

AVERTISSEMENT

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

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

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

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

LIENS

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 122. 4

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 335.2- L 335.10

http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg_droi.php

<http://www.culture.gouv.fr/culture/infos-pratiques/droits/protection.htm>



MOLLIERE Anaïs

Née le 21 septembre 1985

Remaniement et étalonnage d'un protocole évaluant la mémoire de travail chez des enfants de CE2-CM1-CM2

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

Université Bordeaux Segalen
Département d'Orthophonie

Année universitaire 2012-2013

Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier Périne BALBIANI, pour avoir accepté d'encadrer ce mémoire, pour ses conseils, sa présence et sa bienveillance.

Je remercie Anne LAMOTHE-CORNELOUP, Anne-Sophie DINGA et Stéphane SOURY pour leur présence au sein du jury de soutenance.

Je remercie Marion AMIRAULT pour son aide en analyse statistique et sa disponibilité tout au long de l'année.

Je remercie les maîtres de stage et l'ensemble des intervenants de l'école d'orthophonie pour nous avoir transmis leur savoir et leur passion du métier.

Merci aux directeurs et enseignants qui ont accepté que je rencontre les enfants dans le cadre de mon étude. Merci aux enfants pour leur participation, leur curiosité et leur enthousiasme.

Merci à Laurent pour m'avoir apporté son aide dans le domaine informatique et avoir pour cela consacré une partie de son temps.

Je remercie mes parents, mes grands-parents, mes sœurs et mes amies pour leur soutien tout au long de mes études.

Merci à Iban pour tout ce qu'il m'apporte et son soutien de tous les instants.

Merci à celles qui sont devenues des amies durant ces quatre années.

SOMMAIRE

INTRODUCTION.....	1
I. Historique : de la mémoire à court terme à la mémoire de travail.....	3
A. Mémoire primaire et mémoire secondaire	3
B. Distinction entre mémoire à court terme et mémoire à long terme	3
1. Les arguments de la psychologie expérimentale.....	4
2. Les arguments de la neuropsychologie	4
C. Le modèle d'Atkinson et Shiffrin (1968)	5
II. Le modèle tripartite de Baddeley (1986)	7
A. Définition de la mémoire de travail	7
B. Un modèle à trois composantes	7
1. La boucle phonologique.....	8
a) Le stock phonologique	8
b) La boucle articulatoire.....	9
2. Le calepin visuo-spatial	10
3. Le centre exécutif : une composante en lien étroit avec les fonctions exécutives .	11
4. Le buffer épisodique	14
C. Critiques du modèle de Baddeley	15
III. Le développement de la mémoire de travail au cours de l'enfance	18
A. Evolution de la structure de la mémoire de travail au cours du développement	18
1. Développement de la boucle phonologique	18
2. Développement du calepin visuo-spatial	19
3. Développement du centre exécutif.....	20
B. Les relations entre les trois composantes au cours du développement.....	21
IV. La mémoire de travail en lien avec le développement et les apprentissages.....	23
A. Mémoire de travail et langage oral	23
1. Compréhension du langage oral.....	23
2. Production langagière	24
3. Apprentissage d'un nouveau vocabulaire	24
B. Mémoire de travail et lecture	25
1. Le déchiffrage	25

2. La compréhension écrite	26
C. Mémoire de travail et production écrite.....	27
1. Production orthographique.....	27
2. Production de textes.....	28
D. Mémoire de travail et activités mathématiques	28
E. Mémoire de travail et attention.....	29
V. Le déficit en mémoire de travail en lien avec certains troubles développementaux et troubles des apprentissages	32
A. Mémoire de travail et dysphasie	32
1. Dysphasie : définition	32
2. Mémoire de travail chez les enfants dysphasiques	33
B. Mémoire de travail et dyslexie	34
1. Dyslexie : définition.....	34
2. Mémoire de travail chez les enfants dyslexiques.....	36
C. Mémoire de travail et dyscalculie.....	37
1. Dyscalculie développementale : définition.....	37
2. Mémoire de travail chez les enfants dyscalculiques	38
D. Mémoire de travail et TDA/H.....	39
1. Troubles déficitaires de l'attention et l'hyperactivité : définition.....	39
2. Mémoire de travail chez des enfants TDA/H.....	40
VI. Evaluation de la mémoire de travail.....	41
A. Evaluation de l'intégrité de la boucle phonologique	41
B. Evaluation de l'intégrité du calepin visuo-spatial	42
C. Evaluation de l'intégrité du centre exécutif.....	43
VII.Problématique et hypothèses.....	47
MATERIEL ET METHODES.....	49
I. Protocole d'évaluation de la mémoire de travail.....	49
A. Protocole initial créé par Cynthia Luong (2009)	49
1. Epreuves évaluant la boucle phonologique.....	49
2. Epreuves évaluant le calepin visuo-spatial	50
3. Epreuves évaluant le centre exécutif.....	50
B. Les critiques de Cynthia Luong concernant les épreuves.....	51

C. Perspectives proposées par Cynthia Luong	52
1. Les changements à apporter au protocole	52
2. Elaboration de nouveaux outils plus fiables	52
D. Modifications apportées au protocole.....	52
1. Les modalités de passation.....	53
2. Les épreuves.....	53
a) Epreuves conservées.....	53
b) Epreuves évincées	55
c) Nouvelles épreuves	56
E. Présentation du nouveau protocole.....	59
1. Boucle phonologique	59
2. Calepin visuo-spatial.....	65
3. Centre exécutif	67
II. Population	70
A. Choix des variables.....	70
B. Echantillon choisi	70
III. La passation du test : condition et modalités.....	72
A. Contact avec les enseignants	72
B. Dates de passation	72
C. Modalités de passation.....	72
D. Pré-test et modifications	73
IV. Recueil des données	73
RESULTATS ET ANALYSE.....	75
I. Analyse quantitative.....	75
A. Analyse des scores totaux.....	75
1. Score total boucle phonologique.....	75
2. Score total calepin visuo-spatial	76
3. Score total centre exécutif.....	77
4. Score total des trois composantes : BP + CVS + CE.....	78
B. Analyse des scores de chaque épreuve	79
1. Répétition de chiffres endroit.....	79
2. Mots phonologiquement proches	80

3. Mots phonologiquement éloignés	81
4. Mots courts sans suppression articulatoire.....	82
5. Mots longs sans suppression articulatoire.....	83
6. Mots courts avec suppression articulatoire	84
7. Mots longs avec suppression articulatoire	85
8. Epreuve des logatomes.....	86
9. Grille de localisations	87
10. Patterns visuels	88
11. Empan transposé	89
12. Epreuve de double tâche.....	90
C. Moyennes et écarts-types des différentes épreuves	96
II. Analyse qualitative	100
A. Les effets de similarité phonologique, de longueur et de suppression articulatoire	100
1. Effet de similarité phonologique.....	100
2. Effet de longueur du mot	100
3. Effet de suppression articulatoire.....	101
B. Baisse des scores en double tâche	101
C. Les types d'erreurs rencontrées	102
1. Epreuve de répétition de chiffres endroit.....	102
2. Mots phonologiquement proches et éloignés.....	103
3. Mots courts et longs sans suppression articulatoire	104
4. Mots courts et longs avec suppression articulatoire.....	105
5. Logatomes.....	105
6. Grille de localisations	106
7. Patterns visuels.....	106
8. Empan transposé	107
9. Epreuve de double tâche	108
a) Erreurs lors de la répétition de chiffres	108
b) Tâche de poursuite visuelle : les difficultés rencontrées par les enfants.....	108
DISCUSSION	109
I. Commentaires sur l'expérimentation	109
A. Le remaniement des épreuves.....	109

1. Difficultés dans le choix des items	109
2. Une épreuve non remplacée.....	111
B. La passation du protocole	111
1. Les conditions de passation	111
2. Les modalités de passation.....	112
a) Les consignes	112
b) Présentation des items	112
C. La cotation	112
D. Les résultats obtenus : comparaison avec les données de la littérature	113
1. Les empanns moyens	113
2. La présence relative des effets	114
3. L'épreuve de double tâche	115
II. Intérêts de notre étude	115
A. Intérêts concernant la normalisation.....	115
1. Un échantillon représentatif.....	115
2. Sensibilité des épreuves	116
B. Les épreuves : les points forts.....	116
1. Evaluation des trois composantes au sein du même outil.....	116
2. Les épreuves informatisées : des épreuves plus fiables et plus ludiques	117
III. Les limites de notre étude	117
A. Les limites concernant la normalisation	117
1. Les conditions nécessaires à la présentation d'un test	117
2. Les conditions du testing	118
B. Les épreuves : les points faibles	118
1. Epreuve de double tâche : la manipulation de la souris.....	118
2. Un outil presque complet	119
IV. Perspectives envisagées	119
A. Poursuite de l'étalonnage.....	119
B. Validation auprès de sujets pathologiques.....	120
C. Création d'une épreuve testant l'inhibition	120
D. Vers des tests plus écologiques... ..	120

CONCLUSION.....	121
------------------------	------------

BIBLIOGRAPHIE	123
---------------------	-----

Table des illustrations.....	131
------------------------------	-----

Table des annexes.....	133
------------------------	-----

INTRODUCTION

La mémoire de travail est consacrée au maintien temporaire et à la manipulation simultanée d'informations pendant la réalisation de tâches cognitives. (Gavens & Camos, 2007)

Baddeley (1986) l'a également définie comme telle et a établi un modèle théorique sur lequel se basent encore aujourd'hui de nombreux auteurs. D'après ce modèle, la mémoire de travail est composée de trois systèmes : la boucle phonologique, le calepin-visuo spatial et le centre exécutif.

