo, ...). De faibles performances à ce subtest peuvent révéler un manque d'inhibition et de contrôle des impulsions.

2.2.1.3.2. Evaluation de la flexibilité

Pour évaluer la **flexibilité** nous avons choisi d'utiliser l'épreuve « Les petits hommes verts » et « Mondes contraires » du TEA-Ch.

L'épreuve « **Les petits hommes verts** » du TEA-Ch permet d'évaluer les capacités de contrôle attentionnel, de flexibilité. Dans ce subtest les enfants doivent à plusieurs reprises passer d'un comptage à l'endroit à un comptage à rebours. On leur demande de compter, sur un livre-test, des petits hommes verts dans un souterrain avec de temps à autre des flèches indiquant qu'ils doivent changer de sens du comptage (sans perdre le chiffre auquel ils étaient parvenus). Cette tâche exige un contrôle attentionnel soutenu, une flexibilité mentale et une bonne mémoire de travail.

Note I : total des réponses correctes

Note J: temps total des items corrects

Note K: nombre total de changements de sens des items corrects

Note L = J/K : note de temps pour *Les petits hommes verts*.

L'épreuve « **Mondes contraires** » du TEA-Ch permet d'évaluer les capacités de contrôle attentionnel, de flexibilité et d'inhibition de la réponse automatique. Dans ce subtest, on présente à l'enfant une page sur laquelle est dessiné un parcours de cases contenant les chiffres « 1 » ou « 2 ». Deux conditions se succèdent : dans la condition « *Monde à l'endroit* », les enfants lisent normalement les chiffres « 1 » ou « 2 ». Dans la condition « *Monde à l'envers* », ils doivent dire « un » quand ils lisent « 2 » et dire « deux » quand ils lisent « 1 ». Les erreurs sont obligatoirement corrigées par l'évaluateur. On mesure la vitesse à laquelle les enfants parviennent à terminer les parcours dans chacune des conditions. Le temps nécessaire pour réaliser la deuxième condition (« monde à l'envers ») constitue un indicateur du contrôle attentionnel et de la flexibilité cognitive.

Note Z : somme des temps pour les deux items (1 et 4) du *Monde à l'endroit*

Note AA : somme des temps pour les deux items (2 et 3) du *Monde à l'envers*.

2.2.1.3.3. Evaluation de la planification.

Pour évaluer la **planification** nous avons choisi d'utiliser les épreuves de la « Tour de Londres » et de « Fluidité verbale » de la NEPSY.

L'épreuve de la « **Tour de Londres** » de la NEPSY est une adaptation de l'épreuve proposée aux adultes et permet d'évaluer les fonctions exécutives de planification, de contrôle, d'auto-régulation et de résolution de problèmes. L'enfant déplace trois boules colorées sur trois tiges

suivant un nombre de déplacements défini, afin de réaliser un modèle. Il doit suivre certaines règles pour cette tâche chronométrée. Une note faible à ce subtest peut indiquer un déficit de la capacité d'anticipation, d'élaboration de nouvelles solutions à un problème et de planification d'une performance. La présence de plusieurs violations des règles peut être liée à la difficulté de maintenir les règles en mémoire de travail ou à une incapacité d'inhiber des réponses impulsives.

L'épreuve de « **Fluidité verbale** » de la NEPSY évalue l'aptitude à produire des mots appartenant à des catégories sémantiques et phonémiques différentes. L'enfant doit ainsi produire le plus grand nombre de noms d'animaux puis de nourriture et de boissons pour la fluence sémantique et de mots commençant par S et M pour la fluence phonémique en une minute à chaque fois. De faibles performances dans cette épreuve peuvent révéler un défaut de contrôle dans la répétition des mots ou des difficultés d'accès en mémoire en lien avec un défaut d'organisation du lexique.

2.2.1.4. Evaluation des capacités mnésiques.

En raison du lien entre capacités mnésiques et fonctionnement exécutif, nous avons choisi d'évaluer les compétences mnésiques grâce à des épreuves issues de la batterie **Langage oral et écrit, Mémoire et Attention** (L2MA) (Chevrie-Muller, Simon et Fournier, 1997) étalonnée de **8 ans 6 mois à 10 ans 6 mois**. Nous avons donc proposé aux sujets les épreuves de « Rappel de séquences de chiffres à l'endroit » et de « Rappel de séquences de chiffres à l'envers ».

L'épreuve de « **Rappel de séquences de chiffres à l'endroit** » permet d'évaluer la mémoire immédiate d'un matériel verbal sans charge sémantique. On demande à l'enfant de répéter des séries de chiffres dont le nombre augmente au fur et à mesure (de 4 à 6 chiffres).

L'épreuve de « **Rappel de séquences de chiffres à l'envers** » permet d'évaluer la mémoire de travail. On demande à l'enfant de restituer une série de chiffres « à l'envers » en commençant par le dernier. Cette épreuve implique le stockage de la série initiale « dans l'ordre », pour y « puiser » le chiffre requis. Les séries vont de 3 à 5 éléments.

Pour ces deux épreuves on accorde 1 point par série correctement répétée et 0 en cas d'échec. La note maximum est égale à 5.

2.2.1.5. Evaluation des capacités visuo-spatiales

Nous avons choisi de proposer l'épreuve de « **Copie de figures** » de la NEPSY afin d'évaluer les capacités d'intégration visuo-motrice. L'enfant doit recopier sur papier des figures géométriques bi-dimensionnelles. De faibles performances à ce subtest peuvent être dues à des problèmes de coordination motrice, à des capacités visuo-spatiales insuffisantes, à un manque d'intégration des aptitudes visuo-spatiales, à des difficultés d'utilisation d'outil pour planifier un comportement visuo-moteur.

2.2.2. Protocole de prise en charge des fonctions exécutives.

2.2.2.1. Objectifs du protocole

Le protocole de rééducation a pour objectif de proposer un entraînement progressif des fonctions cognitives déficitaires (inhibition, flexibilité, planification et mémoire de travail) en utilisant des activités thérapeutiques organisées de façon hiérarchique c'est-à-dire que la complexité des exercices augmente en fonction de la réussite des enfants. Les aides externes ont été limitées pour inciter les enfants à élaborer leurs propres stratégies.

2.2.2.2. Présentation des exercices proposés et supports utilisés

Nous avons choisi de proposer un protocole de remédiation personnalisé pour chaque enfant de la population d'étude de façon à pouvoir travailler les fonctions déficitaires et renforcer l'ensemble des fonctions cognitives sous-jacentes aux compétences logico-mathématique. En fonction des déficits exécutifs observés des exercices centrés sur le travail de ces fonctions ont été proposés. (cf. Tableau 1 et détail en Annexe 5)

Tableau 1: Liste des exercices proposés lors de l'entraînement des fonctions exécutives

Exercice	Fonction travaillées
Un autre mot	Inhibition
Une autre couleur	Inhibition
Les lapins(1)	Inhibition, Attention soutenue
Les lapins(2)	Inhibition, Mémoire de travail, Attention soutenue
Les lapins(3)	Inhibition, Mémoire de travail, Attention soutenue, Catégorisation sémantique
Quick(1)	Flexibilité, Catégorisation sémantique et phonémique
Quick(2)	Flexibilité, Catégorisation sémantique et phonémique
Quick(3)	Inhibition, Mémoire de travail, Attention soutenue, Catégorisation sémantique et phonémique
Quick(4)	Inhibition, Flexibilité, Mémoire de travail, Attention soutenue, Catégorisation sémantique et phonémique
Speed	Flexibilité, Mémoire de travail
Speed inversé	Inhibition, Flexibilité, Mémoire de travail
Speed n-1	Inhibition, Flexibilité, Mémoire de travail
Contraires(1)	Flexibilité, Planification
Contraires(2)	Flexibilité, Mémoire de travail
Sémantique et geste	Mémoire de travail, Attention soutenue, Catégorisation
Ni oui ni non	Inhibition
Ronds et carrés	Inhibition, Flexibilité, Attention soutenue, Attention divisée
Différentes consignes	Inhibition, Flexibilité
Données aléatoires	Inhibition, Mémoire de travail
Sardines	Mémoire de travail
Il en manque un	Mémoire de travail
Quelle question	Mémoire de travail
Du plus petit au plus grand	Mémoire de travail

2.2.2.3. Cadre de la prise en charge

Les séances individuelles se sont déroulées au cabinet de l'orthophoniste de l'enfant. Le bureau était le plus calme possible et dénué d'éléments distrayants. Chaque enfant a bénéficié d'une séance hebdomadaire de 15 minutes pendant 4 mois soit environ 16 séances par enfant. La prise en charge a été assurée par une seule personne.

Le choix des exercices proposés s'est fait en fonction du profil exécutif révélé par les évaluations initiales. Nous avons choisi de personnaliser chaque rééducation en fonction des déficits de l'enfant en proposant en majorité des exercices pour les fonctions déficitaires tout en soutenant l'ensemble exécutif par le travail de soutien des autres fonctions.

Durant la rééducation, l'intervenant veille à avoir une attitude permettant un renforcement positif des performances de l'enfant par des encouragements, lors des exercices, et par des feedback positifs (« très bien », « continue comme ça »...) ou négatifs (« non ce n'est pas ça... », « Essaie encore... »), sans pour autant le décourager (« Tu vas y arriver ! »).

L'intervenant amène l'enfant à mettre en place des stratégies par des indices, en l'aidant à verbaliser ses conduites et en lui posant des questions (« tu t'es trompé, comment aurais-tu pu réussir à ton avis ? ») qui l'amènent à réfléchir sur ses propres stratégies. Nous avons noté l'évolution des enfants sur des feuilles de séance et pu constater qu'au fur et à mesure des progrès de l'enfant, ces aides ont été diminuées.

2.3. Présentation des résultats

Nous avons donc inclus dans notre étude **7 enfants présentant des troubles du calcul et du raisonnement logico-mathématique**.

Les enfants ont été répartis en deux groupes :

- Le **groupe expérimental** désigne les enfants ayant participé au programme de remédiation des fonctions exécutives. Il comprenait 4 enfants âgés de 8 à 9 ans.
- Le **groupe contrôle** désigne les enfants n'ayant pas suivi le programme de remédiation durant la durée de l'étude. Il comprenait 3 enfants âgés de 8 à 9 ans.

2.3.1. Lecture des résultats

Nous avons choisi de présenter les résultats, dans des tableaux, en distinguant les **profils numériques** (issus des résultats obtenus grâce à l'UDN-II et au WRAT-R), les **profils exécutifs** (issus des résultats obtenus grâce au TEACH, à la NEPSY et à la L2MA) et les **profils visuo-constructifs** (issus des résultats de l'épreuve de copie de figure de la NEPSY). On distinguera les enfants de la **population expérimentale** ($ex : Z^{pop.exp.}$) et ceux de la **population contrôle** ($ex : Z^{pop.cont.}$)

Les résultats aux épreuves de l'UDN-II sont exprimés en niveaux de conduite (Réussite, Intermédiaire et Echec). Les résultats aux épreuves du WRAT-R, de la NEPSY, du TEA-Ch et de la L2MA sont exprimés en écart-type. On considère habituellement, d'après la distribution gaussienne, que les sujets dont les scores sont compris entre 1 et -1 écart-type sont des sujets dans la moyenne, entre -1 et -2 écart-type sont des sujets limites et à partir de -2 écart-type sont des sujets pathologiques. (Grégoire, 2009) Dans notre étude nous avons considéré les scores compris entre -1 et 1 écart-type comme appartenant à la moyenne et ceux en-dehors de ces limites comme anormaux mais non pathologiques (inférieurs à -1) ou supnormaux (supérieurs à 1). Le niveau 0 correspond à la moyenne stricte. Les scores considérés comme étant inférieurs aux compétences attendues sont mis en gras. (ex : Niveau de conduite : **Intermédiaire**)

2.3.2. Présentation à T0 des profils de la population

2.3.2.1. Comparaison à T0 des profils numériques

2.3.2.1.1. Comparaison à T0 des compétences aux épreuves de conservation

	Conservation de la Substance <i>Niveau attendu : Réussite</i>	Conservation de la Longueur <i>Niveau attendu : Réussite</i>
G ^{pop.exp.} 8 ans	Argument de conservation de réversibilité. Niveau de conduite : Réussite	Argument de conservation d'identité. Niveau de conduite : Réussite
M ^{pop.cont.} 8 ans	Argument de conservation instable (Accepte la contre-suggestion non-conservante) Niveau de conduite : Intermédiaire	Argument de conservation d'identité Niveau de conduite : Réussite

Tableau 2 : Comparaison à T0 des compétences aux épreuves de conservation des enfants de 8 ans.

A T0, on observe que la conservation des longueurs est réussie pour les deux enfants de 8 ans. La conservation de la substance n'est réussie que pour un seul des deux sujets. (cf. Tableau 2)

	Conservation du Poids <i>Niveau attendu : Réussite</i>	Conservation de la Longueur <i>Niveau attendu : Réussite</i>
Z ^{pop.exp.} 9 ans	Réalise des confusions entre le poids et la substance. Ne parvient pas à argumenter la conservation Niveau de conduite : Intermédiaire	Ne parvient pas à argumenter la conservation Niveau de conduite : Intermédiaire
Al ^{pop.cont.} 9 ans	Argument de conservation d'identité. Niveau de conduite : Réussite	Argument de conservation de réversibilité Niveau de conduite : Réussite
C ^{pop.exp.} 9 ans	Argument de conservation d'identité Niveau de conduite : Réussite	Argument de conservation d'identité Niveau de conduite : Réussite
As ^{pop.cont.} 9 ans	Non-conservation Niveau de conduite : Echec	Non-conservation Niveau de conduite : Echec

Tableau 3 : Comparaison à T0 des compétences aux épreuves de conservation des enfants de 9 ans.

A T0, on observe qu'un enfant de 9 ans sur deux par groupe réussi les épreuves de conservation du poids comme de la longueur. (cf. Tableau 3)

Globalement, on constate que l'argumentation pour justifier la conservation se limite à un seul type d'argument pour chaque épreuve. Les deux arguments cités sont l'argument d'identité (donné 5 fois) et de réversibilité (donné 2 fois). Pour l'instant aucun enfant ne parvient à articuler deux types d'arguments.

2.3.2.1.2. Comparaison à T0 des compétences aux épreuves de logique élémentaire

	Sériation (10 baguettes) <i>Niveau attendu : Réussite</i>	Classification (27 cartes) <i>Niveau attendu : Réussite</i>	Inclusion <i>Niveau attendu : Intermédiaire</i>
G ^{pop.exp.} 8 ans	Sériation ordonnée sur base commune (« <i>du plus petit au plus grand</i> ») Niveau de conduite : Réussite	Ne parvient à trouver qu'un seul critère de classement Niveau de conduite : Intermédiaire	Ne parvient ni à trouver le critère d'inclusion de façon spontanée ni à le maintenir. Niveau de conduite : Intermédiaire
M ^{pop.cont.} 8 ans	Sériation ordonnée sur base commune (« <i>du plus petit au plus grand</i> ») Niveau de conduite : Réussite	Ne parvient à trouver qu'un seul critère de classement Niveau de conduite : Intermédiaire	Parvient à trouver le critère d'inclusion spontanément mais pas à le maintenir. Niveau de conduite : Intermédiaire

Tableau 4 : Comparaison à T0 des compétences aux épreuves de logique élémentaire des enfants de 8 ans.

A T0, on observe que la sériation est réussie pour les deux enfants de 8 ans. La classification et l'inclusion sont au stade intermédiaire ce qui est en dessous du niveau de conduite attendu pour la classification mais normal pour l'inclusion. (cf. Tableau 4)

	Sériation (10 baguettes) <i>Niveau attendu : Réussite</i>	Classification (27 cartes) <i>Niveau attendu : Réussite</i>	Inclusion <i>Niveau attendu : Intermédiaire</i>	Transitivité <i>Niveau attendu : Intermédiaire</i>
Z ^{pop.exp.} 9 ans	Sériation ordonnée sur base commune (« <i>du plus petit au plus grand</i> ») Niveau de conduite : Réussite	Ne parvient pas à trouver de critère de classement de façon spontanée et un seul avec aide. Niveau de conduite : Intermédiaire	Ne parvient pas à trouver le critère d'inclusion même avec aide. Niveau de conduite : Echec	Récit chronologique mal ordonné sans aucun connecteur logique Niveau de conduite : Intermédiaire
Al ^{pop.cont.} 9 ans	Sériation ordonnée sur base commune (« <i>du plus petit au plus grand</i> ») Niveau de conduite : Réussite	Trouve deux critères de classement pas le troisième même avec aide. Niveau de conduite : Intermédiaire	Parvient à trouver le critère d'inclusion après aide pas à le maintenir. Niveau de conduite : Intermédiaire	Récit chronologique mal ordonné sans aucun connecteur logique Niveau de conduite : Intermédiaire
C ^{pop.exp.} 9 ans	Sériation ordonnée sur base commune mais ne parvient pas à établir de relation verbale entre elles. Niveau de conduite : Réussite	Trouve deux critères de classement et éprouve d'importantes difficultés pour le dernier. Niveau de conduite : Intermédiaire	Ne parvient pas à trouver le critère d'inclusion même avec aide. Niveau de conduite : Echec	Transitivité non opératoire. Niveau de conduite : Echec
As ^{pop.cont.} 9 ans	Sériation ordonnée sur base commune mais ne parvient pas à établir de relation verbale entre elles. Niveau de conduite : Réussite	Trouve deux critères de classement et éprouve d'importantes difficultés pour le dernier. Niveau de conduite : Intermédiaire	Ne parvient pas à trouver le critère d'inclusion même avec aide. Niveau de conduite : Echec	Transitivité non opératoire. Niveau de conduite : Echec

Tableau 5 : Comparaison à T0 des compétences aux épreuves de logique élémentaire des enfants de 9 ans.