La mémoire de travail joue un rôle fondamental dans diverses activités et dans les apprentissages tout au long de l'enfance. Un déficit de la mémoire de travail a donc un impact sur ces derniers.

C'est pourquoi il est nécessaire dans le domaine de l'orthophonie de pouvoir évaluer cette fonction instrumentale afin d'adapter au mieux la rééducation. Il n'existe cependant pas d'outils complets et spécifiques à l'orthophonie qui permettent cela. Les épreuves de mémoire sont en effet issues de batteries d'évaluation cognitive et d'échelles d'intelligence. En revanche, les outils de rééducation sont nombreux.

C'est d'après ce constat qu'un protocole a été créé en 2009 par Cynthia Luong dans le cadre de son mémoire de recherche, intitulé *Elaboration d'un protocole d'évaluation de la mémoire de travail pour enfants de CE2 et de CM2*. Ce protocole, basé sur le modèle théorique de Baddeley permet une évaluation de chaque composante de la mémoire de travail à travers différentes épreuves.

Après avoir effectué un pré-étalonnage sur 54 enfants (27 en CE2 et 27 en CM2) et une analyse statistique des résultats, il avait été mis en évidence que certaines épreuves présentaient des biais (effets plafond, effets plancher, consignes trop complexes...).

C'est pourquoi nous avons souhaité remanier ce protocole et l'étalonner sur une large population d'enfants de cycle 3 (CE2, CM1, CM2), afin d'effectuer une première normalisation.

Nous exposerons dans un premier temps les notions théoriques de la mémoire de travail, des premiers modèles jusqu'au modèle tripartite de Baddeley. Ce modèle reste encore aujourd'hui une référence. Nous verrons quelles sont les composantes qui le constituent et le rôle de chacune d'entre elles avant de décrire leur évolution au cours du développement de l'enfant. Nous évoquerons également les critiques et les limites de ce modèle. Nous parlerons ensuite de l'impact de la mémoire de travail sur les apprentissages. Nous verrons ensuite comment évaluer chaque composante de la mémoire de travail.

Dans un second temps, après avoir présenté le protocole de Cynthia Luong et son intérêt face aux outils existants, nous exposerons les remaniements apportés en tenant compte des critiques qui avaient été émises sur les différentes épreuves. Nous présenterons alors la deuxième version du protocole obtenue après avoir procédé aux modifications.

Nous exposerons enfin les résultats de notre recherche en effectuant une analyse quantitative et qualitative qui nous permettra ensuite de discuter des limites et des perspectives de notre étude et de la pertinence du matériel en comparaison avec les éléments issus de la littérature.

I. Historique : de la mémoire à court terme à la mémoire de travail

L'intérêt que portent les chercheurs pour le concept de la mémoire et notamment la mémoire à court terme existe depuis des siècles. Cette notion a évolué dans le temps. Cela a donné lieu à l'utilisation de plusieurs termes qui sous-tendent différentes théories et hypothèses concernant les aspects de la mémoire de travail.

A. Mémoire primaire et mémoire secondaire

Dès 1690, le philosophe John Locke distinguait déjà deux concepts : la « contemplation », que l'on peut définir comme le fait d'amener une idée à l'esprit, et la « mémoire », définie comme le pouvoir de relancer une idée après sa disparition de l'esprit.

En 1890, William James a distingué la « mémoire primaire » et la mémoire secondaire ». La mémoire primaire se réfère à une quantité limitée d'informations alors que la mémoire secondaire se rapporte à une vaste quantité d'informations stockées, liées à toute une vie faite d'expériences (Cowan, 2005). D'après Baddeley (1986), William James a utilisé ce terme de « mémoire primaire » pour décrire les idées et les perceptions survenues quelques secondes auparavant, qui sont présentes simultanément dans l'esprit et qui disparaissent rapidement.

Cette distinction n'est que le début de nombreuses recherches dédiées aux différents systèmes de mémoire tels que la mémoire à long terme et la mémoire à court terme. Cette dernière va susciter un intérêt tardif de la part des chercheurs.

B. Distinction entre mémoire à court terme et mémoire à long terme

Une étude approfondie de la mémoire à court terme comme entité particulière n'a pas connu d'intérêt remarquable avant les années cinquante. A partir de cette période, de nombreuses études britanniques ont commencé à pointer la nécessité de séparer la mémoire à court terme et la mémoire à long terme.

« La mémoire à court terme est un système et un processus sous-tendant le stockage passif d'informations verbales (mémoire à court terme verbale) ou visuo-spatiale (mémoire à court terme visuo-spatiale) » (Poncelet, Majerus & Van Der Linden, 2009).

En 1958, Brown a montré que de toutes petites quantités de matériel étaient rapidement oubliées si l'on en empêchait la répétition. Il suggère que les traces mnésiques se désintègrent rapidement à moins d'être rafraîchies par la répétition active (Baddeley, 1986). Selon Cowan (2005), le terme de mémoire à court terme pose problème car il possède des sens différents selon les courants de pensée. Plusieurs études (Peterson et Peterson, 1959 cité par Cowan, 2005) suggèrent que la mémoire à court terme est un accès à des informations jusqu'à une période d'environ trente secondes. Cette durée de rétention est utilisée par les psychologues cognitivistes. Les non psychologues parlent quant à eux de mémoire à court terme en référence à une information acquise depuis « au moins un jour » (Cowan, 2005).

La mémoire à long terme est quant à elle un système qui permet de retenir une information de manière plus durable (Fournier, Monjauze, 2000).

1. Les arguments de la psychologie expérimentale

D'après Roulin (2006), l'explication utilisée sur le plan expérimental afin de mettre en exergue cette distinction entre mémoire à court terme et mémoire à long terme concerne la courbe de position sérielle des items, remarquée lors des épreuves de rappel libre. On observe sur cette courbe la présence d'un effet de récence et d'un effet de primauté. Lors de la présentation d'une liste de mots à répéter, ce sont les premiers et les derniers mots de la liste qui sont le mieux retenus. L'effet de primauté témoignerait de la présence de la mémoire à long terme et l'effet de récence de la mémoire à court terme. D'après ce point de vue, les deux systèmes de mémoire fonctionnent en série. L'information entrerait en mémoire à court terme et passerait ensuite en mémoire à long terme (Squire, Knowlton & Musen, 1993). Cela a été remis en cause par des arguments issus de la neuropsychologie basés sur une étude du cas du patient K.F. (Shallice et Warrington, 1970 cités par Squire, Knowlton & Musen, 1993).

2. Les arguments de la neuropsychologie

L'étude du patient K.F. a permis de mettre en évidence deux systèmes de mémoire qui fonctionnent en parallèle et non en série comme l'affirme la psychologie expérimentale. Cette dissociation est clairement objectivée par les résultats des épreuves administrées à K.F. qui mettaient en évidence une mémoire verbale à court terme déficiente alors que les capacités en mémoire à long terme n'étaient pas atteintes.

En 1966, Milner a étudié le cas H.M. qui présentait, contrairement au patient K.F., une atteinte du registre à long terme et une préservation du registre à court terme (Roulin, 2006).

Toutes ces études ont permis de distinguer deux systèmes de mémoire dédiées au stockage de l'information de manière plus ou moins durable. Un des premiers modèles fondamentaux rendant compte de l'existence de ces deux systèmes de mémoire, la mémoire à court terme et la mémoire à long terme, est le modèle d'Atkinson et Shiffrin (Atkinson et Shiffrin, 1968 cités par Ehrlich et Delafoy, 1990).

C. Le modèle d'Atkinson et Shiffrin (1968)

Atkinson et Shiffrin (1968) ont proposé un modèle de mémoire à registres multiples. Il s'agit d'un modèle sériel. Comme l'indiquent Ehrlich et Delafoy (1990), ce modèle comporte en effet trois systèmes par lesquels l'information va cheminer en passant de l'un à l'autre : le registre sensoriel, le système de stockage à court terme, le système de stockage à long terme.

Le registre sensoriel permet de stocker les informations grâce aux récepteurs sensoriels (audition, vision, toucher, odorat, goût). L'information en mémoire sensorielle s'efface très rapidement. Cette information contenue dans le registre sensoriel se déplace ensuite en mémoire à court terme où elle est traitée. D'après Atkinson et Shiffrin (cités par Matlin, 2001), l'information verbale est encodée en sons. Elle peut s'effacer en moins de trente secondes sauf si le sujet met en place un processus de répétition. La réitération de l'information va permettre à cette dernière de passer en mémoire à long terme où les informations sont stockées en grande quantité, peuvent dater de plusieurs années et sont permanentes.

Ce modèle, qui a permis la distinction entre mémoire à long terme et mémoire à court terme, peut tout de même être remis en cause sur la notion de sérialité, notamment en prenant l'exemple du patient K.F.. (Matlin, 2001). En effet, comme nous l'avons évoqué précédemment, ce patient avait une bonne mémoire à long terme et une mauvaise mémoire à court terme.

De nombreuses recherches et des modèles théoriques, dont le modèle sériel d'Atkinson et Shiffrin (1968) ont permis de distinguer la mémoire à court terme de la mémoire à long terme. Cependant, Baddeley et Hitch (1974 cités par Ehrlrich & Delafoy, 1990) affirment que la théorie d'Atkinson et Shiffrin ne repose sur aucune donnée expérimentale. Ils vont alors effectuer un ensemble de travaux qui vont donner naissance au concept de mémoire de travail et d'où va découler un modèle théorique qui est encore aujourd'hui une référence.

II. Le modèle tripartite de Baddeley (1986)

Ce modèle, dont le texte date de 1974, a servi de base théorique pour de nombreux auteurs. Une synthèse a été effectuée par Baddeley en 1986. Bien qu'il soit une référence, il reste très critiqué sur de nombreux points (Gaonac'h & Larigauderie, 2000).

A. Définition de la mémoire de travail

D'après Baddeley (1986), la mémoire de travail est un « système de maintien temporaire et de manipulation de l'information, nécessaire pour réaliser des activités cognitives complexes, telles que la compréhension, l'apprentissage, le raisonnement ».

Baddeley a établi un modèle tripartite comprenant un système « gestionnaire », l'administrateur central, qui permet de répartir les ressources attentionnelles durant diverses opérations cognitives. Cependant, ce système ne peut à la fois traiter et stocker les ressources car sa capacité est limitée. C'est ainsi que la boucle phonologique et le calepin visuo-spatial, deux systèmes « esclaves » spécialisés dans le maintien temporaire de l'information, vont aider l'administrateur central à réduire sa charge au niveau du traitement de l'information (Fournier, Monjauze, 2000).

B. Un modèle à trois composantes

Comme nous venons de l'indiquer, le modèle instauré par Baddeley comporte trois composantes : un système attentionnel, l'administrateur central et deux systèmes esclaves, la boucle phonologique et le calepin visuo spatial.

Ces systèmes esclaves stockent l'information de manière spécifique selon la nature du matériel. La boucle phonologique est chargée de stocker des informations de nature verbale tandis que le calepin visuo-spatial stocke des informations de nature visuelle et spatiale (Gaonac'h, Larigauderie, 2000).



Figure 1 : Schéma du modèle de Baddeley (1986)

1. La boucle phonologique

Cette composante est la plus étudiée et la mieux connue. C'est « un système relativement passif, qui a pour rôle de stocker du matériel verbal ou prononçable (*speech-like*) de manière ordonnée, pendant une durée limitée » (Ehrlich, Delafoy, 1990). Ce système inclut deux sous-composantes : une sous-composante passive, le **stock phonologique** et une sous-composante active, la **boucle articulatoire** (Seron, 2007).

a) Le stock phonologique

Le stock phonologique est dédié au stockage momentané de l'information phonologique. Cette dernière se dégrade rapidement, en quelques secondes (Seron, 2007).

Gaonac'h et Larigauderie (2000) indiquent également que d'après les résultats d'une expérimentation effectuée en 1967, Conrad émet l'hypothèse d'un codage phonétique des items mémorisés au sein du stock phonologique, même si ceux-ci sont présentés en modalité écrite.

L'existence du stock phonologique et du codage phonétique au sein de celui-ci est attesté par des données empiriques issues de différents champs de recherche. En 1966, Baddeley a décrit l'**effet de similarité phonologique**. Des items linguistiques phonologiquement proches sont moins bien retenus que des items plus éloignés phonologiquement. En effet, lorsque l'information se détériore, les phonèmes similaires ont tendance à être plus confondus que les phonèmes dissemblables (Seron, 2007). L'effet de similarité phonologique serait donc une preuve d'un codage phonétique de l'information.

b) La boucle articulatoire

La boucle articulatoire met en jeu un processus actif de mémorisation de l'information codée phonologiquement dans le stock phonologique. Ce système, également appelé auto-répétition sub-vocale, permet de « rafraîchir » l'information en mémoire et de la maintenir ainsi dans l'unité de stockage phonologique (Gavens, Camos, 2007).

L'existence de cette boucle articulatoire est soutenue par la présence d'un **effet longueur du mot**. En 1975, Baddeley, Thomson et Buchanan (cités par Gaonac'h et Larigauderie, 2000) ont en effet montré que lors d'une tâche de mémorisation immédiate, les mots les plus longs en terme de prononciation étaient moins bien restitués. Ils s'appuient sur cette donnée afin d'émettre l'hypothèse qu'une répétition de l'information est nécessaire afin de la maintenir dans le stock phonologique.

Un autre moyen que l'on peut mettre en œuvre afin d'objectiver l'existence de la boucle articulatoire est la technique de « suppression articulatoire ». On demande au sujet de répéter à haute voix une même syllabe comme « ta-ta-ta » pendant la présentation des mots et jusqu'au rappel (Roulin, 2006). Cette tâche n'implique pas la mémoire, ne gênant alors que le processus articulatoire et le rafraîchissement de l'information.

➤ Localisation anatomique de la boucle phonologique d'après les données de l'imagerie cérébrale

D'après Van Der Linden et Collette (2002), plusieurs études ont mis en évidence un réseau de régions cérébrales gauches concernant la boucle phonologique. Dans ces zones, le gyrus supramarginal gauche serait associé au stockage de l'information phonologique tandis que la région de Broca concerne la récapitulation articulatoire. La boucle phonologique est également associée à d'autres régions telles que l'aire motrice supplémentaire, le cortex pré-moteur, le gyrus cingulaire antérieur, l'insula, le thalamus et le cervelet.

La boucle phonologique joue donc un rôle fondamental dans la mémorisation de données verbales. Nous allons à présent nous pencher sur l'autre système esclave consacré à la rétention du matériel visuel et spatial, le calepin visuo-spatial.

2. Le calepin visuo-spatial

Le calepin visuo-spatial est un système de stockage temporaire d'information de nature visuelle et spatiale qui permet également la manipulation d'images mentales. Il n'a pas fait l'objet d'autant de travaux expérimentaux que la boucle phonologique, en partie à cause de la complexité à étudier ce sous-système esclave (Monnier, Roulin, 1994).

D'après Seron (2007), les recherches effectuées concernent la rétention de mouvements spatiaux et de configurations visuelles. Aujourd'hui, la plupart des auteurs s'accordent à distinguer un système dédié à la mémorisation de patterns visuels, le « **visual cache** » (**cache visuel**) et un système dédié à la mémorisation de mouvements, le « **inner scribe** » (**scribe interne**).

D'après Pickering et al. (2001), le cache visuel traite l'information de nature visuelle comme les formes et les couleurs et est lié à des activités de perception visuelle. Le scribe interne, quant à lui, gère les informations liées à des séquences de mouvement et permettrait un processus de rafraîchissement des données analogue à la récapitulation articulatoire.

Ces deux systèmes suivent des trajectoires développementales indépendantes. Le registre visuo-spatial serait donc constitué de deux sortes de représentations mentales qui seraient retenues et rafraîchies de manière spécifique (Monnier, Roulin, 1994). Cette distinction peut être illustrée par l'exemple fourni par Pickering et al. (2001) du sujet LH qui avait un déficit de la mémoire visuelle alors que la mémoire de l'information spatiale était préservée.

Ces auteurs évoquent une autre distinction concernant la nature de l'information traitée par les deux sous-systèmes du calepin visuo-spatial. L'information à rappeler peut être présentée dans un format statique simultané (patterns visuels) ou bien dans un format dynamique séquentiel (blocs de Corsi).

➤ Localisation anatomique du calepin-visuo spatial d'après les données de l'imagerie cérébrale

Van Der Linden et Collette (2002) avancent que la mémorisation d'un item du registre visuo-spatial semble être associée aux régions préfrontales, pariétales postérieures et temporales inférieures (à gauche ou à droite mais aussi bilatéralement).

La position spatiale d'un item serait maintenue grâce à des activations dans les régions occipitales, pariétales, pré-motrices et préfrontales, essentiellement à droite ou bilatéralement.

Le calepin visuo-spatial est moins connu que la boucle phonologique car plus complexe à étudier. Ces deux sous-systèmes sont liés à une troisième composante, le centre exécutif (Gathercole et al., 2004). Celui-ci est le composant crucial de la mémoire de travail (Baddeley, 1986).

3. Le centre exécutif : une composante en lien étroit avec les fonctions exécutives

Poncelet, Majerus et Van Der Linden (2009), d'après le modèle théorique de Baddeley de 1986, relie le centre exécutif (ou administrateur central) à des processus impliqués dans « le contrôle, la manipulation, la coordination et la transformation d'informations qui sont maintenues en mémoire à court terme ».

Ces différents processus et fonctions du centre exécutif ont été développés par Gaonac'h et Larigauderie (2000) d'après les études de Baddeley (Baddeley, 1996 cité par Gaonac'h et Larigauderie, 2000). Ce dernier s'est appuyé sur le modèle de Norman et Shallice (Norman et Shallice, 1980 cités par Gaonac'h et Larigauderie, 2000) pour expliquer son fonctionnement. Il avance l'hypothèse que le centre exécutif et le système de supervision attentionnel du modèle de Norman et Shallice ont des fonctions analogues (Seron, 2007).