A T0, on observe que l'épreuve de sériation est réussie chez tous les enfants de 9 ans. Le niveau de conduite est intermédiaire aux épreuves de classifications alors qu'il devrait être réussi. L'épreuve d'inclusion est majoritairement échouée sauf pour un des enfants du groupe contrôle qui est au niveau intermédiaire. L'épreuve de transitivité est échouée pour un enfant sur deux. On observe des difficultés en lien avec des défauts d'assimilation de l'aide ou des persévérations (ex : persévération de critère dans l'épreuve de classification) (cf. tableau 5)

Globalement, on constate une argumentation pauvre et une aide verbale non-efficace.

2.3.2.1.3. Comparaison à T0 des compétences aux épreuves d'utilisation du nombre

	Jetons : Dénombrement spontané <i>Niveau attendu :</i> <i>Réussite</i>	Jetons : Principes de Gelman <i>Niveau attendu :</i> <i>Réussite</i>	Poupées <i>Niveau attendu :</i> <i>Réussite</i>	Comparaisons <i>Niveau attendu :</i> <i>Réussite</i>
G ^{pop.exp.} 8 ans	Dénombrement spontané. Niveau de conduite : Réussite	Les principes de Gelman sont acquis. Niveau de conduite : Réussite	Ne parvient pas à modifier la référence pour la nouvelle collection Niveau de conduite : Echec	Réalise de nombreuses erreurs de dénombrement et persévère avec des transgressions de la consigne. Niveau de conduite : Intermédiaire
M ^{pop.cont.} 8 ans	Dénombrement spontané. Niveau de conduite : Réussite	Les principes de Gelman sont acquis. Niveau de conduite : Réussite	Erreurs de dénombrement et difficulté à modifier la référence pour la nouvelle collection Niveau de conduite : Echec	Pas d'erreur de dénombrement mais ne parvient pas à suivre la consigne. Niveau de conduite : Intermédiaire

Tableau 6 : Comparaison à T0 des compétences aux épreuves d'utilisation du nombre des enfants de 8 ans.

A T0, on observe que le dénombrement est spontané et les principes de Gelman acquis (bijection, suite stable, cardinalité et non-pertinence de l'ordre). (cf. Tableau 6)

En revanche il est encore difficile pour les enfants des deux groupes d'utiliser cette compétence de façon opératoire pour compter les éléments d'une collection ou pour manipuler les quantités.

Jetons : Dénombrement spontané <i>Niveau attendu : Réussite</i>		Jetons : Principes de Gelman <i>Niveau attendu : Réussite</i>
Z ^{pop.exp.} 9 ans	Dénombrement spontané. Niveau de conduite : Réussite	Les principes de Gelman sont acquis. Niveau de conduite : Réussite
Al ^{pop.cont.} 9 ans	Dénombrement non spontané. Niveau de conduite : Echec	Les principes de Gelman sont acquis. Niveau de conduite : Réussite
C ^{pop.exp.} 9 ans	Dénombrement non spontané. Niveau de conduite : Echec	La bijection n'est pas acquise et à l'origine de nombreuses erreurs. Niveau de conduite : Intermédiaire
As ^{pop.cont.} 9 ans	Dénombrement non spontané. Niveau de conduite : Echec	Les principes de Gelman sont acquis. Niveau de conduite : Réussite

Tableau 7 : Comparaison à T0 des compétences aux épreuves d'utilisation du nombre des enfants de 9 ans.

A T0, le dénombrement n'est spontané que chez un enfant. Les principes de Gelman sont acquis ou en voie d'acquisition chez trois enfants. (cf. Tableau 7)

2.3.2.1.4. Comparaison T0 des compétences aux épreuves d'origine spatiale

Ficelle : Découpage <i>Niveau attendu : Réussite</i>		Ficelle : Comparaison <i>Niveau attendu : Réussite</i>
G ^{pop.exp.} 8 ans	Découpage en référence au modèle Niveau de conduite : Réussite	Comparaison par coïncidence avec le modèle Niveau de conduite : Réussite
M ^{pop.cont.} 8 ans	Découpage en référence au modèle Niveau de conduite : Réussite	Comparaison par coïncidence avec le modèle Niveau de conduite : Réussite

Tableau 8 : Comparaison à T0 des compétences aux épreuves d'origine spatiale des enfants de 8 ans.

A T0, on observe que les enfants de 8 ans ne présentent aucune difficulté d'orientation spatiale. (cf. Tableau 8)

Bandes de papier : Découpage <i>Niveau attendu : Réussite</i>		Bandes de papier : Comparaison <i>Niveau attendu : Réussite</i>
Z ^{pop.exp.} 9 ans	Découpage en référence au modèle Niveau de conduite : Réussite	Comparaison par coïncidence avec le modèle Niveau de conduite : Réussite
Al ^{pop.cont.} 9 ans	Découpage en référence au modèle Niveau de conduite : Réussite	Comparaison par coïncidence avec le modèle Niveau de conduite : Réussite
C ^{pop.exp.} 9 ans	A besoin de deux découpes Niveau de conduite : Intermédiaire	Comparaison par coïncidence avec le modèle Niveau de conduite : Réussite
As ^{pop.cont.} 9 ans	Découpage sans référence au modèle Niveau de conduite : Echec	Aucune comparaison initiée Niveau de conduite : Echec

Tableau 9 : Comparaison à T0 des compétences aux épreuves d'origine spatiale des enfants de 9 ans.

A T0, un seul des enfants (du groupe contrôle) échoue au découpage et à la comparaison des bandes de papier. (cf. Tableau 9)

2.3.2.1.5. Comparaison à T0 des compétences aux épreuves de connaissances

	Vocabulaire numérique <i>Niveau attendu : Intermédiaire</i>	Numération <i>Niveau attendu : Intermédiaire</i>	Opérations <i>Niveau attendu : Intermédiaire</i>
G ^{pop.exp.} 8 ans	Affirme que « autant » veut dire « plus » et que les nombres recommencent à 0. Niveau de conduite : Intermédiaire	Commet de nombreuses erreurs de lecture. Niveau de conduite : Intermédiaire	Réussi 7 opérations sur 16. Niveau de conduite : Intermédiaire
M ^{pop.cont.} 8 ans	Affirme que « autant » veut dire « plus » et ne connaît pas la notion d'« infini ». Niveau de conduite : Intermédiaire	Commet de nombreuses erreurs de transcription. Niveau de conduite : Intermédiaire	Réussi 10 opérations sur 16. Niveau de conduite : Intermédiaire

Tableau 10 : Comparaison à T0 des compétences aux épreuves de connaissances des enfants de 8 ans.

A T0, on observe chez les deux enfants de 8 ans une méconnaissance du terme « autant » et de la notion d'infini. Par ailleurs la numération est difficile tant en transcription qu'en lecture. L'épreuve permettant d'observer l'accès au sens des opérations montre d'importantes difficultés avec des conduites de persévérations des procédures additives sur les procédures de soustraction et la non-connaissance du sens des multiplications et des divisions. (cf. Tableau 10)

	Vocabulaire numérique <i>Niveau attendu : Réussite</i>	Numération <i>Niveau attendu : Réussite</i>	Opérations <i>Niveau attendu : Réussite</i>
Z ^{pop.exp.} 9 ans	Affirme que « autant » veut dire « plus ». Niveau de conduite : Intermédiaire	2 erreurs de lecture et 2 erreurs de transcription. Niveau de conduite : Intermédiaire	Réussi 14 opérations sur 16. Niveau de conduite : Intermédiaire
Al ^{pop.cont.} 9 ans	Affirme que les nombres recommencent à 0. Niveau de conduite : Intermédiaire	Pas d'erreurs de numération. Niveau de conduite : Réussite.	Réussi 12 opérations sur 16. Niveau de conduite : Intermédiaire
C ^{pop.exp.} 9 ans	Affirme que « autant » veut dire « plus » et ne connaît pas la notion d'« infini ». Niveau de conduite : Intermédiaire	Commet de nombreuses erreurs de lecture et de transcription. Niveau de conduite : Intermédiaire	Réussi 8 opérations sur 16. Niveau de conduite : Intermédiaire
As ^{pop.cont.} 9 ans	Affirme que les nombres s'arrêtent après un milliard. Niveau de conduite : Intermédiaire	Commet de nombreuses erreurs de transcription. Niveau de conduite : Intermédiaire	Réussi 14 opérations sur 16. Niveau de conduite : Intermédiaire

Tableau 11 : Comparaison à T0 des compétences aux épreuves de connaissances des enfants de 9 ans.

A T0, on observe chez les enfants de 9 ans des difficultés de vocabulaire (méconnaissance des termes « autant » et « infini ») mais aussi de transcodage (lecture et écriture des nombres), des difficultés d'accès au sens des opérations en lien avec des erreurs dues à la persévération

de procédures pour les opérations, des erreurs dans la séquenciation des étapes des opérations ou le plaquage des acquis sans prendre en compte la procédure. (cf. Tableau 11)

2.3.2.1.6. Comparaison à T0 des performances au WRAT-R

	WRAT-R (Score)	WRAT-R (Type d'erreurs)
G ^{pop.exp.} 8 ans	-1.5 et	<ul style="list-style-type: none"> • Lenteur importante • Erreurs de retenues • Méconnaissance des faits numériques ou procédures arithmétiques • Incapacité de conversion dans le système métrique et le système des heures • Méconnaissance des règles de multiplication et de division.
M ^{pop.cont.} 8 ans	-1.5 et	<ul style="list-style-type: none"> • Lenteur importante • Persévérance des procédures additives pour les soustractions • Méconnaissance des procédures de multiplication et de division. • Erreurs de retenues • Incapacité de conversion dans le système métrique et le système des heures

Tableau 12 : Comparaison à T0 des performances à l'épreuve du WRAT-R des enfants de 8 ans.

A T0, on observe chez les deux enfants de 8 ans des performances inférieures à la moyenne attendue à leur âge à l'épreuve du WRAT-R. (cf. Tableau 12)

	WRAT-R (Score)	WRAT-R (Type d'erreurs)
Z ^{pop.exp.} 9 ans	-3 et	<ul style="list-style-type: none"> • Lenteur importante • Difficulté de numération (compter de 10 en 10) • Méconnaissance des procédures opératoires soustractives, multiplicatives et de division. • Incapacité de conversion dans le système métrique et le système des heures • Difficultés avec les opérations sur les décimaux
Al ^{pop.cont.} 9 ans	-3 et	<ul style="list-style-type: none"> • Lenteur importante • Méconnaissance des règles opératoires de division. • Incapacité de conversion dans le système métrique et le système des heures • Difficultés avec les opérations sur les décimaux
C ^{pop.exp.} 9 ans	-2 et	<ul style="list-style-type: none"> • Lenteur importante • Méconnaissance des faits numériques ou procédures arithmétiques • Incapacité de conversion dans le système métrique et le système des heures • Difficultés avec les opérations sur les décimaux
		<ul style="list-style-type: none"> • Lenteur importante • Erreurs de retenues

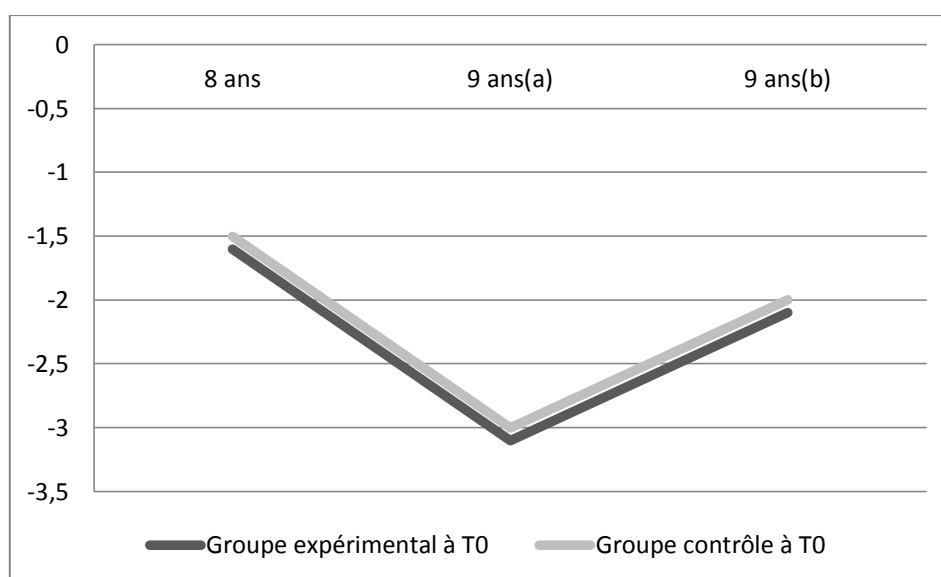
As ^{pop.cont.} 9 ans	-2 et	<ul style="list-style-type: none"> • Méconnaissance des faits numériques ou procédures arithmétiques • Incapacité de conversion dans le système métrique et le système des heures • Méconnaissance des règles de multiplication et de division.
----------------------------------	-------	--

Tableau 13 : Comparaison à T0 des performances à l'épreuve du WRAT-R des enfants de 9 ans.

A T0, on observe chez les enfants de 9 ans des scores de performances largement inférieurs à la moyenne. (cf. Tableau 13) Cette épreuve entraîne une importante fatigabilité chez tous les sujets.

On note que la moyenne des scores au WRAT-R à T0 est égale à -2.17 écart-types pour les deux populations. (cf. Figure 2)

Figure 2 : Scores du WRAT-R pour les deux groupes à T0



➔ A T0, on observe des résultats similaires pour les deux groupes aux épreuves de classification, de sériation, d'inclusion, de conservation de la longueur, d'orientation, de vocabulaire et d'opérations. En revanche on observe un écart pour les épreuves de conservation de la substance et du poids, du dénombrement et des performances en numération. Les processus de classification et d'inclusion sont majoritairement échoués. Les connaissances lexicales et sémantiques du domaine numérique sont elles aussi échouées en regard de l'âge des patients.