Le centre exécutif se rapporte aux « caractéristiques attentionnelles de la mémoire de travail » (Baddeley, 1996, cité par Gaonac'h et Larigauderie, 2000). La fonction principale de cette composante serait liée au contrôle de l'attention. Elle est nécessaire dans la réalisation de tâches complexes et a plusieurs rôles : coordination des systèmes esclaves, contrôle des stratégies d'encodage et de récupération, gestion attentionnelle et activation temporaire des informations en mémoire à long terme (Baddeley, 1996, cité par Seigneuric et Ehrlich, 2001).

Nous allons développer les différentes fonctions du centre exécutif d'après Gaonac'h et Larigauderie (2000) qui s'appuient sur les travaux de Baddeley (Baddeley, 1996, cité par Gaonac'h et Larigauderie, 2000).

- **La fonction de double-tâche**

Le centre exécutif a pour fonction de coordonner les informations provenant des deux systèmes esclaves, la boucle phonologique et le calepin visuo-spatial, en situation de double-tâche. L'attention est divisée entre les deux traitements parallèles de l'information. Lorsque les actions sont relativement automatiques, elles peuvent être exécutées de manière simultanée sans qu'il y ait d'interférence (par exemple, nous pouvons parler en marchant). En revanche, si le superviseur attentionnel qu'est le centre exécutif doit intervenir, les deux tâches ne pourront être effectuées simultanément sans interférence (par exemple, la conversation téléphonique durant la conduite peut amener le conducteur à faire des erreurs).

Le centre exécutif gère également le partage de l'attention entre le stockage et le traitement de l'information lors d'une tâche de mémoire de travail et dans certaines situations de double-tâche. En effet, une partie des ressources du centre exécutif peut être dédiée au stockage de l'information afin de soulager les deux systèmes esclaves lorsque la demande de stockage de l'information s'avère trop coûteuse et trop difficile à gérer pour ces derniers.

- **Rupture des automatismes**

Le centre exécutif permet d'inhiber des automatismes et générer ainsi de nouveaux schémas d'action pour la réalisation de nouvelles tâches. C'est également la fonction exercée par le S.A.S. (Système de supervision attentionnelle) du modèle de Norman et Shallice (1980) dont s'est inspiré Baddeley, qui intervient lorsqu'une nouvelle situation entre en jeu (Ehrlich, Delafoy, 1990).

- **La fonction d'inhibition**

Lors de la sélection d'informations, un double processus s'opère : l'attention doit être focalisée sur l'information cible alors que les distracteurs doivent être inhibés.

La notion de contrôle est fondamentale dans le processus d'inhibition (Speth et Ivanoiu, 2007). Selon les auteurs, trois fonctions d'inhibition peuvent être distinguées : l'inhibition d'une réponse dominante, la résistance à l'interférence et la résistance de l'interférence proactive.

L'inhibition d'une réponse dominante correspond à la capacité de supprimer une réponse automatique, dominante de manière intentionnelle.

La résistance à l'interférence des distracteurs est la capacité à inhiber des informations provenant de l'environnement inutiles pour la tâche en cours.

La résistance à l'interférence proactive correspond à l'inhibition des informations utiles lors de la tâche précédente mais qui ne le sont plus pour la nouvelle tâche en cours.

Selon Fournier et Monjauze (2000), en neuropsychologie, un dysfonctionnement des mécanismes d'inhibition est relié à des perturbations au niveau du lobe frontal. En 1982, Shallice a en effet associé les fonctions du S.A.S. aux lobes frontaux. Par conséquent, Baddeley, en apparentant le centre exécutif et le S.A.S., a également associé le centre exécutif aux lobes frontaux.

- **Activation d'information en mémoire à long terme**

Le centre exécutif doit pouvoir activer des informations stockées en mémoire à long terme. D'après Rosen et Engle (1997, cités par Fournier et Monjauze, 2000), le centre exécutif est particulièrement impliqué dans un type spécifique de récupération en mémoire à long terme : les processus de récupération contrôlée. Ces processus sont mis en œuvre dans les tâches de fluence verbale (Baddeley, 1996, cité par Fournier et Monjauze, 2000).

- **Contrôle des tâches**

Le centre exécutif permet d'agir de façon contrôlée dans diverses situations. Ainsi, Luria (1973, cité par Gaonac'h et Larigauderie, 2000) indique que ces situations contrôlées, dans lesquelles interviennent les fonctions exécutives, comprennent l'intention d'agir (volition), la planification, l'action dirigée vers un but et le contrôle de l'efficacité de l'action (rétrocontrôle).

Le centre exécutif joue également un rôle dans les activités d'apprentissage car ces dernières nécessitent un contrôle attentionnel (Dienes, Broadbent et Berry, 1991, cités par Fournier et Monjauze, 2000).

- **Fonction de mise à jour**

Selon Septh et Ivanoiu (2007), il s'agit de modifier les informations mémorisées afin de les actualiser. L'information encodée, devenue inutile, est remplacée par de nouveaux items plus pertinents. Il s'agit donc d'une manipulation active de l'information et non d'un simple stockage passif. Cette fonction est mise en œuvre dans de nombreuses tâches complexes telles que la planification, le calcul mental ou l'adaptation à des changements de l'environnement.

➤ **Localisation anatomique du centre exécutif d'après les données de l'imagerie cérébrale**

Des études ont mis en avant l'activation de régions préfrontales lors de tâches impliquant la mise en jeu du centre exécutif telles que la coordination de double tâche ou la mise à jour de la mémoire de travail. D'autres zones, telles que le gyrus antérieur et certaines régions pariétales, sont également concernées. Cela suggère que le fonctionnement exécutif est soutenu par un réseau cérébral distribué entre un ensemble de régions antérieures et postérieures.

Le centre exécutif ou administrateur central est donc la composante fondamentale du modèle de mémoire de travail élaboré par Baddeley. Il intervient dans de nombreuses activités. Néanmoins, plusieurs phénomènes n'étaient pas pris en compte dans le modèle initial. C'est pour cela que Baddeley (2000) a proposé l'ajout d'une quatrième composante, le buffer épisodique.

4. **Le buffer épisodique**

Lechevalier, Eustache et Viader (2008) justifient les raisons de l'ajout de cette quatrième composante effectué par Baddeley. Bien qu'il reste tout à fait pertinent, le modèle initial ne permettait pas d'expliquer certains phénomènes. Tout d'abord, les relations entre mémoire de travail et mémoire à long-terme étaient en effet mal définies. De plus, la présence des deux systèmes de stockage à capacité limitée que sont la boucle phonologique et le calepin-visuo-spatial ne suffisaient pas à expliquer la capacité du système cognitif à mémoriser un nombre d'informations qui dépassent largement l'empan auditivo-verbal. Cela suppose la présence d'un autre système de stockage qui diffère des deux systèmes esclaves, en termes de capacité et de fonctionnement.

Baddeley (2000) a donc ajouté cette nouvelle composante, le buffer épisodique, qu'il décrit comme un système de stockage temporaire à capacité limitée, capable d'intégrer des informations provenant de différentes sources. Il sert d'interface entre divers systèmes qui utilisent un codage différent. Ce système de représentation multidimensionnel est contrôlé par le centre exécutif et permet de récupérer des informations de manière consciente, de les manipuler et de les modifier si nécessaire.

En outre, il joue un rôle important dans la recherche d'informations et leur récupération en mémoire à long terme. Ce buffer est dit « épisodique » car il stocke des épisodes dont l'information est ancrée dans l'espace et le temps. Sa capacité est donc plus importante que celle des systèmes esclaves. Il se rapproche du concept de mémoire épisodique développé par Tulving mais en diffère cependant par son caractère temporaire. (Lechevalier, Eustache, Viader, 2008).

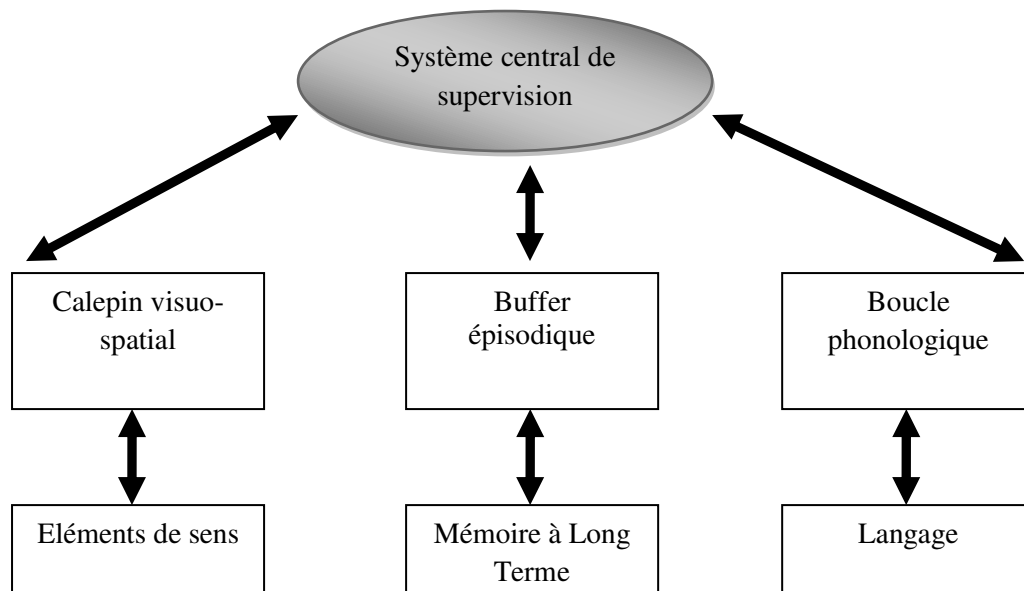


Figure 2 : Version actuelle du modèle de Baddeley (2000)

Le buffer épisodique, conçu par Baddeley afin de compléter le modèle initial et répondre ainsi à certaines problématiques, crée un lien entre mémoire de travail et mémoire à long terme. Seron (2007) souligne qu'il n'a cependant pas rencontré un grand succès. De manière plus générale, ce modèle a fait l'objet de critiques.