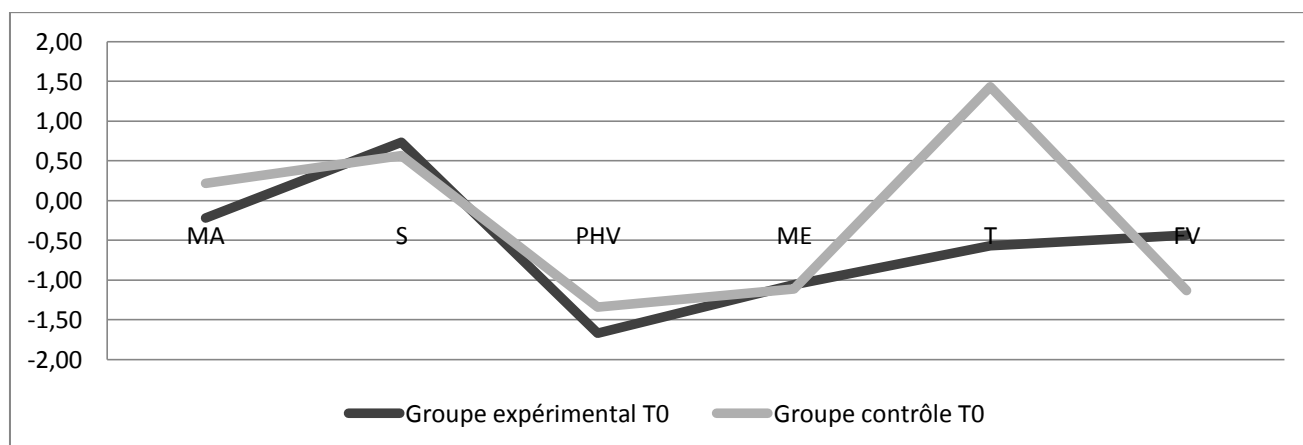
2.3.2.2. Comparaison à T0 des profils exécutifs

	Inhibition : Marche- Arrête	Inhibition : Statue	Flexibilité : Petits Hommes Verts	Flexibilité : Monde à l'envers	Planification : Tour	Planification : Fluidité verbale
G ^{pop.exp.} 8 ans	0,00	0,50	-1,67	-0,67	0,00	0,00
M ^{pop.cont.} 8 ans	0,33	-0,30	-1,67	-0,67	1,00	0,00
Z ^{pop.exp.} 9 ans	-0,33	0,70	-1,67	-0,84	-1,00	-0,30
Al ^{pop.cont.} 9 ans	0,00	0,70	-0,67	-0,67	2,00	-2,70
C ^{pop.exp.} 9 ans	-0,33	1,00	-1,67	-1,67	-0,70	-1,00
As ^{pop.cont.} 9 ans	0,33	1,30	-1,67	-2,00	1,30	-0,70
Moyenne pop. exp	-0,22	0,73	-1,67	-1,06	-0,57	-0,43
Moyenne pop.cont.	0,22	0,57	-1,34	-1,11	1,43	-1,13

Tableau 14 : Résultats aux épreuves d'évaluation du fonctionnement exécutif à T0

A T0, lorsque l'on compare les résultats du groupe expérimental à ceux du groupe contrôle on observe des performances comparables pour les épreuves d'inhibition (performances dans la moyenne) et de flexibilité (performances inférieures à la moyenne). Le groupe contrôle se distingue du groupe expérimental par des performances supérieures à l'épreuve de la Tour de la NEPSY (réussite très supérieure d'un des sujets). On constate des difficultés importantes aux épreuves de flexibilité (Petits Hommes Verts et Monde à l'envers). (cf. Tableau 14 et Figure 3)

Figure 3 : Graphique des scores aux épreuves du fonctionnement exécutif à T0



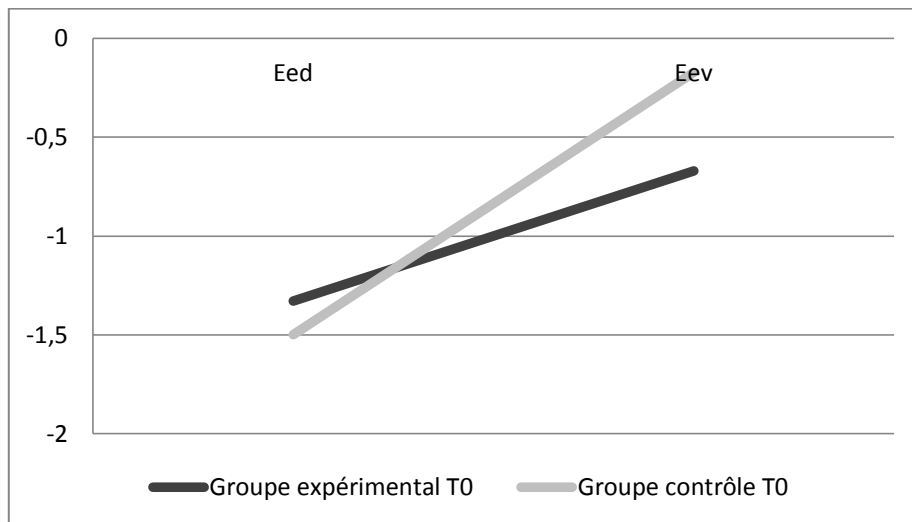
2.3.2.3. Comparaison à T0 des compétences mnésiques

	Mémoire verbale à court terme : Empan endroit	Mémoire de travail : Empan envers
G ^{pop.exp.} 8 ans	0	-1
M ^{pop.cont.} 8 ans	-1,5	0
Z ^{pop.exp.} 9 ans	-1	-0,5
Al ^{pop.cont.} 9 ans	-1	-0,5
C ^{pop.exp.} 9 ans	-3	-0,5
As ^{pop.cont.} 9 ans	-2	0
Moyenne pop. exp	-1,33	-0,67
Moyenne pop.cont.	-1,5	-0,17

Tableau 15 : Résultats aux épreuves mnésiques à T0

A T0, on observe pour les deux groupes d'importantes difficultés en mémoire immédiate (score inférieur à la moyenne) et des scores faibles en mémoire de travail (score dans la moyenne basse). (cf. Tableau 15 et Figure 4)

Figure 4 : Graphique des scores aux épreuves mnésiques à T0



2.3.2.4. Comparaison à T0 des profils visuo-spatiaux

Copie de figure	
G ^{pop.exp.} 8 ans	0.3
M ^{pop.cont.} 8 ans	-0.7
Z ^{pop.exp.} 9 ans	-1.3
Al ^{pop.cont.} 9 ans	-0.7
C ^{pop.exp.} 9 ans	-0.3
As ^{pop.cont.} 9 ans	0
Moyenne pop. exp	-0.43
Moyenne pop.cont.	-0.46

Tableau 16 : Résultats obtenus à l'épreuve de Copie de figure à T0

A T0, l'épreuve de Copie de Figures met en évidence des résultats dans la moyenne basse ou inférieurs à celle-ci dans les deux groupes. (cf. Tableau 16)

2.3.3. Comparaison à T1 des profils des groupes

2.3.3.1. Comparaison à T1 des profils numériques

2.3.3.1.1. Comparaison à T1 des compétences aux épreuves de conservation

	Conservation de la Substance <i>Niveau attendu : Réussite</i>	Conservation de la Longueur <i>Niveau attendu : Réussite</i>
G ^{pop.exp.} 8 ans	Argument de conservation d'identité et de réversibilité Niveau de conduite : Réussite	Argument de conservation de réversibilité Niveau de conduite : Réussite
M ^{pop.cont.} 8 ans	Argument de réversibilité Niveau de conduite : Réussite	Argument de conservation d'identité Niveau de conduite : Réussite

Tableau 17 : Comparaison à T1 des compétences aux épreuves de conservation des enfants de 8 ans.

A T1, on observe que les épreuves de conservation sont réussies pour les deux enfants. De plus, on observe la présence d'une double argumentation chez le sujet expérimental. (cf. Tableau 17)

	Conservation du Poids <i>Niveau attendu : Réussite</i>	Conservation de la Longueur <i>Niveau attendu : Réussite</i>
Z ^{pop.exp.} 9 ans	Argument de conservation de réversibilité Niveau de conduite : Réussite	Argument de conservation d'identité Niveau de conduite : Réussite
Al ^{pop.cont.} 9 ans	Argument de conservation d'identité. Niveau de conduite : Réussite	Argument de conservation de réversibilité Niveau de conduite : Réussite
C ^{pop.exp.} 9 ans	Argument de conservation d'identité Niveau de conduite : Réussite	Argument de conservation d'identité Niveau de conduite : Réussite
As ^{pop.cont.} 9 ans	Non-conservation Niveau de conduite : Echec	Accepte la contre suggestion Niveau de conduite : Intermédiaire

Tableau 18 : Comparaison à T1 des compétences aux épreuves de conservation des enfants de 9 ans.

A T1, on observe que seul un enfant échoue les épreuves de conservation. (cf. Tableau 18)

L'argumentation se limite encore à un seul type d'argument pour les enfants de 9 ans. Les deux arguments cités sont l'argument d'identité (donné 6 fois) et de réversibilité (donné 5 fois). Un seul des enfants parvient à articuler deux arguments.

2.3.3.1.2. Comparaison à T1 des compétences aux épreuves de logique élémentaire

	Sériation (10 baguettes) <i>Niveau attendu : Réussite</i>	Classification (27 cartes) <i>Niveau attendu : Réussite</i>	Inclusion <i>Niveau attendu : Intermédiaire</i>
G ^{pop.exp.} 8 ans	Sériation ordonnée sur base commune (« du plus petit au plus grand ») Niveau de conduite : Réussite	Parvient à trouver deux critères de classement spontanément et le troisième avec aide. Niveau de conduite : Réussite	Ne parvient ni à trouver le critère d'inclusion de façon spontanée ni à le maintenir. Niveau de conduite : Intermédiaire
M ^{pop.cont.} 8 ans	Sériation ordonnée sur base commune (« du plus petit au plus grand ») Niveau de conduite : Réussite	Ne parvient à trouver qu'un seul critère de classement Niveau de conduite : Intermédiaire	Parvient à trouver le critère d'inclusion après aide mais pas à le maintenir. Niveau de conduite : Intermédiaire

Tableau 19 : Comparaison à T1 des compétences aux épreuves de logique élémentaire des enfants de 8 ans.

A T1, on observe que la sériation est réussie pour les deux enfants de 8 ans. La classification est réussie chez le sujet expérimental alors qu'elle est au niveau intermédiaire chez le sujet témoin. L'inclusion est au niveau intermédiaire. (cf. Tableau 19)

	Sériation (10 baguettes) <i>Niveau attendu : Réussite</i>	Classification (27 cartes) <i>Niveau attendu : Réussite</i>	Inclusion <i>Niveau attendu : Intermédiaire</i>	Transitivité <i>Niveau attendu : Intermédiaire</i>
Z ^{pop.exp.} 9 ans	Sériation ordonnée sur base commune (« du plus petit au plus grand ») Niveau de conduite : Réussite	Détermine deux classements spontanément et le troisième avec aide. Niveau de conduite : Réussite	Trouve spontanément le critère générique. Niveau de conduite : Réussite	Récit chronologique mal ordonné sans aucun connecteur logique Niveau de conduite : Intermédiaire
Al ^{pop.cont.} 9 ans	Sériation ordonnée sur base commune (« du plus petit au plus grand ») Niveau de conduite : Réussite	Détermine les trois critères de classement. Niveau de conduite : Réussite	Parvient à trouver le critère d'inclusion après aide pas à le maintenir. Niveau de conduite : Intermédiaire	Récit chronologique mal ordonné sans aucun connecteur logique Niveau de conduite : Intermédiaire
C ^{pop.exp.} 9 ans	Sériation ordonnée sur base commune mais ne parvient pas à établir de relation verbale entre elles. Niveau de conduite : Réussite	Trouve deux critères de classement et éprouve d'importantes difficultés pour le dernier. Niveau de conduite : Intermédiaire	Trouve le critère générique et le maintien. Niveau de conduite : Réussite	Récit chronologique mal ordonné sans aucun connecteur logique Niveau de conduite : Intermédiaire
As ^{pop.cont.} 9 ans	Sériation ordonnée sur base commune mais ne parvient pas à établir de relation verbale entre elles. Niveau de conduite : Réussite	Trouve deux critères de classement et éprouve d'importantes difficultés pour le dernier. Niveau de conduite : Intermédiaire	Parvient à trouver le critère d'inclusion après aide pas à le maintenir. Niveau de conduite : Intermédiaire	Transitivité non opératoire. Niveau de conduite : Echec

Tableau 20 : Comparaison à T1 des compétences aux épreuves de logique élémentaire des enfants de 9 ans.

A T1, on observe que l'épreuve de sériation est réussie chez tous les enfants de 9 ans. Le niveau de conduite est intermédiaire pour deux enfants aux épreuves de classification. Les niveaux de conduite à l'épreuve d'inclusion sont en accord avec ce qui est attendu. L'épreuve de transitivité est échouée pour un seul des enfants. (cf. Tableau 20)

2.3.3.1.3. Comparaison à T1 des compétences aux épreuves d'utilisation du nombre

	Jetons : Dénombrement spontané <i>Niveau attendu : Réussite</i>	Jetons : Principes de Gelman <i>Niveau attendu : Réussite</i>	Poupées <i>Niveau attendu : Réussite</i>	Comparaisons <i>Niveau attendu : Réussite</i>
G ^{pop.exp.} 8 ans	Dénombrement spontané. Niveau de conduite : Réussite	Les principes de Gelman sont acquis. Niveau de conduite : Réussite	Modifie correctement la référence. Niveau de conduite : Réussite	Les modifications et transformations sont conformes à la consigne. Niveau de conduite : Réussite
M ^{pop.cont.} 8 ans	Dénombrement spontané. Niveau de conduite : Réussite	Les principes de Gelman sont acquis. Niveau de conduite : Réussite	Modifie correctement la référence. Niveau de conduite : Réussite	Les modifications et transformations sont conformes à la consigne. Niveau de conduite : Réussite

Tableau 21 : Comparaison à T1 des compétences aux épreuves d'utilisation du nombre des enfants de 8 ans.

A T1, on observe que pour les enfants de 8 ans le dénombrement est spontané et les principes de Gelman acquis (bijection, suite stable, cardinalité et non-pertinence de l'ordre). L'idée de l'utilisation du dénombrement et son application correcte permet aux sujets de réussir les épreuves d'utilisation du nombre. (cf. Tableau 21)

	Jetons : Dénombrement spontané <i>Niveau attendu : Réussite</i>	Jetons : Principes de Gelman <i>Niveau attendu : Réussite</i>
Z ^{pop.exp.} 9 ans	Dénombrement spontané. Niveau de conduite : Réussite	Les principes de Gelman sont acquis. Niveau de conduite : Réussite
Al ^{pop.cont.} 9 ans	Dénombrement spontané. Niveau de conduite : Réussite	Les principes de Gelman sont acquis. Niveau de conduite : Réussite
C ^{pop.exp.} 9 ans	Dénombrement non spontané. Niveau de conduite : Echec	Les principes de Gelman sont acquis. Niveau de conduite : Réussite
As ^{pop.cont.} 9 ans	Dénombrement non spontané. Niveau de conduite : Echec	Les principes de Gelman sont acquis. Niveau de conduite : Réussite

Tableau 22 : Comparaison à T1 des compétences aux épreuves d'utilisation du nombre des enfants de 9 ans.

A T1, le dénombrement n'est spontané que chez deux enfants. Les principes de Gelman sont acquis pour tous les enfants. (cf. Tableau 22).

2.3.3.1.4. Comparaison à T1 des compétences aux épreuves d'origine spatiale

Ficelle : Découpage <i>Niveau attendu : Réussite</i>		Ficelle : Comparaison <i>Niveau attendu : Réussite</i>
G ^{pop.exp.} 8 ans	Découpage en référence au modèle Niveau de conduite : Réussite	Comparaison par coïncidence avec le modèle Niveau de conduite : Réussite
M ^{pop.cont.} 8 ans	Découpage en référence au modèle Niveau de conduite : Réussite	Comparaison par coïncidence avec le modèle Niveau de conduite : Réussite

Tableau 23 : Comparaison à T1 des compétences aux épreuves d'origine spatiale des enfants de 8 ans.

A T1, on observe que les enfants de 8 ans ne présentent aucune difficulté d'orientation spatiale. (cf. Tableau 23)

Bandes de papier : Découpage <i>Niveau attendu : Réussite</i>		Bandes de papier : Comparaison <i>Niveau attendu : Réussite</i>
Z ^{pop.exp.} 9 ans	Découpage en référence au modèle Niveau de conduite : Réussite	Comparaison par coïncidence avec le modèle Niveau de conduite : Réussite
AI ^{pop.cont.} 9 ans	Découpage en référence au modèle Niveau de conduite : Réussite	Comparaison par coïncidence avec le modèle Niveau de conduite : Réussite
C ^{pop.exp.} 9 ans	Découpage en référence au modèle Niveau de conduite : Réussite	Comparaison par coïncidence avec le modèle Niveau de conduite : Réussite
As ^{pop.cont.} 9 ans	Découpage sans référence au modèle Niveau de conduite : Echec	Aucune comparaison initiée Niveau de conduite : Echec

Tableau 24 : Comparaison à T1 des compétences aux épreuves d'origine spatiale des enfants de 9 ans.

A T1, un seul des enfants (du groupe contrôle) échoue au découpage et à la comparaison des bandes de papier. (cf. Tableau 24)

2.3.3.1.5. Comparaison à T1 des compétences aux épreuves de connaissances

	Vocabulaire numérique <i>Niveau attendu : Intermédiaire</i>	Numération <i>Niveau attendu : Intermédiaire</i>	Opérations <i>Niveau attendu : Intermédiaire</i>
G ^{pop.exp.} 8 ans	Affirme que « autant » veut dire « plus » Niveau de conduite : Intermédiaire	Ne commet aucune erreur Niveau de conduite : Réussite	Réussi 11 opérations sur 16. Niveau de conduite : Intermédiaire
M ^{pop.cont.} 8 ans	Affirme que « autant » veut dire « plus » et ne connaît pas la notion d' « infini ». Niveau de conduite : Intermédiaire	Commets deux erreurs de lecture. Niveau de conduite : Intermédiaire	Réussi 9 opérations sur 16. Niveau de conduite : Intermédiaire

Tableau 25 : Comparaison à T1 des compétences aux épreuves de connaissances des enfants de 8 ans.

A T1, on observe chez les deux enfants de 8 ans une méconnaissance du terme « autant ». Le sujet expérimental connaît la notion d'infini et ne fait aucune erreur de transcription ou de

lecture. Le sujet contrôle éprouve des difficultés pour le sens des opérations en lien avec des persévérations de procédures (additives) et des difficultés pour les soustractions impliquant une retenue. Le sujet expérimental parvient à exprimer les procédures d'addition et de soustraction sans erreurs. Le sens de la multiplication et de la division n'est pas acquis. (cf. tableau 25)

	Vocabulaire numérique <i>Niveau attendu : Réussite</i>	Numération <i>Niveau attendu : Réussite</i>	Opérations <i>Niveau attendu : Réussite</i>
Z ^{pop.exp.} 9 ans	Affirme que « autant » veut dire « plus ». Niveau de conduite : Intermédiaire	Pas d'erreurs de numération. Niveau de conduite : Réussite.	Réussi 14 opérations sur 16. Niveau de conduite : Intermédiaire
AI ^{pop.cont.} 9 ans	Niveau de conduite : Réussite	Pas d'erreurs de numération. Niveau de conduite : Réussite.	Réussi 11 opérations sur 16. Niveau de conduite : Intermédiaire
C ^{pop.exp.} 9 ans	Affirme que « autant » veut dire « plus ». Niveau de conduite : Intermédiaire	Pas d'erreurs de numération. Niveau de conduite : Réussite.	Réussi 11 opérations sur 16. Niveau de conduite : Intermédiaire
As ^{pop.cont.} 9 ans	Affirme que les nombres s'arrêtent après un milliard. Niveau de conduite : Intermédiaire	Pas d'erreurs de numération. Niveau de conduite : Réussite.	Réussi 9 opérations sur 16. Niveau de conduite : Intermédiaire

Tableau 26 : Comparaison à T1 des compétences aux épreuves de connaissances des enfants de 9 ans.

A T1, on observe chez les enfants de 9 ans des difficultés de vocabulaire (méconnaissance des termes « autant » et « infini ») et pas de difficultés de transcoding. (cf. Tableau 26)

Les enfants du groupe expérimental font preuve d'autocritique des procédures et de correction spontanée. L'appui sur les faits arithmétiques instables a fortement diminué. Il n'y a pas de persévérations procédurales.

Les enfants du groupe contrôle montrent d'importantes difficultés avec le maintien de procédures non efficaces et des difficultés de séquenciation.

2.3.3.1.6. Comparaison à T1 des performances au WRAT-R

	WRAT-R (Score)	WRAT-R (Type d'erreurs)
G ^{pop.exp.} 8 ans	-0.5 et	<ul style="list-style-type: none"> • Lenteur • Erreurs de retenues • Incapacité de conversion dans le système métrique et le système des heures • Méconnaissance des règles de multiplication et de division.
M ^{pop.cont.} 8 ans	-1 et	<ul style="list-style-type: none"> • Lenteur importante • Méconnaissance procédures de multiplication et de division. • Erreurs de retenues • Incapacité de conversion dans le système métrique et le système des heures

Tableau 27 : Comparaison à T1 des performances à l'épreuve du WRAT-R des enfants de 8 ans.

A T1, on observe chez les deux enfants de 8 ans des performances inférieures à la moyenne attendue à leur âge à l'épreuve du WRAT-R. Le sujet expérimental est légèrement plus rapide que le sujet contrôle ce qui accentue l'écart de performances. (cf. Tableau 27)

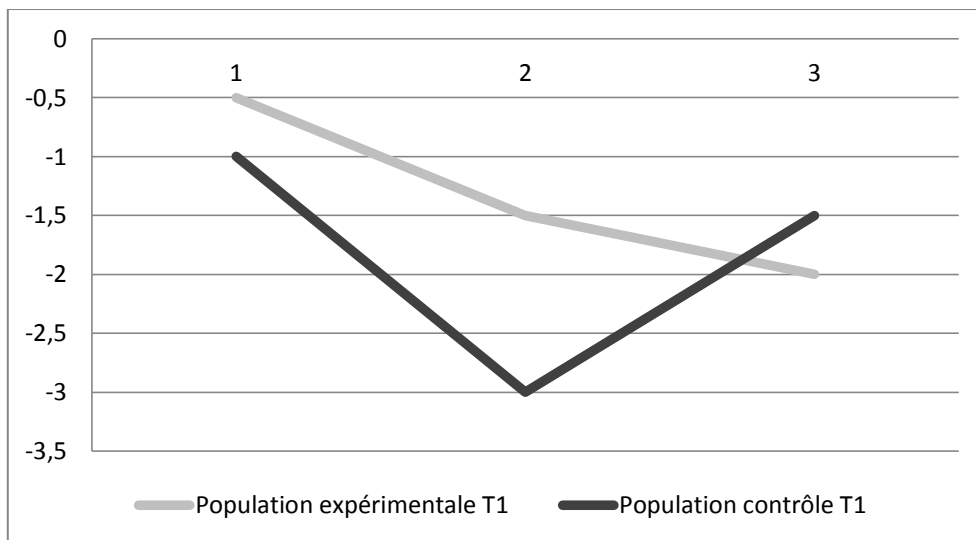
	WRAT-R (Score)	WRAT-R (Type d'erreurs)
Z ^{pop.exp.} 9 ans	-1,5 et	<ul style="list-style-type: none"> • Lenteur • Méconnaissance des procédures opératoires soustractives, multiplicatives et de division. • Incapacité de conversion dans le système métrique et le système des heures
Al ^{pop.cont.} 9 ans	-3 et	<ul style="list-style-type: none"> • Lenteur importante • Méconnaissance des règles opératoires de division. • Incapacité de conversion dans le système métrique et le système des heures • Difficultés avec les opérations sur les décimaux
C ^{pop.exp.} 9 ans	-2 et	<ul style="list-style-type: none"> • Lenteur importante • Méconnaissance des faits numériques ou procédures arithmétiques • Incapacité de conversion dans le système métrique et le système des heures • Difficultés avec les opérations sur les décimaux
As ^{pop.cont.} 9 ans	-1,5 et	<ul style="list-style-type: none"> • Lenteur importante • Erreurs de retenues • Méconnaissance des faits numériques ou procédures arithmétiques • Incapacité de conversion dans le système métrique et le système des heures • Méconnaissance des règles de multiplication et de division.

Tableau 28 : Comparaison à T1 des performances à l'épreuve du WRAT-R des enfants de 9 ans.

A T1, on observe chez les enfants de 9 ans des scores de performances inférieurs à la moyenne. Cependant on observe une amélioration des scores des sujets expérimentaux. (cf. Tableau 28)

Les performances à l'épreuve du WRAT-R à T1 sont majoritairement supérieures pour le groupe expérimental par rapport au groupe contrôle pour deux des enfants. (cf. Figure 5)

Figure 5 : Comparaison des résultats au WRAT-R à T1



→A T1, les épreuves des compétences et performances numériques de l'UDN-II et du WRAT-R mettent en évidence une réussite majoritaire du groupe expérimental aux épreuves de classification, de conservations (de la substance, du poids et de la longueur), d'orientation et de dénombrement. Les performances lexicales et sémantiques sont identiques pour les deux groupes.

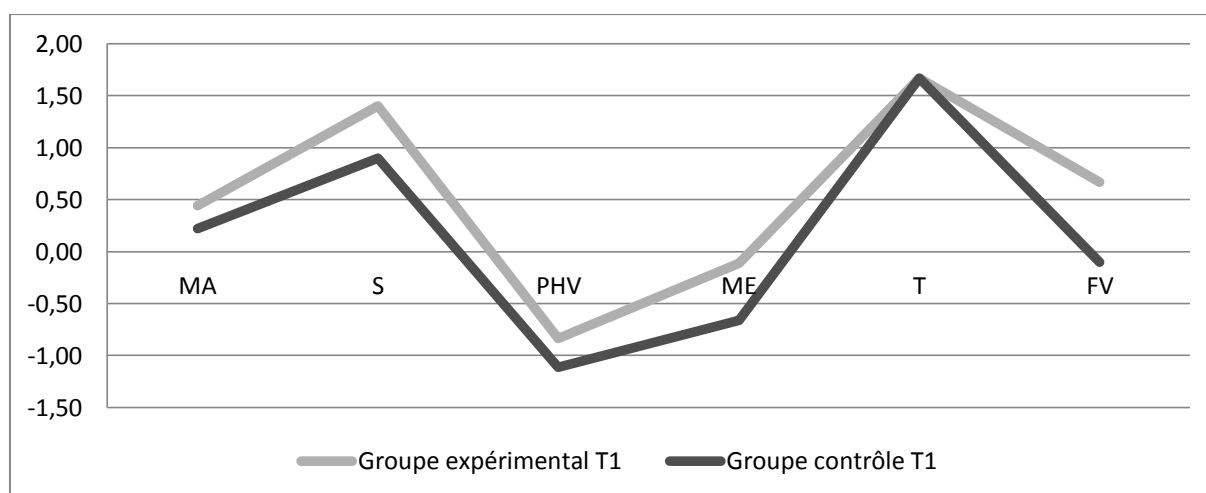
2.3.3.2. Comparaison à T1 des profils exécutifs

	Inhibition : Marche- Arrête	Inhibition : Statue	Flexibilité : Petits Hommes Verts	Flexibilité : Monde à l'envers	Planification : Tour	Planification : Fluidité verbale
G ^{pop.exp.} 8 ans	0,67	1,7	0,16	0,5	2	1
M ^{pop.cont.} 8 ans	0,33	0	-1,67	-1,33	1,33	0
Z ^{pop.exp.} 9 ans	0,33	1,5	-1	0,5	1,67	1
Al ^{pop.cont.} 9 ans	0	1,7	-1	-0,33	2	-0,3
C ^{pop.exp.} 9 ans	0,33	1	-1,67	-1,33	1,33	0
As ^{pop.cont.} 9 ans	0,33	1	-0,67	-0,33	1,67	0
Moyenne pop. exp	0,44	1,4	-0,84	-0,11	1,67	0,67
Moyenne pop.cont.	0,22	0,9	-1,11	-0,66	1,67	-0,1

Tableau 29 : Résultats aux épreuves d'évaluation du fonctionnement exécutif à T1

A T1, on observe globalement des scores comparables pour les deux groupes. (cf. Tableau 29) Les résultats moyens de la population expérimentales sont cependant supérieurs à ceux de la population contrôle. (cf. Figure 6)

Figure 6 : Graphique des résultats moyens des deux populations aux épreuves du fonctionnement exécutif à T1



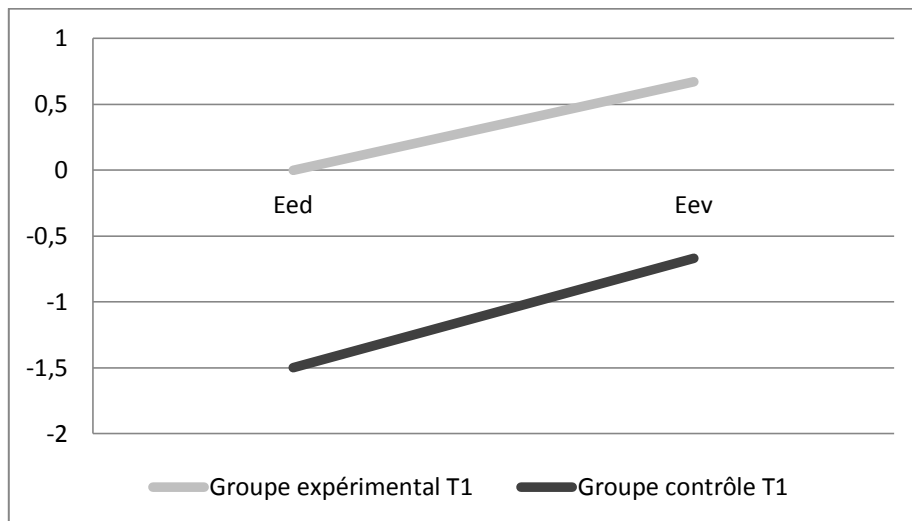
2.3.3.3. Comparaison à T1 des compétences mnésiques

	Mémoire verbale à court terme : Empan endroit	Mémoire de travail : Empan envers
G ^{pop.exp.} 8 ans	0	0
M ^{pop.cont.} 8 ans	-1,5	-1
Z ^{pop.exp.} 9 ans	1	2
Al ^{pop.cont.} 9 ans	-1	-0,5
C ^{pop.exp.} 9 ans	-1	0
As ^{pop.cont.} 9 ans	-2	-0,5
Moyenne pop. exp	0	0,67
Moyenne pop.cont.	-1,50	-0,67

Tableau 30 : Résultats aux épreuves mnésiques à T1

A T1, on observe une normalisation des scores pour le groupe expérimental alors que le groupe contrôle garde des performances basses. (cf. tableau 30 et Figure 7)

Figure 7 : Graphique des scores aux épreuves mnésiques à T1



2.3.3.4. Comparaison à T1 des profils visuo-spatiaux

	Copie de figure
G ^{pop.exp.} 8 ans	1.3
M ^{pop.cont.} 8 ans	-1.3
Z ^{pop.exp.} 9 ans	-1.3
Al ^{pop.cont.} 9 ans	0
C ^{pop.exp.} 9 ans	0
As ^{pop.cont.} 9 ans	-1
Moyenne pop. exp	0
Moyenne pop.cont.	-0.77

Tableau 31 : Résultats obtenus à l'épreuve de Copie de figure à T1

A T1, les enfants du groupe expérimental obtiennent des résultats supérieurs à ceux du groupe contrôle à l'épreuve de Copie de Figure. (cf. Tableau 31)

2.3.4. Effets de la remédiation cognitive des fonctions exécutives

2.3.4.1. Evolution des scores aux évaluations des compétences et performances numériques entre T0 et T1

	G pop.exp. 8 ans	M pop.cont. 8 ans	Z pop.exp. 9 ans	AI pop.cont. 9 ans	C pop.exp. 9 ans	As pop.cont. 9 ans
UDN2						
Classification	+	=	+	=	=	=
Sérialisation	=	=	=	+	=	=
Inclusion	=	=	+	=	+	+
Transitivité	X	X	=	=	+	=
Conservation						
<i>Substance</i>	+	+	X	X	X	X
<i>Poids</i>	X	X	+	=	=	=
<i>Longueur</i>	=	=	+	=	=	+
Orientation	=	=	=	=	+	=
Connaissances						
<i>Vocabulaire</i>	=	=	=	+	=	=
<i>Numération</i>	+	=	+	=	+	+
<i>Opérations</i>	=	=	=	=	=	=
Jetons						
<i>Dénombrement.</i>	=	=	=	+	=	=
<i>Ppes de Gelman</i>	=	=	=	=	+	=
Poupées	+	+	X	X	X	X
Comparaisons	+	+	X	X	X	X
WRAT	+	+	+	=	=	+

Tableau 32 : Evolution des niveaux de conduites entre T0 et T1

+ correspond à une évolution positive, = à un maintien d'un niveau et X signifie non réalisée

Entre T0 et T1, on observe une **progression importante du groupe expérimental pour les épreuves d'inclusion**. En revanche, le groupe expérimental a peu progressé par rapport au groupe contrôle au niveau des compétences logico-mathématiques. L'évolution des niveaux de conduite pour les autres épreuves ne permet pas d'établir de différence marquée entre les deux groupes. (cf. Tableau 32)

	Moyenne à T0	Moyenne à T1	Ecart
Groupe expérimental	-2,17	-1,33	0,83
Groupe contrôle	-2,17	-1,83	0,33

Tableau 33 : Comparaison des moyennes au WRAT-R des deux populations entre T0 et T1

Figure 8 : Evolution des résultats du groupe expérimental entre T0 et T1 au WRAT-R

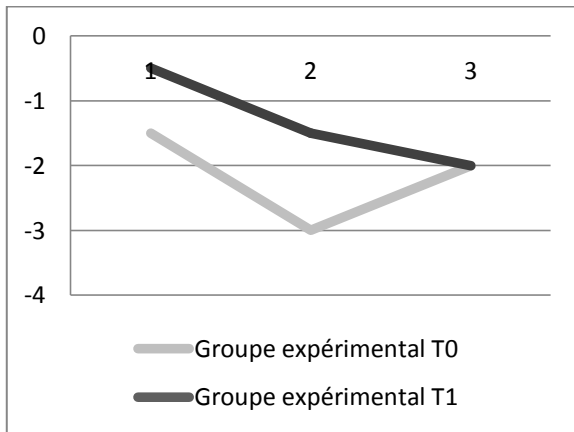
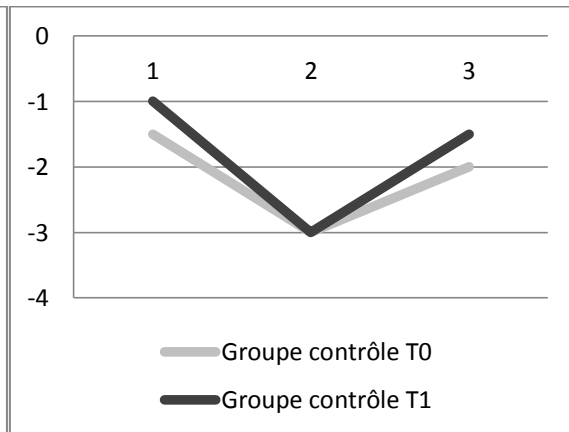