C. Critiques du modèle de Baddeley

Bien qu'il reste une référence mondiale, le modèle tripartite de Baddeley ne pouvait rendre compte de certains phénomènes ce qui lui a valu de nombreuses critiques de la part des chercheurs.

- **Nature de l'information stockée dans la boucle phonologique**

Le modèle initial suggère que l'information stockée dans le stock phonologique est uniquement de nature phonologique (Seron, 2007). Or, Baddeley a lui-même rapidement mentionné que la mémoire à court terme était influencée par la signification des mots (Baddeley et Levy, 1971, cités par Seron, 2007).

Selon Closset et Majerus (2007), la mémoire à court terme verbale n'est pas seulement caractérisée par les capacités de stockage du stock phonologique. Elle ferait en effet l'objet de nombreuses interactions entre différents processus. D'après ces auteurs, il faudrait différencier le stockage de données de nature phonologique d'une part et de données de nature lexico-sémantiques d'autre part.

- **Lien entre mémoire à court terme et mémoire à long terme**

La disponibilité des connaissances linguistiques en mémoire à long terme va influencer les performances dans les tâches de mémoire à court terme verbale. L'accès à ces connaissances va consolider les traces de l'information temporaire à mémoriser et favorisera ainsi les capacités de stockage (Closset, Majerus, 2007). Par ailleurs, Seron (2007) affirme que la performance en mémoire à court terme verbale sur du matériel non significatif dépend des régularités phonotactiques de la langue. En d'autres termes, si le matériel non significatif contient des combinaisons phonologiques fréquentes dans la langue du sujet, les performances de ce dernier seront meilleures que dans le cas de combinaisons phonologiques moins courantes dans sa langue. Les performances sont donc influencées par les régularités verbales stockées en mémoire à long terme.

Tous ces éléments suggèrent qu'il existe une interface entre mémoire à court terme et mémoire à long terme, ce que le modèle initial ne proposait pas. C'est pour cela que Baddeley a ensuite complété son modèle avec le buffer épisodique.

- **Autonomie des systèmes esclaves**

Des questionnements ont émergé concernant l'autonomie fonctionnelle des systèmes esclaves. Selon Seron (2007), des arguments soutiennent l'idée que certaines informations font appel aux deux systèmes esclaves. Des codages verbaux peuvent en effet être supportés par des codages spatiaux. Par exemple, la performance dans une tâche d'empan de chiffres présentés en modalité écrite dépend du positionnement des chiffres sur la feuille. Le modèle tripartite initial ne possède pas d'espace de liaison entre les deux systèmes esclaves qui

pourrait expliquer ce type de phénomène. Le buffer épisodique, ajouté par la suite, sert donc d'interface entre la boucle phonologique, le calepin visuo-spatial et la mémoire à long-terme.

Malgré les controverses qu'il a suscitées, ce modèle reste la référence principale pour de nombreux auteurs. Nous allons à présent nous intéresser à l'aspect développemental de la mémoire de travail en nous appuyant sur le modèle tripartite.

III. Le développement de la mémoire de travail au cours de l'enfance

Le concept de mémoire de travail est le support théorique le plus utilisé afin de décrire l'évolution des performances des enfants dans des tâches cognitives complexes. Sa capacité augmente au cours de l'enfance d'un point de vue quantitatif et qualitatif. (Pross, Gaonac'h, Gaux, 2008). En effet, l'enfant, au fur et à mesure qu'il grandit, augmente son empan et développe des stratégies.

A. Evolution de la structure de la mémoire de travail au cours du développement

La capacité à retenir une information durant une courte période augmente considérablement durant l'enfance. De nombreuses études sur la mémoire à court-terme ont mis en évidence un développement constant depuis l'âge préscolaire jusqu'à l'adolescence (Gathercole et al., 2004).

1. Développement de la boucle phonologique

D'après Dempster (1981, cité par Gaonac'h et Fradet, 2003) l'empan verbal, défini comme « le plus grand nombre d'éléments verbaux que l'on peut répéter après une seule présentation », évolue ainsi selon l'âge :

2 ans : 2 éléments

5 ans : 4 éléments

7 ans : 5 éléments

9 ans : 6 éléments

Adultes : 7/8 éléments

Les performances des adultes sont atteintes vers 11-12 ans.

Gathercole et Baddeley (1993, cités par Gaonac'h et Fradet, 2003) indiquent qu'avant 6 ans, l'augmentation de l'empan est seulement quantitative. A partir de l'entrée à l'école primaire, l'augmentation de l'empan est également liée à des stratégies mises en place par l'enfant ainsi qu'au recodage phonologique. Les performances lors de la mémorisation d'un matériel verbal tiennent donc à la capacité de répétition qui apparaît au fur et à mesure que

l'enfant grandit (Gathercole et al., 2004). Les chercheurs s'accordent à dire qu'avant l'âge de sept ans, on n'observe pas de répétition subvocale spontanée. Chez les jeunes enfants, on a donc seulement la présence d'un stock phonologique sans processus de récapitulation articulatoire.

En outre, l'augmentation des performances est liée à un accès plus rapide aux informations stockées en mémoire à long terme (Cowan et al., 1998, cités par Pross, Gaonac'h et Gaux, 2008).

2. Développement du calepin visuo-spatial

Les performances en mémoire visuo-spatiale augmentent avec l'âge entre 5/6 ans, 8/9 ans et 11/12 ans (Logie et Pearson, 1997, cités par Gaonach et Fradet, 2003).

Avant l'âge de sept ans, les enfants utilisent seulement le calepin visuo-spatial pour rappeler un stimulus présenté en modalité visuelle (Gathercole et al., 2004). L'information visuo-spatiale est alors stockée sous forme de code visuo-spatial (forme, orientation, détails des stimuli visuels) (Gaonac'h et Fradet, 2003). En effet, le recodage phonologique, comme nous l'avons vu précédemment, n'est pas encore en place. Palmer (2000, cité par Gaonac'h et Fradet, 2003) a mené une étude auprès d'enfants de 3 à 8 ans dont les résultats ont mis en évidence que les très jeunes enfants n'utilisent pas de stratégies de rappel telles que la répétition verbale. Par la suite, avant que la stratégie de recodage verbale ne se mette en place, les stratégies mises en œuvre par les enfants sont plutôt d'ordre visuel.

A partir de sept ans, l'information visuelle peut être recodée phonologiquement (Hitch et Halliday, 1983, cités par Pross et al. 2008). Gaonac'h (2005) affirme également qu'à partir de 8-10 ans, l'encodage de l'information visuelle n'est plus seulement visuo-spatial car l'enfant met en place des stratégies de recodage verbal. Cependant, les chercheurs ne parviennent pas à expliquer l'augmentation des performances en mémoire à court terme visuo-spatiale tout au long de l'enfance quand le matériel n'est pas recodable phonologiquement. (Gathercole et al., 2004).

Les enfants ayant une bonne représentation de l'espace, qui sont capables par exemple de se rappeler ou de suivre un chemin dans un environnement donné, ont de bonnes capacités de mémoire visuo-spatiale (Fenner, Heathcote et Jerrams-Smith, 2000, cités par Gaonac'h et Fradet, 2003).

Selon Pickering (2004), l'évolution de la mémoire visuo-spatiale dépendrait de cinq processus : le recodage phonologique, l'évolution des connaissances, les processus stratégiques, la vitesse de traitement et la capacité attentionnelle.

3. Développement du centre exécutif

Gaonac'h et Fradet (2003) indiquent que d'après les résultats de nombreux travaux, l'administrateur central se développe précocement avec une phase durant laquelle une accélération notable se manifeste. Le développement des fonctions de l'administrateur central s'effectue ensuite sur une longue période et se prolonge même après l'adolescence. Bien que la maturation du cortex pré-frontal explique en partie l'accroissement des performances en mémoire de travail, Luciana et Nelson (1998, cités par Gaonac'h et Fradet, 2003) supposent, outre la maturation anatomique, l'apparition de stratégies chez les enfants pour réaliser des tâches complexes. D'après une étude réalisée sur des enfants de trois ans, Palmer (2000, cité par Gaonac'h et Fradet, 2003) souligne l'absence de stratégie de mémorisation chez les jeunes enfants. Les performances seraient sous la seule dépendance de l'administrateur central, des processus exécutifs permettraient alors de maintenir temporairement une information activée en mémoire à long terme. Des stratégies visuelles et de recodage s'ajouteraient à ces processus exécutifs plus tard dans le développement.

Pross, Gaonac'h et Gaux (2008) indiquent que des études mettent en avant plusieurs étapes dans le développement du centre exécutif au cours de l'enfance : à quatre ans, à huit ans, à douze ans et à l'adolescence.