Figure 9 : Evolution des résultats du groupe contrôle entre T0 et T1 au WRAT-R



Néanmoins, on observe **une importante progression des performances au WRAT-R** (cf. Figures 8 et 9) avec une progression moyenne à l'épreuve du WRAT-R de **+0.83 pour le groupe expérimental** alors qu'elle n'est que de **+0.33** et pour la population contrôle. (cf. Tableau 3)

2.3.4.2. Evolution des scores aux évaluations du fonctionnement exécutif entre T0 et T1

Figure 10 : Graphique de l'évolution moyenne des scores du groupe expérimental de T0 à T1

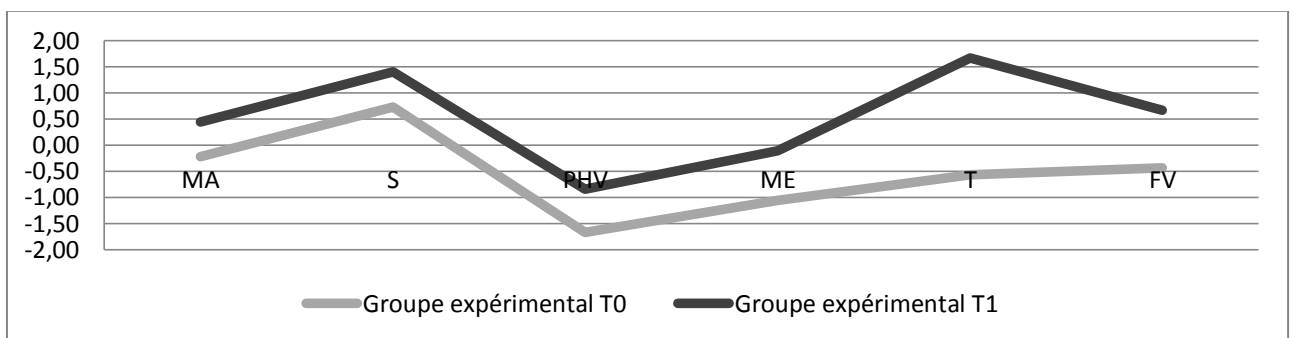
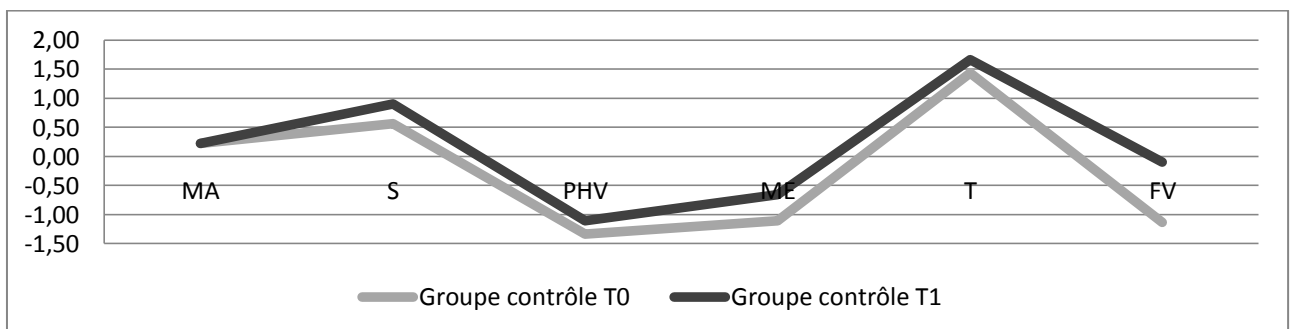


Figure 11 : Graphique de l'évolution moyenne des scores du groupe contrôle de T0 à T1



Entre T0 et T1, on observe **une progression moyenne, de +1.07 et, des performances aux épreuves du fonctionnement exécutif pour la population expérimentale**. La population contrôle quant à elle présente une progression moyenne de +0.38 et. (cf. Figures 10 et 11)

2.3.4.3. Evolution des scores mnésiques entre T0 et T1

Figure 12 : Evolution des scores aux épreuves mnésiques entre T0 et T1 du groupe expérimental

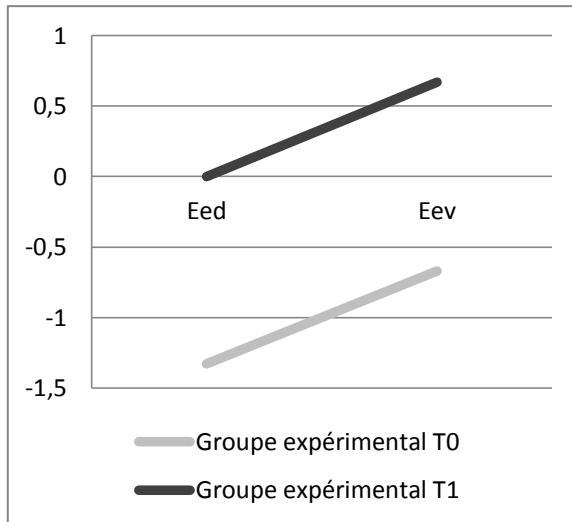
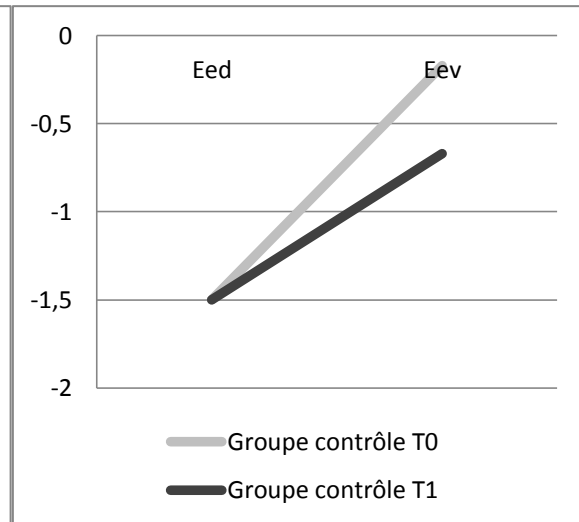


Figure 13 : Evolution des scores aux épreuves mnésiques entre T0 et T1 du groupe contrôle



Entre T0 et T1 on observe une **nette amélioration des capacités mnésiques** (mémoire verbale et mémoire de travail) **chez la population expérimentale** avec une progression moyenne de +1,13 et contre - 0.25 et pour la population contrôle. (cf. Figures 12 et 13)

2.3.4.4. Evolution des scores visuo- spatiaux entre T0 et T1

	Moyenne à T0	Moyenne à T1	Ecart
Population expérimentale	-0,43	0	0,43
Population contrôle	-0,46	-0,77	-0,31

Tableau 34 : Comparaison des moyennes à l'épreuve Copie de Figures

Entre T0 et T1, on **observe une progression moyenne de +0,43 et pour la population expérimentale** et de -0,31 et pour la population contrôle. (cf. Tableau 34)

2.3.5. Evaluation qualitative du protocole de remédiation

Dans notre étude, 4 enfants ont bénéficié de l'entraînement des fonctions exécutives. L'analyse quantitative des résultats permet d'apprécier une différence entre les performances des deux groupes. Cependant elle ne rend compte ni de l'évolution des enfants du groupe expérimental dans la réalisation des différentes épreuves (numériques, exécutives et visuo-spatiales), ni de leur évolution au cours de la remédiation en elle-même. C'est pourquoi nous souhaitons exposer nos observations personnelles concernant l'évolution des comportements des enfants devant les différentes épreuves et exercices qui leur ont été proposés.

La variété des exercices et leur aspect ludique ont permis d'entretenir l'intérêt et la motivation des sujets pendant les séances de remédiation. Les échanges autour de ces activités ont permis d'établir une relation thérapeutique basée sur des échanges de qualité.

Les contraintes posées par les différents exercices comme la nécessité de maintien d'une consigne, de changements de règles ou d'inhibition de réponses automatiques ont, au fur et à mesure des séances, pu être contournées par la mise en place de stratégies de temporisation ou de verbalisation spontanée pour un des sujets. Nous avons encouragé les enfants à nous expliquer leurs « **méthodes pour réussir** » : (verbalisation ex : « *Si je parle ça m'aide à me souvenir* », « *J'invente une chanson pour me souvenir* »; temporisation ex : « *Si je regarde bien avant je me trompe moins* », « *Je dis le mot dans ma tête avant pour ne pas me tromper* ») et les raisons **des « méthodes qui ne marchent pas »** (poser les cartes très vite ex : « *Si je vais trop vite je me trompe* », pensée magique ex : « *Avoir ma couleur préférée ne m'aide pas à gagner* ») . Ces stratégies ont pu être observées par la suite lors des épreuves de re-test. Les enfants du groupe contrôle ont, par exemple, pris le temps de vérifier leurs réponses, de se répéter mentalement les éléments plusieurs fois avant de les restituer.

Les enfants ont fait part de leur plaisir et de leur intérêt pour ces différents exercices. Il est arrivé plusieurs fois qu'ils demandent à recommencer les différents exercices. Certains parents ont aussi rapporté de légères « améliorations » du point de vue de la « concentration » mais il est délicat de faire un réel lien avec l'entraînement des fonctions exécutives.

3. Analyse des résultats

3.1. Rappel des objectifs

L'objectif de notre étude était **d'évaluer l'efficacité d'un entraînement des fonctions exécutives chez les enfants de 7 à 11 ans présentant des troubles du calcul et du raisonnement logico-mathématique**. Nous voulions par ailleurs **évaluer les corrélations entre les principales fonctions exécutives et les compétences sous-jacentes à l'acquisition et l'utilisation du nombre**.

3.2. Rappel des résultats

Les enfants « dyscalculiques » suivis lors de notre étude présentent un fonctionnement exécutif avec des compétences hétérogènes. On observe un **niveau inférieur à la moyenne pour les capacités de flexibilité et de mémoire de travail par rapport à une population saine du même âge**.

A T0, les deux groupes étaient **globalement appariés dans leurs profils numériques, exécutifs et visuo-spatiaux**.

Les compétences exécutives des sujets ayant bénéficié de l'entraînement des fonctions exécutives ont suivi **une progression globale moyenne de +1.07** et alors que celle du groupe contrôle est de +0.38 et.

A l'issue de l'entraînement des fonctions exécutives, l'évaluation des compétences numériques n'a pu permettre d'établir clairement une évolution en lien avec cet entraînement même si certaines améliorations ont pu être constatées. L'évaluation des performances numériques (WRAT-R) a, quant à elle, permis de mettre en évidence une **progression moyenne de +0.83** pour le groupe expérimental alors qu'elle n'est que de +0.33 et pour le groupe contrôle.

Nous avons également pu observer une évolution des résultats numériques, exécutifs et visuo-spatiaux du groupe contrôle entre T0 et T1.

3.3. Discussion des résultats

⇒ Efficacité de l'entraînement des fonctions exécutives.

Dans notre étude, **les performances des enfants ayant suivi l'entraînement des fonctions exécutives se sont globalement améliorées au niveau des performances mathématiques et du fonctionnement exécutif et mnésique.** On a ainsi observé une importante amélioration des capacités de flexibilité et de planification. Qualitativement, les enfants du groupe expérimental parviennent désormais à **mieux mobiliser leur attention et ce de façon prolongée, à maintenir les consignes en mémoire et à inhiber des stratégies inefficaces.**

Il est intéressant d'observer que nos données d'évaluations initiales corroborent l'étude de Bull et Scerif (Bull et Scérif, 1999) selon laquelle les enfants les moins performants en mathématiques présenteraient de faibles capacités exécutives avec des difficultés d'inhibition de stratégies nouvelles, une lenteur importante pour les tâches nécessitant l'intervention de la mémoire de travail, d'importantes difficultés de flexibilité ainsi que de génération de stratégies et de régulation de celles-ci.

En revanche il n'existe pas à notre connaissance d'étude ayant évalué l'efficacité d'un entraînement des fonctions exécutives sur les compétences et les performances numériques.

⇒ Influence du type de remédiation cognitive sur les fonctions exécutives.

Nous avons choisi de proposer un entraînement faisant intervenir le principe de « plasticité cérébrale » (Anderson, Winocur et Palmer, 2003). Nous avons fait l'hypothèse qu'un entraînement des principales fonctions exécutives combinant des stratégies « bottom-up » et « top-down » permettrait, par réorganisation fonctionnelle, l'acquisition d'une « mobilité de pensée » nécessaire à l'acquisition et à l'utilisation du nombre.

Une progression globale du fonctionnement exécutif a pu être observée avec notamment une amélioration des capacités de flexibilité et de planification.

Nous avons vu dans l'introduction que la distinction de composantes du fonctionnement exécutif avait fait l'objet de nombreuses recherches. Ainsi des liens entre inhibition et flexibilité ont été établis par Miyake et ses collaborateurs. De même la fonction de mise à jour

en mémoire de travail fait appel à la flexibilité et à l'inhibition. (Zesiguer, 2009, Miyake et al., 2000)

L'inhibition qui a fait l'objet de peu d'exercices spécifiques, en raison des performances dans la norme à T0, a donc peu progressé.

En conclusion, nous avons pu observer une normalisation des profils exécutifs des enfants du groupe expérimental.

⇒ Impact de la remédiation sur les troubles du calcul et du raisonnement logico-mathématique.

Comme nous avons pu l'observer, à l'issue de l'entraînement des fonctions exécutives les compétences logico-mathématiques du groupe expérimental ont peu progressé alors que les performances mathématiques ont quant à elles bien évolué.

Dans notre étude nous avons fait l'hypothèse qu'un entraînement des fonctions exécutives déficitaires pouvait avoir des effets sur les compétences et les performances logico-mathématiques. Dans la littérature, quelques auteurs ont fait le lien entre fonctions exécutives et « dyscalculie ».

Nous avons pu observer lors des évaluations initiales des sujets « dyscalculiques » **des faiblesses du point de vue du fonctionnement exécutif notamment au niveau de la flexibilité, de l'inhibition de l'impulsivité motrice et des capacités mnésiques** (cf. Tableau 14, p 60 et Tableau 15, p 61). Ces résultats vont dans le sens de ceux démontrés par Bull et Scérif dans leur étude sur le lien entre mauvaises performances arithmétiques et dysfonctionnement de « l'exécuteur central ». (Bull et Scérif, 1999)

Par la suite, les sujets ayant suivi l'entraînement des fonctions exécutives ont montré **une amélioration de leurs performances numériques par rapport aux sujets contrôles** (cf. Figure 8, p 74). Ces résultats sont à mettre en lien avec l'étude de Clark, Pritchard et Woodward qui ont démontré une meilleure progression dans la résolution de problèmes chez des enfants ayant suivi un entraînement intensif des fonctions exécutives par rapport à leurs pairs n'ayant pas suivi cet entraînement. (Clark, Pritchard et Woodward, 2010).

Cette amélioration des performances numériques en lien avec un entraînement des fonctions exécutives montre bien **qu'il y a un lien entre dysfonctionnements exécutifs et mnésiques et troubles « mathématiques »** comme le soutient Mazeau dans sa définition de la « dyscalculie ». (Mazeau, 1999)

Cette étude trouve ses limites dans la faible progression des compétences logico-mathématiques du groupe expérimental par rapport au groupe contrôle.

Nos observations nous permettent de dire qu'un entraînement des fonctions exécutives et des processus mnésiques semble avoir un impact sur les performances numériques mais que les structures du raisonnement logico-mathématique n'y sont pas ou très peu sensibles.

⇒ Comment expliquer les progrès du groupe contrôle entre T0 et T1 ?

Certaines des performances exécutives et numériques du groupe contrôle ont évolué entre T0 et T1. Il est important d'expliquer ce phénomène pour mieux identifier les bénéfiques en lien avec notre entraînement.

Cette progression peut être expliquée d'une part **avec le développement normal de ces fonctions chez les enfants avec la maturation cérébrale** et d'autre part **avec le suivi orthophonique dont ont bénéficié tous les enfants.**

En effet, la prise en charge orthophoniques des troubles du calcul et du raisonnement logico-mathématique fait appel aux processus exécutif et mnésiques. Ceux-ci intervenant à chaque fois une activité nouvelle est proposée, ils continuent donc aussi à progresser.

Dans notre étude nous avons sollicité activement ces processus par des exercices spécifiques. Cela a peut-être permis par la suite, lors de leur prise en charge, de faire appel à des processus plus efficaces que lorsqu'ils ne sont pas entraînés. Nous pouvons alors supposer que c'est pour cette raison qu'il y a une différence entre les deux groupes.

⇒ Ce type de rééducation se prête-t-il aux « dyscalculiques » ?

Nous avons essayé dans notre étude de proposer des exercices adaptés aux enfants. De par l'aversion de certains envers le matériel « numérique », nous nous sommes efforcés de proposer un matériel ludique et varié.

Le cadre thérapeutique a été choisi pour ne pas extraire l'enfant de son univers de travail habituel (cabinet de l'orthophoniste).

Nous avons choisi d'installer une situation duelle, favorisant l'échange et l'installation d'une relation thérapeutique de qualité. Les séances étaient individuelles et de courte durée (15 minutes).

Le média ludique a été privilégié. Les jeux ont été sélectionnés selon la fonction travaillée mais aussi pour leur apparence attrayante et la possibilité d'un accroissement de la difficulté.

Les enfants ont manifesté beaucoup d'intérêt et de motivation au cours des séances de prise en charge. Ils ont par ailleurs exprimé leur satisfaction lorsqu'ils progressaient.

D'un point de vue qualitatif nous avons pu constater des progrès lors des séances. En effet, la mobilisation attentionnelle déployée a augmenté alors que le nombre d'erreurs a diminué. Les enfants ont su apprendre à demander des feed-back pour progresser.

Un tel entraînement semble donc tout à fait adapté aux enfants « dyscalculiques »

⇒ Faisabilité en libéral

La prise en charge des fonctions exécutives est en général assurée par les neuropsychologues. Du fait des liens importants entre apprentissages et fonctions exécutives, les orthophonistes proposent eux-aussi cette prise en charge.

Il arrive en effet, qu'en plus de la prise en charge d'un domaine ciblé (langage oral, langage écrit...) les orthophonistes travaillent des processus tels que la planification, la mémoire, l'attention ...

Comme c'est le cas pour les autres domaines, l'orthophoniste dispose d'un matériel varié et ludique permettant le travail de ces fonctions. L'orthophonie étant déjà le moyen de remédiation des troubles du calcul et du raisonnement logico-mathématique il est donc normal qu'elle puisse proposer ce type d'entraînement.

Comme nous l'avons vu, notre entraînement est non seulement adapté à l'enfant mais possède des avantages pour l'orthophoniste en libéral comme en institution :

- Courte durée des séances (15 minutes)
- Possibilité de travailler les fonctions en isolé
- Matériel ludique, varié et facilement accessible
- Difficulté progressive permettant de s'adapter au niveau de l'enfant.

Cet entraînement offre une nouvelle perspective thérapeutique en complément de la prise en charge orthophonique.

3.4. Biais et limites méthodologiques de l'étude

Malgré les critères de rigueur que nous nous sommes imposés, notre étude présente encore des biais méthodologiques.

- **Population**
 - Biais en lien avec la taille de l'échantillon

Le recrutement de la population a été délicat du fait de la rareté de la pathologie mais aussi du fait de la limitation de la zone géographique d'intervention. Le nombre d'enfants inclus dans notre étude est donc malheureusement limité ce qui amène la prudence quant à la généralisation des résultats. Des groupes plus importants permettraient d'atténuer l'hétérogénéité des groupes.

- Biais en lien avec l'âge des sujets

En raison de la taille limitée de notre échantillon, seules deux classes d'âges sont représentées : 8 et 9 ans. Par ailleurs nous avons dû exclure l'un des enfants qui n'était pas apparié.

- **Procédure d'évaluation**
 - Biais induit par l'effet test-retest

Dans la mesure où les mêmes tests ont été utilisés pour les évaluations à T0 et T1, il est possible qu'il existe un effet d'apprentissage.

- Choix des épreuves

Il est important de préciser que les épreuves d'évaluation actuelles ne permettent pas l'évaluation d'une seule fonction isolée. Les épreuves du TEA-Ch et de la NEPSY, sollicitent plusieurs fonctions ce qui peut expliquer la difficulté à mettre en évidence certains progrès.

3.5. Perspectives

Notre étude montre l'intérêt d'un entraînement des fonctions exécutives et de la mémoire de travail chez les enfants « dyscalculiques ».

A ce jour il demeure encore des interrogations quant à la pérennité des effets et à la mise en évidence du transfert de ces compétences au quotidien.

Notre étude pourrait être le point de départ d'un travail plus large utilisant le même principe mais sur des durées plus longues et des populations plus larges ou des compétences plus spécifiques.

Des études comparatives sur les stratégies d'intervention en remédiation cognitive pourraient aussi être effectuées.

4. Conclusion

De récentes recherches ont permis de mettre en évidence des corrélations entre des déficits de fonctions exécutives et des difficultés en mathématiques. Il n'existe pourtant à ce jour que très peu de tentatives de rééducation neuropsychologique des « dyscalculies ».

Dans ce contexte, notre étude a consisté à proposer et évaluer un entraînement des fonctions exécutives auprès d'enfants « dyscalculiques ». Nous avons pour objectif d'évaluer la réalisation de cet entraînement dans l'exercice orthophonique en libéral. Des exercices ludiques et variés constituent un véritable média thérapeutique adapté aux enfants « dyscalculiques » et aux thérapeutes.

A l'issue d'un entraînement de 16 séances, nos résultats mettent en évidence une amélioration des performances mathématiques et de certaines fonctions exécutives. Ces résultats confirment le lien entre compétences numériques et exécutives et soulignent l'importance de l'évaluation des fonctions exécutives chez les enfants « dyscalculiques ».

Du fait de l'intérêt tardif des chercheurs pour la « dyscalculie » il nous semble intéressant de poursuivre ces études qui permettront de mieux comprendre les troubles du calcul et du raisonnement logico-mathématique afin de mieux les prendre en charge.

Bibliographie

- DSM-IV-TR, Manuel diagnostique et statistique des troubles mentaux, texte révisé.* (2003). Paris: Elsevier Masson.
- AL HAMMAL, R., & ROUSSELET, H. (1996). *Le passage des quatre opérations à la résolution des systèmes à deux inconnues.* Paris: APECT.
- ALLAIN, P., & LE GALL, D. (2008). Approche théorique des fonctions exécutives. Dans O. GODEFROY, & GREFEX, *Fonctions exécutives et pathologies neurologiques et psychiatriques* (pp. 9 - 42). Marseille: SOLAL.
- ANDERSON , N., WINOCUR, G., & PALMER, H. (2003). Principles of cognitive rehabilitation, dans : *Handbook of clinical neuropsychology.* Oxford Press, 48-69.
- ANDERSON, V., & JACOBS, R. (2004). Interruptions du développement normal chez les enfants victimes de lésions aux lobes frontaux. Dans J. LAURENT, & P. NOLIN, *Neuropsychologie: Cognition et développement de l'enfant* (pp. 83-106). Quebec: Presse de l'Université du Quebec.
- ANDERSON, V., ANDERSON, P., NORTHAM, E., JACOBS, R., & CATROPPA, C. (2001). Development of executive functions though late childhood and adolescence in a australian sample. *Developmental Neuropsychology*, 20(1), 385-406.
- BACQUET, M., & GUERITTE-HESS, B. (1990). *Le nombre et la numération: pratique de rééducation.* Paris: Isocel.
- BADDELEY, A. (1986). *Working memory.* Oxford: Oxford University Press.
- BADDELEY, A. (1996). Exploring the central executive. . *The Quaterly Journal of Experimental Psychology*, 5-28.
- BADDELEY, A., & HITCH, G. (1974). Working memory. *Academic Press*, vol.8, 47-89.

- BADIAN, N. (1983). Dyscalculia and nonverbal disorders of learning. Dans H. MYKLEBUST, *Progress in learning disabilities (Vol 5)* (pp. 235-364). New York: STRATTON.
- BODEN. (1994). Dyslexia and dyscalculia in children-riks, early precursors, bottlenecks and cognitive mechanisms. *Acta Paedopsychiatr.*(56).
- BOOLE, G. (1847). *The mathematical analysis of logic : being an essay towards a calculus of deductive reasoning* . Cambridge: MacMillan, Barclay, & MacMillan.
- BRIN-HENRY, F., COUTURIER, C., LEDERLE, E., & MASY, V. (2004). *Dictionnaire d'Orthophonie*. Isbergues: Ortho édition.
- BÜCHEL , F., & PAOUR, J.-L. (2005). Déficience intellectuelle : déficits et remédiation cognitive par. *Enfance*, 57.
- BULL, R., & SCERIF, G. (2001). Executive functioning as a predictor of children's mathematics ability: Inhibition, switching, and working memory. *Developmental Neuropsychology*(19), 273-293.
- CAZENAVE, B. (1970). "Incidences du retard de langage sur le calcul". *Revue de Neuropsychiatrie Infantile et d'Hygiène Mentale de l'Enfance*(18).
- CHEVRIE-MULLER, C., SIMON, A., & FOURNIER, F. (1997). *Batterie Langage oral et écrit, Mémoire et Attention (L2MA)*. Paris: ECPA.
- CLARKS, C., PRITCHARD, V., & WOODWARD, L. (2010). Preschool executive fonctionnig abilities predict early mathematics achievement. *DevPsychol*, 46(5), 1176-1191.
- COLLETTE, F. (2004). Exploration des fonctions exécutives par imagerie cérébrale. Dans T. MEULEMANS, F. COLLETTE, & M. VAN DER LINDEN, *Neuropsychologie des fonctions exécutives* (pp. 25-51). Marseille: SOLAL.
- DAMASIO, A. (s.d.). *L'erreur de Descartes: la raison des émotions*. 1994: Odile Jacob.

- DE JOUSSINEAU, S., CREPIN, C., BOUHIER, B., & SABOURET DE NEDDE, C. (1995).
Adaptation française de la partie arithmétique de la WRAT-R. *ANAE*(hors série 74).
- DIAMOND, A. (1990). The development and neural bases of memory functions as indexed
by the AB and delayed response tasks in human infants and infant monkeys. *Annals of
the New York Academy of Sciences*, 608, 267-309.
- DIAMOND, A. (2004). De l'intention à l'action : Le cortex préfrontal et le développement
cognitif précoce. Dans M.-N. METZ-LUTZ, E. DEMONT, C. SEEGMULLER, M. de
AGOSTINI, & N. BRUNEAU, *Développement cognitif et troubles des apprentissages*
(pp. 13-35). Marseille: Solal.
- FAYOL, M. (2012). *L'acquisition du nombre*. Paris: Que sais-je? (Presse universitaire de
France).
- FRIEDMAN, N., & MIYAKE, A. (2004). The relation among inhibition and interference
control function:A latent variable analysis. *Journal of Experimental Psychology:
General*(133), 101-135.
- GAILLARD, F. (2000). Numerical :Test neurocognitif pour l'apprentissage des nombres et du
calcul. (I. d. psychologie, Éd.) *Actualités psychologiques (édition spéciale)*.
- GEARY, D.-C., & HOARD, M.-K. (2005). Theoretical and empirical perspectives. Dans C. J,
Handbook of mathematical cognition (pp. 253-268). New York: Psychology Press.
- GREGOIRE, J. (2008). « Chapitre 1. Quelle démarche d'évaluation diagnostique des troubles
d'apprentissage en mathématique ? ». Dans J. GREGOIRE, *Évaluer les apprentissages*
(pp. 18-37). De Boeck Université.
- GREGOIRE, J. (2009). *L'examen clinique de l'intelligence de l'enfant*. Wavre (Belgique):
Mardaga.
- HOUDE, O. (1995). *Rationalité, développement et inhibition: Un nouveau cadre d'analyse*.
Paris: Presse Universitaire de France.

- HOUDE, O. (2000). Développement cognitif et fonctions exécutives: inhibition et "faux négatifs". *Revue de Neuropsychologie, Vol 10*, 459-470.
- HOUDE, O. (2000). La genèse de la cognition. Dans O. HOUDE, & C. MELJAC, *L'esprit piagétien: Hommage international à Jean PIAGET* (pp. 127-148). Paris: Presses Universitaires de France.
- JASTAK, S. &. (1984). *Wide Range Achievement Test-Revised*. Wilmington: DE : Jastak Associates.
- JAULIN-MANNONI, F. (1999). *La sirène et le dragon*. Les Ponts de Cé: L'Harmattan.
- KERR, A., & ZELAZO, P. (2004). Development of "hot" executive function: The children's gambling task. *Brain and Cognition, 55*, 148-157.
- KLENBERG, L., KORKMAN, M., & LAHTI-NUUTTILA, P. (s.d.). Differential development of attention and executive functions in 3-to 12-year-old finnish children. *Developmental Neuropsychology, 20*(1), 407-428.
- KOSC, L. (1974). Developmental Dyscalculia. *Journal of Learning Disabilities, 7*(3), pp. 164-177.
- LEGEAY, M., & MOREL, L. (2003, mars). Différentes définitions de la dyscalculie liées à des champs théoriques divers. *L'Orthophoniste*(227), 19.
- LEWIS, C., HITCH, G.-J., & WALKER, P. (1994). The prevalence of specific arithmetic difficulties and specific reading difficulties in 9- to 10-year-old boys and girls. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*(35), 283-292.
- LUCIANA, M., & NELSON, C. (1998). The functional emergence of prefrontally-guided working memory systems in four-to eight-year-old children. *Neuropsychologia, 36*, 273-293.
- LURIA, A. (1970). The fonctionnal organisation of the brain. *Scientific American*(222), 66-78.

- LUSSIER, & FLESSAS. (2009). *Neuropsychologie de l'enfant - Troubles développementaux et de l'apprentissage* 2e édition . Dunod.
- LUSSIER, F., & FLESSAS, J. (2001). *Neuropsychologie de l'enfant, Troubles développementaux et de l'apprentissage*. Paris: Dunod.
- MAZEAU, M. (1996). *Déficits visuo-spatiaux et dyspraxies de l'enfant*. Paris: Masson.
- MAZEAU, M. (1999). Aspects cliniques des dyscalculies chez l'enfant. *Rééducation orthophonique*(199), pp. 113-129.
- MAZEAU, M. (2005). Troubles spécifiques des apprentissages: dyslexies, dysorthographies, dyscalculies. Dans M. MAZEAU, *Neuropsychologie et troubles des apprentissages: du symptôme à la rééducation*. (pp. 229-280). Paris: Masson.
- MCCLOSKEY, M., CARAMAZZA, A., & BASILI, A. (1985). Cognitive mechanisms in number processing and calculation: Evidence from dyscalculia. *Brain and cognition*, 4, 171-196.
- MEDALIA , A., & CHOI , J. (2009). Cognitive remediation in Schizophrenia. *Neuropsychol Rev*, 19, 353-364.
- MELJAC, C. (2001). Le diagnostic et après? Remédiation et prise en charge. Dans A. VAN HOUT, & C. MELJAC, *Troubles du calcul et dyscalculies chez l'enfant* (pp. 374-358). Paris: Masson.
- MELJAC, C., & LEMMEL, G. (1999). *UDNII: Construction et Utilisation du nombre*. Paris: Editions du centre de psychologie appliquée.
- MENISSIER, A. (1999). Les activités logico-mathématiques. *Rééducation orthophonique*.
- MINARY, K. (2010). *Remédiation cognitive des fonctions exécutives chez l'enfant avec TDA/H*. Bordeaux: Mémoire d'orthophonie.
- MIYAKE, A., FRIEDMAN , N., EMERSON , M., WITZK, M., HOWERTER , A., & WAGER , T. (2000). The Unity and Diversity of Executive Functions and Their

- Contributions to Complex “Frontal Lobe” Tasks: A Latent Variable Analysis. *Cognitive Psychology*, 41, 49-100.
- NIMIER, J. (1988). *Les modes de relations aux mathématiques*. Paris: Méridiens Klincksieck.
- NORMAN, D., & SHALLICE, T. (1986). Attention to action:willed and automatic control of behavior. *Consciousness and self regulation, advances in research and theory*, pp. 1-18.
- Organisation Mondiale de la Santé. (1993). *Classification statistique internationale des maladies et des problèmes de santé connexes : CIM-10*.
- PASSLER, M., ISAAC, W., & HYND, G. (1985). Neuropsychological development of behavior attributed to frontal lobe functioning in children. *Developmental Neuropsychology*, 349-370.
- PESENTI, M., & SERON, X. (2000). *Neuropsychologie des troubles du calcul et du traitement des nombres*. Marseille: SOLAL.
- PIAGET, J. (1936). *La naissance de l'intelligence chez l'enfant*. Neuchâtel: Delachaux & Niestlé.
- PIAGET, J. (1957). *Etudes d'épistémologie génétique* (Vol. 2). Presses Universitaires de France.
- PIAGET, J. (1967). *La psychologie de l'intelligence*. Armand Colin.
- PIAGET, J., & SZEMINSKA, A. (1941). *La genèse du nombre chez l'enfant*. Delachaux & Niestlé.
- RABBITT, P. (1997). *Methodology of executive functions*. Psychology Press.
- ROURKE, B. (1993). Arithmetic disabilities, specific and otherwise: A neuropsychological perspective. *Journal of Learning disabilities*(26), pp. 214-226.