Gavens et Camos (2007) affirment, après diverses expérimentations, que l'augmentation des emplacements de mémoire de travail s'explique par une augmentation de la vitesse de traitement de l'information et un accroissement de la quantité des ressources attentionnelles. En effet, l'automatisation des traitements au fur et à mesure que l'enfant grandit réduit le coût attentionnel et favorise le stockage, les ressources attentionnelles pouvant alors être portées sur les items à mémoriser.

Les performances au sein des trois composantes de la mémoire de travail augmentent donc avec l'âge grâce au développement de certaines capacités cognitives et de la mise en place de stratégies. Un changement s'opère également au sein de l'organisation structurelle de

la mémoire de travail et donc au niveau des liens qui existent entre la boucle phonologique, le calepin visuo-spatial et le centre exécutif.

B. Les relations entre les trois composantes au cours du développement

D'après Pross et al. (2008), les relations entre le centre exécutif et les systèmes esclaves apparaissent dès le CE1.

Pickering et al. (1998), indiquent qu'entre cinq et huit ans, la boucle phonologique et le calepin-visuo-spatial sont indépendants l'un de l'autre. Pross et al. (2008) vont également dans ce sens en affirmant qu'avec l'âge, les deux systèmes esclaves tendent à devenir des entités indépendantes l'une de l'autre, chacun se spécialisant ainsi dans des traitements spécifiques (verbaux ou visuo-spatiaux).

Des études sur des enfants de six et sept ans ont montré que le centre exécutif et la boucle phonologique sont quant à eux distincts mais partiellement associés (Gathercole et Pickering, 2000).

Le calepin visuo-spatial est, pour sa part, indissociable du centre exécutif, ce qui suggère qu'on ne peut pas le représenter comme une entité indépendante, du moins à un certain stade de développement (Gathercole et al., 2004). Pross et al. (2008) confirment cette tendance en mentionnant que les résultats de leurs études mettent en avant des relations plus fortes du centre exécutif avec les capacités visuo-spatiales, reliées au calepin visuo-spatial, qu'avec les capacités verbales, reliées à la boucle phonologique. Cela s'explique par le fait que la maîtrise du traitement de l'information visuo-spatiale est plus tardive. En effet, selon Logie et Pearson (1997, cités par Pross et al. 2008), chez les enfants, le traitement de l'information verbale est maîtrisé plus précocement que le traitement de l'information non-verbale. Par conséquent, les performances aux épreuves verbales sont plus élevées qu'aux épreuves non-verbales.

L'organisation structurelle de la mémoire de travail est en place à partir de six ans et reste plus ou moins constante durant l'enfance. Son évolution, tant sur le plan des capacités que sur la mise en place de stratégies, va permettre à l'enfant d'accomplir des tâches cognitives de plus en plus complexes nécessaires dans les apprentissages (Gathercole et al., 2004). Nous allons ainsi aborder la place de la mémoire de travail au sein du développement et des apprentissages de l'enfant.

IV. La mémoire de travail en lien avec le développement et les apprentissages

La mémoire de travail est en relation avec le développement d'activités cognitives complexes, comme la compréhension du langage, la lecture, la production écrite, le calcul et le raisonnement (Gaonac'h et Fradet, 2003). Le calcul mental ou la compréhension du langage impliquent en effet la rétention temporaire d'éléments. Ces éléments doivent être mémorisés, manipulés et reliés entre eux (Cordier, Gaonac'h, 2007). Nous allons donc à présent expliciter l'impact de la mémoire de travail sur le développement et les apprentissages de l'enfant.

A. Mémoire de travail et langage oral

Selon Poncelet et Van Der Linden (1996), la mémoire de travail est associée à plusieurs aspects du langage oral que nous allons développer.

1. Compréhension du langage oral

D'après la définition de Plaza et al. (2006), « la compréhension est la série d'opérations qui, à partir d'un énoncé, permet de se forger une représentation précise et exacte du sens ».

La mémoire de travail est impliquée dans la compréhension du langage oral car celle-ci exige de relier des éléments entre eux. Ces éléments peuvent être espacés de plusieurs secondes dans le temps, notamment dans le cas de structures syntaxiques complexes (Cordier, Gaonac'h, 2007).

Poncelet et Van der Linden (1996) mettent en avant le rôle de la boucle phonologique dans la compréhension du langage. Un nombre important de données confirment la relation entre une mémoire de travail déficitaire et un trouble de la compréhension verbale. De mauvaises performances en compréhension verbale sont en effet liées à une mémoire phonologique déficiente (Willis, 2001, cité par Gaonac'h et Fradet, 2003).

Comprendre un énoncé est un processus complexe qui fait intervenir plusieurs niveaux de traitements linguistiques (Caplan et Waters, 1990, cités par Poncelet et Van Der Linden, 1996). Le premier traitement, automatique, se traduit par une représentation du sens de l'énoncé (reconnaissance des mots, de la forme de la phrase, attribution littérale d'une

signification aux mots et aux propositions). Le deuxième traitement ne s'opère que dans le cas de phrases ambiguës où le premier traitement ne suffit pas et nécessite une seconde analyse de l'énoncé. L'intervention de la boucle phonologique est alors nécessaire afin de réorganiser et restructurer les informations et corriger ainsi l'interprétation erronée.

Martin et al. (1994, cités par Poncelet et Van der Linden, 1996), suggèrent, outre la composante phonologique de la mémoire à court terme, l'existence d'une composante sémantique et d'une composante syntaxique. Selon eux, la composante phonologique interviendrait dans la répétition de phrases mot pour mot mais pas dans leur compréhension. Les deux autres composantes, qui se rapportent à la mémorisation des informations syntaxiques et sémantiques, seraient quant à elles impliquées dans la compréhension de certains types de phrases.

2. Production langagière

La production langagière est un processus complexe impliquant la gestion d'un nombre important d'opérations et un traitement de l'information par un système à capacité limitée souvent associé à la mémoire de travail (Bourdin, 1999).

La mémoire de travail joue un rôle important au début de l'apprentissage du langage. En effet, les traitements linguistiques ne sont pas encore tout à fait automatisés par l'enfant qui apprend à parler. Ces traitements linguistiques font donc appel à un processus conscient et mobilisent des ressources attentionnelles (Shiffrin et Schneider, 1977).

Adams et Gathercole (1995, 1996 et 2000, cités par Majerus et Poncelet, 2004) ont montré l'existence d'un lien entre les performances en mémoire à court terme verbale et divers aspects du langage oral tels que la longueur moyenne des énoncés, la richesse du vocabulaire et la complexité syntaxique des énoncés chez des enfants de 3 à 5 ans.

3. Apprentissage d'un nouveau vocabulaire

Gathercole et al. (1999) ont mis en évidence, au travers de différentes études, un lien entre la mémoire phonologique temporaire et l'apprentissage d'un nouveau vocabulaire chez l'enfant. Les enfants ayant de bonnes capacités en mémoire phonologique à court-terme

possèdent un meilleur vocabulaire que les enfants ayant une mémoire plus faible. Il existe en effet de fortes corrélations entre les performances en mémoire à court terme verbale et le niveau de vocabulaire actif et passif chez des enfants âgés de 2 à 13 ans (Majerus et Poncelet, 2004).

De plus, d'après Papagno et Vallar (1995, cités par Gathercole et al., 1999), de bonnes performances en mémoire phonologique à court terme sont en lien avec la capacité à apprendre du vocabulaire issu d'une langue étrangère. Une étude de Service (1992, cité par Majerus et Poncelet, 2004) a mis en évidence que les capacités de mémoire à court terme verbale sont liées à la vitesse d'acquisition d'un nouveau matériel verbal, que ce soit dans la langue maternelle ou dans une langue étrangère.

Enfin, Baddeley, Papagno et Vallar (1988, cités par Poncelet et Van Der Linden, 1996) ont suggéré l'implication du stock phonologique à court terme dans le transfert et le maintien d'informations nouvelles en mémoire à long terme. Ils ont en effet étudié les performances de la patiente P.V. qui n'avait aucune difficulté à mémoriser du matériel verbal familier alors que la rétention d'un matériel non-familier était impossible. Cela indique donc que le stock phonologique à court terme participe à l'apprentissage phonologique d'un nouveau matériel verbal.

La mémoire de travail est donc impliquée dans le langage oral, à la fois sur le plan expressif et réceptif mais également lors de l'acquisition de nouveaux mots, ce qui va permettre à l'enfant d'étendre son vocabulaire et enrichir ainsi son langage. Nous allons à présent aborder le rôle de la mémoire de travail dans l'activité de lecture.

B. Mémoire de travail et lecture

1. Le déchiffrage

Selon Lécocq (1987), la qualité de la lecture dépend des performances en mémoire de travail. La différence entre un bon et un mauvais lecteur se situerait dans la capacité à recoder

phonétiquement l'information. Selon le modèle de la mémoire de travail de Baddeley, l'information verbale lue par le sujet est enregistrée et stockée sous la forme d'un code phonétique dans le stock phonologique. Elle peut être enregistrée automatiquement ou bien par le biais de la répétition subvocale. L'efficacité de ce codage phonétique permettrait à l'apprenti lecteur de mobiliser une grande partie de ses ressources en mémoire de travail afin de fusionner les phonèmes isolés et construire ainsi des séquences phonologiques qui favoriseraient la reconnaissance des mots et l'accès au lexique.