- ROY, A. (2007). Fonctions exécutives chez les enfants atteints d'une neurofibromatose de type I : Approche clinique et critique. Université d'Angers: Thèse de Doctorat en Psychologie.
- SENN, T., ESPY, K., & KAUFMANN, P. (2004). Using path analysis to understand executive function organization in preschool children. *Developmental Neuropsychology*, 26(1), 445-464.
- SERON, X., & DELOCHE, D. (1984). « From 2 to two : An analysis of a transcoding by means of neuropsychological evidence ». *Journal of Psycholinguistic Research*(13), 215-235.
- SMITHS, D., JACOBS, R., & ANDERSON, V. (2004). The Object Classification Task for Children (OCTC): A measure of concept generation and mental flexibility in early childhood. *Developmental Neuropsychology*, 26(1), 385-401.
- SPIERS, P. (1987). Acalculia revisited: Current issues. Dans X. SERON, & G. DELOCHE, *Mathematical disabilities: A cognitive neuropsychological perspective* (pp. 1-25). Hillsdale: Lawrence Erlbaum.
- STARKEY, P., & COOPER, R. (1980). Perception of numbers by human infants. *Science*(210), 1033-1035.
- STROH, M., & MOREL, L. (2004). Les rééducations des dyscalculies et des troubles logico-mathématiques. Dans T. ROUSSEAU, *Les approches thérapeutiques en orthophonie* (Vol. 2, pp. 121-159). Isbergues: Ortho Edition.
- STROH, M., & MOREL, L. (2008). Rééducation des troubles du calcul et du raisonnement logico-mathématique. Dans UNADREO, *Les approches thérapeutiques en orthophonie*. (pp. 121-158). Isbergues: Ortho Edition.
- TEMPLE, C.-M. (1992). Developmental dyscalculia. Dans I. RAPIN, S.-G. SEGALOWITZ, & J. SIDNEY, *Handbook of neuropsychology* (Vol. 7, pp. 211-222). New York: Elsevier.

- TRANEL, D., ANDERSON, S., & BENTON, A. (1994). Development of the concept of “executive function” and its relationship to the frontal lobes. Dans F. BOLLER, H. SPINLER, & J. HENDLER, *Handbook of neuropsychology* (pp. 125-148). Amsterdam: Elsevier.
- TROADEC, B., & MARTINOT, C. (2003). *Le développement cognitif: Théories actuelles de la pensée en contexte*. Paris: Belin.
- VAN HOUT, A. (2005). Dyscalculies développementales. Dans A. VAN HOUT, C. MELJAC, & J.-P. FISCHER, *Troubles du calcul et dyscalculies chez l'enfant* (pp. 139-178). Paris: Masson.
- VAN HOUT, A., & MELJAC, C. (2001). *Troubles du calcul et dyscalculies chez l'enfant*. Paris: Masson.
- VAN NIEUWHENOVEN, C., GREGOIRE, J., & NOEL, M.-P. (2001). *Tedi-Math: test diagnostique des compétences de base en mathématiques*. Paris: Editions du centre de psychologie appliquée.
- VILETTE, B. (1996). *Le développement de la quantification chez l'enfant*. Presses universitaires du Septentrion.
- VON ASTER, M., & DELLATOLAS, G. (Adaptation française par G.Dellatolas). *Zareki-R: Batterie pour l'évaluation du traitement des nombres et du calcul chez l'enfant*. Paris: Editions du centre de psychologie appliquée.
- WELSH, M. (1991). Rule-guided behavior and self-monitoring on the Tower of Hanoi disk-transfer task. *Cognitive Development*, 6, 59-76.
- WYNN, K. (1992). Addition and subtraction in human infants. *Nature*(358), pp. 748-750.
- ZESIGER, P. (2009). Les troubles de l'attention et des fonctions exécutives. Dans M. PONCELET, S. MAJERUS, & M. VAN DER LINDEN, *Traité de neuropsychologie de l'enfant* (pp. 331-353). Marseille: Solal.

ZESIGER, P., & HIRSBRUNNER, T. (2000). Neuropsychologie du développement : réflexions sur quelques questions actuelles. *Revue de Neuropsychologie*, 10(3), 369-386.

Liste des tableaux

Tableau 1: Liste des exercices proposés lors de l'entraînement des fonctions exécutives	53
Tableau 2 : Comparaison à T0 des compétences aux épreuves de conservation des enfants de 8 ans.....	56
Tableau 3 : Comparaison à T0 des compétences aux épreuves de conservation des enfants de 9 ans.....	56
Tableau 4 : Comparaison à T0 des compétences aux épreuves de logique élémentaire des enfants de 8 ans.	57
Tableau 5 : Comparaison à T0 des compétences aux épreuves de logique élémentaire des enfants de 9 ans.	57
Tableau 6 : Comparaison à T0 des compétences aux épreuves d'utilisation du nombre des enfants de 8 ans.	58
Tableau 7 : Comparaison à T0 des compétences aux épreuves d'utilisation du nombre des enfants de 9 ans.	59
Tableau 8 : Comparaison à T0 des compétences aux épreuves d'origine spatiale des enfants de 8 ans.....	59
Tableau 9 : Comparaison à T0 des compétences aux épreuves d'origine spatiale des enfants de 9 ans.....	59
Tableau 10 : Comparaison à T0 des compétences aux épreuves de connaissances des enfants de 8 ans.....	60
Tableau 11 : Comparaison à T0 des compétences aux épreuves de connaissances des enfants de 9 ans.....	60
Tableau 12 : Comparaison à T0 des performances à l'épreuve du WRAT-R des enfants de 8 ans.....	61
Tableau 13 : Comparaison à T0 des performances à l'épreuve du WRAT-R des enfants de 9 ans.....	62
Tableau 14 : Résultats aux épreuves d'évaluation du fonctionnement exécutif à T0	63
Tableau 15 : Résultats aux épreuves mnésiques à T0	64

Tableau 16 : Résultats obtenus à l'épreuve de Copie de figure à T0	65
Tableau 17 : Comparaison à T1 des compétences aux épreuves de conservation des enfants de 8 ans.....	66
Tableau 18 : Comparaison à T1 des compétences aux épreuves de conservation des enfants de 9 ans.....	66
Tableau 19 : Comparaison à T1 des compétences aux épreuves de logique élémentaire des enfants de 8 ans.	67
Tableau 20 : Comparaison à T1 des compétences aux épreuves de logique élémentaire des enfants de 9 ans.	67
Tableau 21 : Comparaison à T1 des compétences aux épreuves d'utilisation du nombre des enfants de 8 ans.	68
Tableau 22 : Comparaison à T1 des compétences aux épreuves d'utilisation du nombre des enfants de 9 ans.	68
Tableau 23 : Comparaison à T1 des compétences aux épreuves d'origine spatiale des enfants de 8 ans.....	69
Tableau 24 : Comparaison à T1 des compétences aux épreuves d'origine spatiale des enfants de 9 ans.....	69
Tableau 25 : Comparaison à T1 des compétences aux épreuves de connaissances des enfants de 8 ans.....	69
Tableau 26 : Comparaison à T1 des compétences aux épreuves de connaissances des enfants de 9 ans.....	70
Tableau 27 : Comparaison à T1 des performances à l'épreuve du WRAT-R des enfants de 8 ans.....	71
Tableau 28 : Comparaison à T1 des performances à l'épreuve du WRAT-R des enfants de 9 ans.....	71
Tableau 29 : Résultats aux épreuves d'évaluation du fonctionnement exécutif à T1	73
Tableau 30 : Résultats aux épreuves mnésiques à T1	74
Tableau 31 : Résultats obtenus à l'épreuve de Copie de figure à T1	75
Tableau 32 : Evolution des niveaux de conduites entre T0 et T1	76

Tableau 33 : Comparaison des moyennes au WRAT-R des deux populations entre T0 et T1 76

Tableau 34 : Comparaison des moyennes à l'épreuve Copie de Figures 78

Liste des figures

Figure 1 : Les principales fonctions cognitives engagées dans les activités arithmétiques. (Mazeau, 2005).....	32
Figure 2 : Scores du WRAT-R pour les deux groupes à T0.....	62
Figure 3 : Graphique des scores aux épreuves du fonctionnement exécutif à T0.....	63
Figure 4 : Graphique des scores aux épreuves mnésiques à T0.....	64
Figure 5 : Comparaison des résultats au WRAT-R à T1.....	72
Figure 6 : Graphique des résultats moyens des deux populations aux épreuves du fonctionnement exécutif à T1.....	73
Figure 7 : Graphique des scores aux épreuves mnésiques à T1.....	74
Figure 8 : Evolution des résultats du groupe expérimental entre T0 et T1 au WRAT-R.....	77
Figure 9 : Evolution des résultats du groupe contrôle entre T0 et T1 au WRAT-R.....	77
Figure 10 : Graphique de l'évolution moyenne des scores du groupe expérimental de T0 à T1.....	77
Figure 11 : Graphique de l'évolution moyenne des scores du groupe contrôle de T0 à T1.....	77
Figure 12 : Evolution des scores aux épreuves mnésiques entre T0 et T1 du groupe expérimental.....	78
Figure 13 : Evolution des scores aux épreuves mnésiques entre T0 et T1 du groupe contrôle.....	78

Annexes

Annexe 1 : Courrier aux orthophonistes

Annexe 2 : Courrier aux parents

Annexe 3 : Présentation de l'UDN-II

Annexe 4 : Feuille de réponse UDN-II

Annexe 5 : Liste des exercices et description

Annexe 1 : Courrier aux orthophonistes

A l'attention de Madame, Monsieur

Bonjour,

Actuellement étudiante en 4^{ème} année à l'Ecole d'Orthophonie de Bordeaux je réalise mon mémoire de fin d'études sur « l' Impact de la rééducation des fonctions exécutives sur les troubles logico-mathématiques chez l'enfant de 7 à 11 ans » dirigé par Mme BIRABEN-VAUDRON.

L'objectif de ce mémoire sera d'observer les effets d'une rééducation des fonctions exécutives sur les compétences logico-mathématiques d'enfants présentant ce type de troubles.

C'est dans le cadre de ce mémoire que je me permets de vous solliciter afin de recruter une population **des enfants de 7 à 11 ans présentant des troubles logico-mathématiques suivis depuis au moins un an en orthophonie ne présentant ni retard mental ni pathologie pouvant créer un biais sur l'expérimentation (autres troubles spécifiques du développement et des apprentissages , TDAH, autisme,...)** afin de valider mon hypothèse.

Avec le consentement de leurs parents et le vôtre, je réaliserai une évaluation initiale de leurs compétences logico-mathématiques et exécutives puis proposerai à une part d'entre eux, qui sera ma population d'étude, un protocole de rééducation des fonctions exécutives sur une période de 6 mois à raison d'une à deux séance(s) par semaine. Enfin je réaliserai une évaluation finale de tous les enfants afin de pouvoir comparer les populations témoin et contrôle et d'observer les effets de mon protocole.

Pour les besoins de mon mémoire seule la population d'étude suivra le protocole de rééducation durant la période de 6 mois. En revanche je m'engage à proposer ce protocole aux enfants de la population contrôle à la fin de mon étude à votre demande ou celle des parents.

Une synthèse de mes recherches et de mes résultats vous sera communiquée ainsi qu'aux parents des participants.

Dans l'attente de votre réponse, je vous prie d'agréer, Madame, Monsieur, mes salutations distinguées.

Annexe 2 : Courrier aux parents.

Bonjour 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'étude sur « l'Impact d'une remédiation des fonctions exécutives sur les troubles logico-mathématiques chez l'enfant de 7 à 11 ans » dirigé par Mme BIRABEN-VAUDRON.

Les fonctions exécutives sont les fonctions cognitives supérieures qui permettent de manipuler l'information qui nous entoure et d'adapter notre comportement au contexte.

Mon objectif à travers ce mémoire sera d'observer les effets d'une rééducation des fonctions exécutives sur les troubles logico-mathématique.

Avec votre consentement je souhaiterais faire participer votre enfant à mon étude qui se découpe en trois temps :

- Dans un premier temps je réaliserai une évaluation des aptitudes des enfants dans les domaines mathématiques et du fonctionnement exécutif.
- Dans un second temps je vais proposer à la moitié des enfants sélectionnés une série d'exercices ciblés sur les fonctions exécutives à raison d'une séance de 15 minutes par semaine pendant leur séance d'orthophonie habituelle.
- Enfin je réaliserai une évaluation de tous les enfants à la fin de cette série d'exercices afin d'observer leur évolution et les effets des exercices que j'aurai proposés.

Pour les besoins de mon mémoire seule une moitié des enfants recevra les exercices des fonctions exécutives afin de pouvoir comparer les deux évolutions, avec et sans, mais je m'engage à proposer ces exercices aux enfants qui ne les auront pas reçus à la fin de mon étude à votre demande.

Une synthèse de mes recherches et de mes résultats vous sera communiquée à la fin de cette étude.

En vous remerciant.

Consentement parental :

Je,....., parent/tuteur légal de,
consens à ce que mon enfant participe à l'étude de Melle LABIE Maïlis, 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 Melle LABIE
Maïlis.

Annexe 3 : Présentation des épreuves de l'UDN-II

Rubriques	Epreuves	Description	Age-clé
CONSERVATIONS	Conservation des Quantités discontinues : bouteilles et bouchons	L'enfant doit disposer 7 bouchons en face de 7 bouteilles et doit juger de l'identité numérique des collections après modification.	7 ans
	Conservation de la substance	L'enfant doit constituer deux boules de pâte à modeler équivalente et juger de leur équivalence après modification de la forme.	9 ans
	Conservation des longueurs	L'enfant doit choisir deux baguettes identiques et juger de leur identité après modification de leur espacement.	10 ans
	Conservation du poids	L'enfant doit constituer deux boules de pâte à modeler de poids équivalent et juger de l'identité de ce poids après modification de la forme.	
	Dissociation poids/volume	L'enfant doit prévoir les effets de l'immersion d'un puis deux cylindres identiques ainsi que leurs combinaisons dans un tube à essai.	> 11 ans
LOGIQUE ELEMENTAIRE	Sérialisation 5 baguettes	L'enfant doit ordonner, selon son âge, 5 ou 10 baguettes de longueur décroissante.	6 ans
	Sérialisation 10 baguettes		7 ans
	Classification 9 cartes	L'enfant doit trier par catégories distinctes les 9 ou 27 cartes qui lui sont proposées (nature-couleur-taille)	6 ans
	Classification 27 cartes		11 ans
	Inclusion	L'enfant doit répondre à des questions sur les rapports d'extension (classe et sous-classe) entre marguerites et fleurs.	> 11 ans
	Transitivité	Examen des capacités de transitivité grâce à l'épreuve bande de papier où l'enfant doit juger de l'égalité de bandes de papier découpées par étapes.	> 11 ans
UTILISATION DU NOMBRE	Principes de Gelman	Par rapport à l'épreuve des jetons on examine la présence des principes de Gelman chez l'enfant.	6 ans
	Tomates/Carottes	L'enfant doit juger de l'égalité du cardinal de deux collections dont les éléments sont placés en correspondance terme à terme et décrire les transformations opérées sur les collections auxquelles on a ôté des éléments.	6 ans
	9 Poupées (Robes)	L'enfant doit choisir dans un tas de robes puis dans un tas de bottes la quantité « qui convient » pour un nombre déterminé de poupées.	6 ans
	9 Poupées (Bottes)		6 ans
	Comparaison de collections statiques	L'enfant doit comparer des collections inégales ou identiques, petites et grandes.	6 ans
	Jetons (spontané)	L'enfant doit décrire des cartes qui lui sont proposées, comportant des collections de jetons	7 ans
	Modification de	L'enfant doit inverser le sens de	7 ans

	collections	l'inégalité.	
	9 Poupées (boutons)(facultatif)	L'enfant doit prévoir de nombre de boutons nécessaire pour compléter les robes des poupées.	8 ans
	Transformation d'un énoncé	L'enfant doit transformer des égalités en inégalités, sans modifier l'une des collections.	10 ans
	Epreuve E (facultative)	L'enfant doit constituer une collection comportant « autant » de jetons que celle présentée en modèle.	>11 ans
ORIGINE SPATIALE	Ficelle	L'enfant doit découper, dans une pelote, un morceau de ficelle d'une longueur analogue à celle d'un morceau témoin.	7 ans
	Bande de papier	L'enfant doit découper successivement, dans une feuille, deux bandes de papier de dimensions analogues (par transitivité pour la dernière) à celles d'une bande témoin.	10 ans
	Choix des baguettes	L'enfant doit trouver deux baguettes de même longueur parmi d'autres.	>11 ans
CONNAISSANCES	Numération	Examen des compétences de suite numérique, de lecture et de transcription de nombre.	9 ans
	Vocabulaire	Examen des notions « plus que », « moins que », « autant que », « infini » et de la connaissance des signes des opérations arithmétiques (+, -, =, x, :)	10 ans
	Opérations	Examen des procédures opérationnelles d'addition, de soustraction, de multiplication et de division par évocation libre, par démonstration du sens des opérations avec des bâchettes et les doigts.	10 ans

Annexe 4 : Feuille de réponse UDN-II

FEUILLE DE RÉPONSES UDN-II
Tableau récapitulatif des performances



Les Editions
du Centre
de Psychologie
Appliquée

Nom : _____

Age : _____

Classe : _____

	Niveau des conduites (E, Lou R)	Entourer l'âge de l'enfant										Zones		Evaluation des conduites	Commentaires			
		4ans	5ans	6ans	7ans	8ans	9ans	10ans	11ans	< AC	≥ AC							
C	3 Quantités discontinues	E		R	AC													
	4 Substance			E	E	R	R	AC										
C	5 Longueurs	E	E	E	E	E	R	R	R	AC								
	6 Poids					R	R	R	R	AC								
L	12 Dissociation Poids-Volume								E									
	9 Sérialion 5 baquettes 10 baquettes	I	*	AC														
L	1 Classification 9 cartes 27 cartes	R	R	AC														
	15 Inclusion Transitivité (Bandes de papier)		I			I												
UN	13 Tomates-Carottes	I*	R*	AC														
	2 Jetons Principes de Gelman Démontrement spontané	I	R*	AC														
UN	10 9 Poupées Robes Boîtes	R	R	R	AC													
	11 Comparaisons Collections statiques Modif. de collections Transf. d'un énoncé			R*	AC													
O	7 Ficelle	I	R*	R*	AC													
	8 Bandes de papier - Découpage			I	R*	R*	R*	R*	R*	AC								
CN	16 Vocabulaire numérique Numération Opérations	E	I	I*	I*	I*	I*	I*	I*	AC								
		E	I	I*	I*	I*	I*	I*	I*	AC								

* Echec ≤ 10 % ; E : Echec majoritaire ≥ 50 % ; I : Intermédiaire majoritaire ≥ 50% ; R : Réussite majoritaire ≥ 50 %
AC : Ages-clés = Réussite ≥ 75 % + Echec ≤ 10 % (sauf pour Robes R = 82 % et E = 14 %)

Zone d'indétermination où ni E ni I ni R ne sont majoritaires. > : Age-clé supérieur à 11 ans

C : Conservation - L : Logique - UN : Utilisation du nombre - O : Origine spatiale - CN : Connaissances

Copyright © 1999 by les Editions du Centre de Psychologie Appliquée - 25, rue de la Plaine - 75980 PARIS CEDEX 20, FRANCE. Tous droits réservés.

Annexe 5 : Liste des exercices et description

Un autre mot : Inhibition d'une réponse orale automatique

- **Objectif** : L'enfant doit compléter le plus rapidement possible des phrases entendues, en évoquant un mot qui doit être grammaticalement correct mais incorrect sémantiquement. Cette tâche nécessite de bonnes compétences d'inhibition mais aussi une bonne fluence verbale et une bonne évocation lexicale.
- **Consigne** : « Tu dois finir les phrases que je vais te dire, mais attention ... tu dois faire exprès de ne pas donner *la bonne réponse*. Par exemple, si je te dis *Lundi est le premier jour de la ...* tu peux répondre *chaussure ou pendule* mais surtout pas *semaine* ».
- **Versions proposées** : « Autre mot » (Boutard et Bouchet, 2007), « Fins de phrases à innover » (Célèrier, 2011) et autres phrases créées sur le même modèle.

Une autre couleur : Inhibition d'une réponse orale automatique

- **Objectif** : L'enfant doit associer une couleur à un nom le plus rapidement possible sans que cette couleur soit la couleur réelle de l'objet. Cette tâche nécessite de bonnes compétences inhibitrices mais aussi une bonne évocation lexicale.
- **Consigne** : « Je te donne le nom d'un objet et toi tu dois me donner une autre couleur que celle de l'objet. Par exemple, si je te dis *fraise*, tu dois me donner n'importe quelle couleur sauf *rouge*, tu peux donc dire *bleu, vert...* »
- **Versions proposées** : « Autre couleur » (Boutard et Bouchet, 2007) et extensions personnelles.

Les lapins : Inhibition, attention soutenue et mémoire de travail.

Les lapins (niveau 1)

- **Objectif** : L'enfant doit maintenir son attention et prendre un jeton à chaque fois qu'il entend le stimuli *lapin* parmi des distracteurs sémantiques et phonétiques. Cette tâche nécessite de maintenir son attention et d'inhiber les stimuli non-pertinents
- **Consigne** : « A chaque fois que tu entends le mot *lapin*, prends un jeton. »

Les lapins (niveau 2)

- **Objectif** : L'enfant doit maintenir son attention et prendre un jeton pour un stimuli-cible sur deux. Cette tâche nécessite le maintien de l'attention, l'inhibition des stimuli non pertinents et le maintien en mémoire de travail.
- **Consigne** : « Maintenant ne prend un jeton que pour un lapin sur deux. »

Les lapins (niveau 3)

- **Objectif** : L'enfant doit maintenir son attention et prendre un jeton dès qu'il entend le stimuli-cible associé à un stimuli sémantique (ici un nom d'animal) situé selon la consigne avant ou après le stimuli-cible. Cette tâche nécessite le maintien de l'attention mais aussi des capacités d'inhibition des réponses non-pertinentes, du maintien en mémoire de travail et de catégorisation sémantique.
- **Consigne** : « Maintenant ne prends un jeton que lorsque devant/derrière le lapin il y a un autre animal. »
- **Versions proposées** : « Combien de lapins », « Un lapin sur deux » et « Animal + lapin » (Boutard et Bouchet, 2011)

Quick : flexibilité, inhibition, mémoire de travail

- **Description du matériel** : Le jeu Quick se compose de 26 cartes "Lettre" et 30 cartes "Catégorie".



Quick (niveau 1)

- **Objectif** : L'enfant doit donner un mot correspondant à la carte posée selon la modalité choisie, "Lettre" ou "Catégorie". Cette tâche nécessite de bonnes capacités d'évocation lexicale ainsi que des capacités de flexibilité pour changer de catégorie sémantique et phonémique.

- **Consigne :** « Je vais te donner une catégorie/une lettre et toi tu vas devoir me donner un mot correspondant à ce thème ou commençant par cette lettre. »

Quick (niveau 2)

- **Objectif :** L'enfant doit donner un mot correspondant à la carte posée alternativement selon la modalité "Lettre" et "Catégorie". Cette tâche nécessite de bonnes capacités d'évocation mais aussi de flexibilité dans les stratégies de recherche sémantique et phonémique.
- **Consigne :** « Tu dois me donner un mot correspondant à la carte posée. »

Quick (niveau 3)

- **Objectif :** L'enfant doit donner un mot correspondant à la carte posée précédemment selon la modalité choisie, "Lettre" ou "Catégorie". Cette tâche nécessite de bonnes capacités d'évocation lexicale ainsi, des capacités de flexibilité mais aussi des capacités de maintien en mémoire de travail et d'inhibition de la réponse orale automatique.
- **Consigne :** « Je vais te donner une catégorie/une lettre et toi tu devras me donner le mot correspondant lorsque que je t'aurais demandé le mot suivant et ainsi de suite. »

Quick (niveau 4)

- **Objectif :** L'enfant doit donner un mot correspondant à la carte posée précédemment alternativement selon la modalité "Lettre" et "Catégorie". Cette tâche nécessite de bonnes capacités d'évocation, de flexibilité et des capacités de mémoire de travail et d'inhibition de la réponse orale automatique.

Speed : flexibilité, inhibition et mémoire de travail

- **Description du matériel :** Speed est un jeu de cartes comportant 60 cartes ayant plusieurs caractéristiques : motifs (sapin, drapeau, maison, montgolfière, diamant, étoile), nombres (de 1 à 5 éléments) et couleurs (jaune, vert, bleu, rouge, violet, noir).



Speed normal

- **Objectif :** L'enfant doit se débarrasser de ses cartes, le plus vite possible, en les posant selon un seul critère commun (motif, nombre ou couleur). Cette tâche nécessite des capacités de flexibilité pour changer de critère rapidement.
- **Consigne :** « Tu vas devoir te débarrasser de ton paquet de cartes le plus vite possible. Tu as le droit de poser ta carte si elle possède au moins une chose en commun avec celle posée sur la table c'est-à-dire qu'elle a soit le motif, soit la couleur, soit le nombre d'éléments en commun. »

Speed inversé

- **Objectif :** L'enfant doit se débarrasser de ses cartes, le plus vite possible, en les posant uniquement s'il n'y a aucun critère en commun. Cette tâche nécessite des capacités d'inhibition, poser une carte ne comportant aucun critère commun.
- **Consigne :** « Tu dois te débarrasser de ton paquet de cartes le plus vite possible. Tu n'as le droit de poser une carte que si elle n'a rien en commun avec celle posée sur la table, c'est-à-dire qu'elle n'a ni la couleur, ni le nombre, ni le motif en commun. »

Speed n-1

- **Objectif :** L'enfant doit rappeler, selon la modalité choisie, le nombre d'éléments, la couleur de la carte ou le motif de la carte posée précédemment. Cette tâche nécessite des capacités de maintien en mémoire de travail.
- **Consigne :** « Tu vas devoir me dire quelle était la couleur/le nombre d'éléments/le motif dessiné sur la carte posée précédemment. »

Contraires : flexibilité, planification et mémoire de travail

Contraires (niveau 1)

- **Objectif :** L'enfant doit dessiner le « contraire » des séquences de figures présentées. Cette tâche nécessite des capacités de flexibilité et de planification.
- **Consigne :** « Tu vas devoir dessiner le contraire des dessins dans le tableau. Le contraire du rond est le carré, du blanc c'est le noir et du plus c'est le moins. »

Contraires (niveau 2)

- **Objectif :** L'enfant doit après énonciation d'une séquence verbale donner le contraire de cette séquence. Cette tâche nécessite des capacités de maintien en mémoire de travail et de flexibilité.

- **Consigne :** « Je vais te dire des listes de mots de plus en plus longues et toi tu vas devoir me donner le contraire. Par exemple, si je te dis rond tu me dis carré, si je te dis blanc tu me dis noir et si je te dis plus tu me dis moins. »
- **Versions proposées :** « Contraires » (Boutard et Bouchet, 2011)

Sémantique et geste : attention auditive et mémoire de travail

- **Objectif :** L'enfant doit réagir à un stimuli sémantique selon deux consignes distinctes. Cette tâche nécessite des capacités de maintien des consignes en mémoire de travail et des capacités de catégorisation.
- **Consigne :** « Quand je te donne le nom d'un animal, lève la main. Quand je te donne le nom d'un habit, gratte-toi le nez. »
- **Version proposée :** « Sémantique et geste » (Boutard et Bouchet, 2011)

Ni oui ni non : inhibition

- **Objectif :** L'enfant doit répondre à de nombreuses questions de façon cohérente mais en évitant l'emploi des mots *oui* et *non*. Cette tâche nécessite un contrôle continu des productions verbales et des capacités d'inhibition des réponses automatiques.
- **Consigne :** « Je vais te poser des questions et tu dois me répondre sans me dire ni *oui* ni *non*. »

Ronds et carrés : inhibition et attention auditive

- **Objectif :** L'enfant doit dessiner des motifs tout en écoutant des séquences de mots comportant des signaux de début et de fin. Cette tâche nécessite des capacités d'attention divisée et d'inhibition.
- **Consigne :** « Dessine le plus de ronds possible quand je commence à dire *carré* et arrête dès que je redis *carré*, attends que je redise *carré* pour dessiner encore des ronds et arrête de nouveau si je dis *carré*, etc. »
- **Version proposée :** « Ronds et carrés » (Boutard et Bouchet, 2011)

Différentes consignes : flexibilité, inhibition

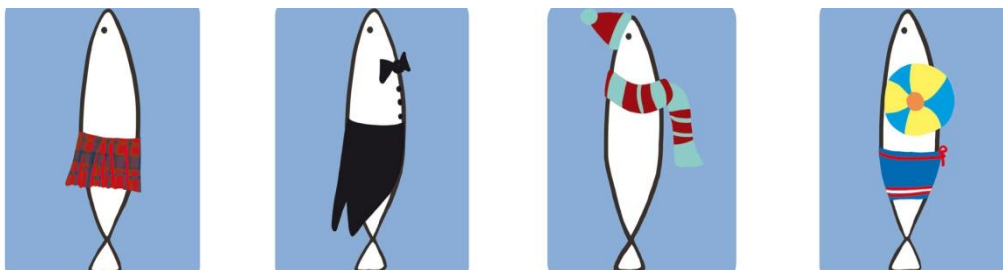
- **Objectif :** Il s'agit d'appliquer plusieurs consignes différentes sur le même support. L'enfant va devoir entourer le plus vite possible des figures ou des groupes de figures tout en mettant en place des stratégies pour ne pas se laisser distraire par les couleurs.
- **Consigne :** « Tu vas devoir entourer ce symbole, ce symbole mais pas ce symbole, les symboles comportant tels éléments... »

Données aléatoires : mémoire de travail, flexibilité, inhibition

- **Objectif :** L'enfant va devoir restituer des séries automatiques dans le désordre ce qui sollicite la mémoire de travail et l'inhibition.
- **Consigne :** « Tu dois me donner tous les chiffres compris entre 1 et 10/ les jours de la semaine/les mois de l'année..., mais tu n'as pas le droit de me les donner dans l'ordre et tu ne dois pas non plus en oublier »
- **Version proposée :** « Données aléatoires » (Boutard et Bouchet, 2011)

Sardines : mémoire de travail

- **Objectif :** Une « boîte de sardines » est placée devant l'enfant. Celui-ci doit l'observer pendant un instant. Puis la boîte est retournée et l'enfant retourne les cartes « sardines » et doit dire si elles étaient dans la boîte ou pas. Cette tâche nécessite des capacités de maintien en mémoire de travail.



- **Consigne :** « Tu vas regarder la boîte à sardines pendant un moment. Je vais la retourner et tu devras retrouver dans les cartes quelles sardines étaient dans la boîte. »

Il en manque un : Mémoire de travail

- **Objectif** : L'enfant doit rappeler sur une série de mots énoncée celui qui manque au deuxième rappel. Cette tâche permet de solliciter la mémoire de travail.
- **Consigne** : « Je vais te dire une liste de mots une première fois, la seconde fois, je vais oublier de dire un mot. A toi de trouver lequel. »
- **Version proposée** : « Il en manque un » (Boutard et Bouchet, 2011)

Quelle question : Mémoire de travail

- **Objectif** : L'enfant doit répondre à une question posée précédemment alors qu'on lui en pose une nouvelle. Cette tâche sollicite les capacités de mémoire de travail.
- **Consigne** : « Je vais te poser des questions. Tu ne réponds à la première que lorsque j'ai fini de poser la seconde. Tu ne réponds à la seconde qu'après la troisième. Etc. »

Du plus petit au plus grand : Mémoire de travail

- **Objectif** : L'enfant doit rappeler des séquences de nom d'animaux tout en les classant du plus petit au plus grand. Cette tâche sollicite la mémoire de travail.
- **Consigne** : « Je vais te donner des noms d'animaux et tu vas devoir me les répéter mais en les rangeant du plus petit au plus grand. »

RESUME

La remédiation des « dyscalculies » ou troubles du calcul et du raisonnement logico-mathématique est encore un domaine récent et peu étudié. Des études ont permis de faire le lien entre difficultés « numériques » et dysfonctionnement exécutif.

Cette hypothèse nous a amené à nous poser la question suivante : quel serait l'impact d'une remédiation des fonctions exécutives sur les troubles du calcul et du raisonnement logico-mathématique ?

Pour y répondre nous avons proposé à un groupe d'enfants « dyscalculiques », un entraînement des fonctions exécutives. Nous avons ensuite confronté les performances de ce groupe expérimental à un groupe contrôle pour en étudier les similitudes et les différences.

Une amélioration des performances numériques du groupe expérimental a pu être observée. Les compétences logico-mathématiques n'ont, quant à elles, peu ou pas progressé.

Cette étude ouvre le champ de la recherche à l'implication des fonctions exécutives et des processus mnésiques dans la prise en charge des « dyscalculies ».

MOTS CLES : Dyscalculie, Logique, Fonctions exécutives, Remédiation, Orthophonie

ABSTRACT

The remediation of "dyscalculia", or calculation and logical-mathematical disorder, is still an emerging and little-known subject. Studies have shown a connection between numerical difficulties and executive dysfunction.

This lead us to raise the question: what would be the impact of a remediation of the executive functions on calculation and logical-mathematical disorders?

In order to answer this question, we offered to a group of children with dyscalculia to train their executive functions. We then compared the results for this experimental group to those of a control group and analyzed their similarities and differences.

An upturn in calculation performance was observed in the experimental group. However, logical-mathematical capabilities showed little or no improvement.

This study opens the door for research on the use of executive functions and memory process to address the problem of dyscalculia.

KEY WORDS: Dyscalculia, Logic, Executive functions, Remediation, Speech therapy

113 pages.

81 références bibliographiques.