Demont et Botzung (2003) vont également dans ce sens en expliquant que lors des étapes initiales de l'apprentissage de la lecture, l'enfant doit utiliser la correspondance grapho-phonémique afin de reconnaître le mot et accéder à sa représentation phonologique. L'enfant doit pour cela maintenir en mémoire les conversions grapho-phonémiques effectuées tout en réalisant d'autres conversions sur les graphèmes suivants.

Certaines études (Dufva, Niemi et Voeten, 2001 ; Mann et Libermann, 1984, cités par Demont et Botzung, 2003) indiquent que l'efficacité de l'encodage phonologique en mémoire de travail en maternelle est prédicteur des performances dans l'encodage phonologique de l'information verbale lors de l'apprentissage de la lecture. Ces résultats sont tout de même à nuancer car un déficit dans l'encodage phonologique n'est pas présent chez tous les mauvais lecteurs.

2. La compréhension écrite

La mémoire de travail est nécessaire pour comprendre ce qui est lu. En effet, outre le décodage, un traitement syntaxique est opéré afin d'inclure le mot dans une phrase, puis dans un paragraphe et enfin dans le texte (Demont, Botzung, 2003). Ainsi, la compréhension écrite requiert le maintien en mémoire d'informations pendant le traitement simultané d'autres éléments. Accéder au sens du texte implique le stockage de l'information que l'on vient de lire et le traitement simultané de l'information que l'on est en train de lire. Ensuite, toutes ces données sont reliées entre elles. (Baddeley, 1992 ; Daneman, 1982, cités par Demont et Botzung, 2003). Ce traitement des informations est géré par l'administrateur central.

De plus, la compréhension lors d'une tâche de lecture serait en lien avec l'empan verbal (Gaonac'h, 2005). Un déficit d'empan verbal aurait des répercussions sur des aspects

particuliers liés à la compréhension lors de l'activité de lecture tels qu'intégrer et relier les éléments du texte afin d'en extraire le sens global, pouvoir retrouver des informations éparses dans le texte et effectuer des inférences.

La mémoire de travail permet également, lors d'une tâche de lecture, de maintenir actives plusieurs interprétations face à un énoncé ambigu. Les informations vont être stockées et mises en relation. L'administrateur central va intervenir afin d'analyser les informations contextuelles et maintenir temporairement la signification de l'énoncé (Plaza et al., 2006).

La mémoire de travail est donc impliquée dans la lecture. Nous allons voir qu'elle joue également un rôle important dans les activités de production écrite.

C. Mémoire de travail et production écrite

1. Production orthographique

Chez l'enfant, le traitement de l'orthographe est coûteux cognitivement car les règles ne sont pas encore automatisées (Alamargot, Lambert et Chanquoy, 2005). L'acquisition de l'orthographe fait appel aux capacités phonologiques et visuo-spatiales au cours du développement. Les ressources phonologiques sont mobilisées en début d'apprentissage, lorsque l'analyse des mots et la constitution du lexique orthographique s'effectuent phonologiquement. A ce moment-là, les capacités d'apprentissage de l'orthographe sont liées aux compétences en mémoire phonologique (Sprenger-Charolles, Siegel, Bonnet, 1998, cités par Alamargot, 2007). Les ressources visuo-spatiales sont utilisées lorsque l'apprenti scripteur ne s'appuie plus sur la médiation phonologique pour traiter l'information. Durant cette période, la voie directe se constitue, l'enfant effectue un traitement direct de l'information orthographique. Les ressources visuo-spatiales de la mémoire de travail sont alors mobilisées de manière très importante afin de discriminer et de mémoriser les informations visuelles relatives aux mots. Ces capacités visuo-spatiales sont prédictives de l'apprentissage de l'orthographe (Meyler et Breznitz, 1998, cités par Alamargot, 2007).

2. Production de textes

La production de texte suppose différentes étapes de traitement, allant d'un niveau initial de planification du contenu global jusqu'à un niveau final de programmation motrice, le tout s'achevant par l'émission d'un message.

Un des modèles de production écrite le plus reconnu est celui de Kellogg (Kellogg, 1996, cité par Chanquoy et Alamargot, 2002). Cet auteur a tenté d'expliquer et d'établir des liens entre les différents processus rédactionnels et les composantes de la mémoire de travail selon le modèle de Baddeley en termes de nature et de coût (Chanquoy, Alamargot, 2002). Le modèle de production écrite de Kellogg comprend quatre composantes : le processus de planification, le processus de formulation, l'exécution et le système de contrôle (Alamargot, Lambert et Chanquoy, 2005). Le calepin visuo-spatial serait impliqué dans le processus de planification car le rédacteur pourrait récupérer des idées sous forme d'images mentales. Gaonac'h (2005) va également dans ce sens. Selon lui, pendant que le sujet écrit, les représentations visuo-spatiales prennent en considération l'organisation physique du texte déjà rédigé, ce qui peut aider à se représenter mentalement l'organisation conceptuelle. Ensuite, le processus de formulation nécessiterait l'intervention de la boucle phonologique en raison des traitements linguistiques réalisés. L'administrateur central serait également mobilisé dans ces deux processus car ils font appel à des traitements contrôlés impliquant des ressources attentionnelles. Le processus d'exécution, lors de la programmation de l'énoncé à écrire et le système de contrôle font également intervenir l'administrateur central.

Des expériences menées par Lea et Levy (1999, cités par Chanquoy et Alamargot, 2002) mettent en avant la contribution de la mémoire de travail à la fois dans la fluidité de la rédaction grâce à la boucle phonologique et à la qualité de la production écrite grâce à l'administrateur central.

D. Mémoire de travail et activités mathématiques

D'après Noël (citée par Van Hout et Meljac, 2005), les performances aux épreuves testant la boucle phonologique sont associées à de bonnes **compétences en arithmétique**. En effet,

les enfants de 6-7 ans ayant une boucle phonologique performante vont davantage utiliser des stratégies mentales plutôt que des supports concrets, comme le comptage sur les doigts, pour effectuer des additions.

Selon Gaonac'h (2005), le calepin visuo-spatial et l'administrateur central sont impliqués dans les **activités de raisonnement**. Dans le cas du calcul mental, la boucle phonologique est impliquée dans l'élaboration de résultats précis alors que le calepin visuo-spatial est utilisé pour traiter les données de manière approximative, pour traiter l'ordre de grandeur des données.

Le calepin visuo-spatial jouerait également un rôle dans la **résolution de problèmes** (Gaonac'h et Fradet, 2003). Les nombres peuvent être mémorisés aussi bien verbalement que visuellement (Heathcote, 1994, cité par Gaonac'h et Fradet, 2003). Dans le cas d'un stockage visuel, le calepin visuo-spatial servirait de « tableau noir mental » ou « cahier » sur lequel le sujet se représente les chiffres visuellement tout en effectuant les opérations.

Enfin, le rôle de l'administrateur central dans les activités mathématiques a été mis en évidence dans de nombreux travaux. Lemaire, Abdi et Fayol (Lemaire, Abdi et Fayol, 1996, cités par Gaonac'h et Fradet, 2003) ont mis en avant le rôle notable de l'administrateur central dans les tâches de **calcul mental**. Les fonctions exécutives mises en jeu sont les processus d'inhibition et la récupération en mémoire à long terme. Une étude de Passolunghi, Cornoldi et de Liberto (1999) met en évidence un défaut d'inhibition d'informations non pertinentes chez des enfants présentant des difficultés dans la résolution de problèmes mathématiques.

E. Mémoire de travail et attention

Les concepts de mémoire de travail et d'attention ont longtemps été distingués alors qu'aujourd'hui, de nombreux modèles théoriques montrent que les deux domaines se recoupent largement (Van der Linden et Collette, 2002).

L'attention peut être définie comme un mécanisme de sélection et de maintien de l'information pendant la réalisation d'une tâche. Elle peut également être répartie sur plusieurs actions simultanées. Elle peut s'opérer de manière automatique par une stimulation de l'environnement ou dirigée volontairement vers une stimulation particulière (Brogard et

al., 2007). L'attention a donc plusieurs fonctions : elle peut être sélective grâce au processus d'inhibition, divisée lorsqu'elle est partagée entre deux tâches coordonnées et soutenue lorsque le maintien du niveau d'activité doit être maintenu durant un temps prolongé.

Selon Fernandez-Duque et Posner (2001, cités par Van Der Linden et Collette, 2002), **trois fonctions principales peuvent être attribuées à l'attention : l'orientation vers l'information sensorielle, la vigilance** (ou la capacité de mettre en œuvre et de maintenir un état d'alerte) et **l'attention exécutive** dont les fonctions sont : l'inhibition, la résolution de conflit, la détection d'erreurs et l'allocation de ressources attentionnelles. Ces dernières fonctions peuvent être attribuées au centre exécutif de la mémoire de travail ainsi qu'au SAS du modèle de Norman et Shallice (Norman et Shallice, 1980 cités par Van Der Linden et Collette, 2002). Gaonac'h et Larigauderie (2000) précisent que le centre exécutif est considéré dans la plupart des textes théoriques comme la « composante attentionnelle » de la mémoire de travail en référence au modèle de Norman et Shallice (1980).

De plus, selon Baddeley (1986, cité par Van Der Linden et Collette, 2002), le SAS et le centre exécutif auraient exactement les mêmes fonctions : la coordination de deux tâches simultanées, le changement de processus de récupération (processus de « shifting »), l'attention sélective et l'activation des informations en mémoire à long terme.

D'après Swanson (1999, cité par Gaonac'h et Fradet, 2003), le développement du centre exécutif et la mise en place de processus efficaces sont liés à l'augmentation des capacités attentionnelles avec l'âge.

Nous pouvons donc dire que les notions de mémoire de travail et d'attention sont liées, voire imbriquées, car elles regroupent les mêmes fonctions cognitives. Les capacités en mémoire de travail chez l'enfant sont donc soumises aux capacités attentionnelles. À l'inverse, les capacités attentionnelles sont tributaires des capacités en mémoire de travail.

De nombreux auteurs ont donc largement rendu compte du rôle de la mémoire de travail dans les apprentissages et les performances linguistiques (Boutard, Morcrette, 2007). Une mémoire à court terme limitée risque d'entraver le développement cognitif ainsi que les apprentissages scolaires de l'enfant (Noël, 2007). En effet, un déficit en mémoire de travail phonologique aurait un impact négatif dans les apprentissages, notamment dans les domaines du langage oral et du langage écrit (Gathercole et al., 1999). Nous allons à présent expliciter ces liens entre les troubles des apprentissages et un déficit en mémoire de travail.

V. Le déficit en mémoire de travail en lien avec certains troubles développementaux et troubles des apprentissages

A. Mémoire de travail et dysphasie

1. Dysphasie : définition

La CIM 10 (Organisation Mondiale de la Santé, 1993) décrit la dysphasie comme un : « **trouble spécifique du développement de la parole et du langage** ». Elle la définit ainsi : « Troubles dans lesquels les modalités normales d'acquisition du langage sont altérées dès les premiers stades du développement. Ces troubles ne sont pas directement attribuables à des anomalies neurologiques, des anomalies anatomiques de l'appareil phonatoire, des altérations sensorielles, un retard mental ou des facteurs de l'environnement. ».

Lussier et Flessas (2009) rapportent que plusieurs classifications ont été proposées mais qu'aucune ne fait consensus au niveau international. Elles décrivent alors la classification la plus utilisée par les chercheurs français et québécois, établie par Rapin et Allen en 1983. Les dysphasies y sont classées en trois catégories :

- les difficultés mixtes (réceptives et expressives)
- les difficultés principalement expressives
- les difficultés de traitement de l'information ou de l'organisation de la signification.

Dumont (1998), décrit les marqueurs de déviance considérés comme des troubles spécifiquement dysphasiques :

- trouble de l'incitation verbale
- dissociation automatico-volontaire
- trouble de l'encodage syntaxique
- trouble de l'évocation lexicale avec un manque du mot
- troubles de la compréhension verbale
- trouble de l'informativité

L'existence d'au moins trois de ces marqueurs de déviance certifie l'existence d'une dysphasie et permet d'en préciser le type. Selon la classification de Gérard (1991, cité par Dumont, 1998), il existe six groupes de dysphasie :

- dysphasie phonologique-syntaxique
- dysphasie de production phonologique
- dysphasie kinesthésique afférente
- dysphasie réceptive
- dysphasie lexicale syntaxique
- dysphasie sémantique-pragmatique.

2. Mémoire de travail chez les enfants dysphasiques

Gathercole et Baddeley (1990) ont établi un lien entre un **déficit de la boucle phonologique** et la dysphasie. Poncelet et Van der Linden (2003) vont également dans ce sens en affirmant que les enfants présentant des troubles du langage oral ont une mémoire phonologique à court terme déficitaire.

D'après Parisse et Mollier (2008), le **mécanisme d'autorépétition subvocale** serait déficitaire chez l'enfant dysphasique, l'empêchant ainsi de consolider la trace mnésique.

De plus, ils citent une étude de Bishop, North et Donlan (1996) qui montre que les **difficultés de répétition de non-mots** subsistent au cours du temps malgré une atténuation des troubles du langage.

Selon Poncelet et Van der Linden (2003), de nombreuses études ont mis en avant le **déficit en mémoire à court terme** des enfants présentant un trouble du langage dont la conséquence est un **retard dans le développement du vocabulaire**.

Parisse et Mollier (2008) ont mené une étude sur les performances mnésiques des enfants dysphasiques dans les secteurs non-verbaux, à savoir les informations visuo-spatiales, afin de déterminer si le trouble de rétention des informations dépend de la nature des informations à stocker (verbale ou visuo-spatiale) ou bien s'il s'agit d'un déficit généralisé. Les résultats ont montré que les performances des enfants dysphasiques en **mémoire de travail visuo-spatiale** étaient nettement inférieures à celles des enfants contrôles, confirmant ainsi l'hypothèse d'un dysfonctionnement généralisé de la mémoire à court terme. Ces résultats, concernant le domaine visuo-spatial, mettent en avant une faiblesse des performances des enfants dysphasiques dans l'épreuve des Blocs de Corsi (information spatiale séquentielle), tandis que l'épreuve de patterns visuels (information visuelle simultanée) ne montre pas de différence avec les groupes contrôles.

Cependant, d'après Lussier et Flessas (2009), chez les enfants dysphasiques, la mémoire à court-terme verbale est toujours atteinte de manière plus importante que la mémoire visuelle et visuo-spatiale.

Les enfants dysphasiques présentent donc un déficit de la mémoire de travail.

B. Mémoire de travail et dyslexie

1. Dyslexie : définition

La dyslexie est un terme générique qui signale l'existence de difficultés dans l'acquisition du langage écrit (Lussier et Flessas, 2009).

La CIM 10 (1993) décrit la dyslexie comme un « **trouble de la lecture** » et la définit ainsi : « La caractéristique essentielle est une altération spécifique et significative de l'acquisition de la lecture non imputable exclusivement à un âge mental bas, à des troubles de l'acuité visuelle ou à une scolarisation inadéquate. Les capacités de compréhension de la lecture, la reconnaissance des mots, la lecture orale et les performances dans les tâches nécessitant la lecture, peuvent, toutes, être atteintes. Le trouble spécifique de la lecture s'accompagne fréquemment de difficultés en orthographe, persistant souvent à l'adolescence, même quand l'enfant a pu faire quelques progrès en lecture. Les enfants présentant un trouble spécifique de la lecture ont souvent des antécédents de troubles de la parole ou du langage. Le trouble s'accompagne souvent de troubles émotionnels et de perturbations du comportement pendant l'âge scolaire. ».

Il s'agit d'un **trouble spécifique** car les dyslexiques n'ont de difficultés graves et durables que pour apprendre à lire (Sprenger-Charolles, Lacert et Colé, 1999). De plus, un enfant est caractérisé comme dyslexique s'il a un retard de lecture d'au moins deux ans par rapport à son âge chronologique.

Il faut différencier les dyslexies acquises des dyslexies développementales, les dyslexies acquises faisant référence aux troubles de la lecture chez les adultes après une lésion cérébrale.

De plus, il est largement reconnu que chez ces enfants, les procédures d'identification des mots sont déficientes et ont par conséquent un impact sur la compréhension de texte.

Lussier et Flessas (2009) mentionnent la typologie classique de la dyslexie qui se base sur le modèle cognitif à double voie (Patterson et Shewell, 1987, cités par Lussier et Flessas, 2009). Le lecteur doit recourir à deux voies de lecture : la voie dite « phonologique » et la voie dite « lexicale ». La classification des dyslexies est ainsi décrite par les auteurs telle que rapportée par Pech et al. (Pech et al., 1997 cités par Lussier et Flessas, 2009) :

- **Dyslexie phonologique (ou dysphonétique (Border, 1973, cité par Lussier et Flessas, 2009))**

L'étiologie de ce type de dyslexie est une atteinte de la voie phonologique (ou d'assemblage). On retrouve entre autres:

- une atteinte de l'analyse segmentale de la parole appelée conscience phonologique,
- une absence d'automatisation du décodage nécessaire à la lecture d'un nouveau mot ou d'un pseudo-mot
- un déficit en mémoire de travail
- des erreurs dérivationnelles, une utilisation importante du contexte et des substitutions par des synonymes.

- **Dyslexie lexicale (ou dyséidétique (Border, 1973))**

Ce type de dyslexie est caractérisé par une atteinte de la voie lexicale (ou d'adressage). On retrouve entre autres :

- une atteinte de la reconnaissance visuelle des mots
- une stratégie d'assemblage dominante par correspondance graphème-phonème entravant la lecture des mots irréguliers
- un déficit en mémoire de travail
- des confusions dans l'orientation des lettres et/ou des chiffres en lecture et en écriture
- lenteur, des erreurs de « régularisation » et de segmentation.

- **Dyslexie mixte**

Dans ce type de dyslexie, on retrouve des atteintes des deux autres dyslexies présentées ci-dessus.

Cette classification des dyslexies, bien qu'elle soit nuancée par les chercheurs depuis les années 70, permet de différencier des atteintes différentes selon le type de dyslexie afin de juger ce qui relève de la sphère du langage (voie phonologique) ou de la sphère visuo-spatiale (voie lexicale).

Il semble donc, au vu de ces éléments, qu'une atteinte de la mémoire de travail est présente chez les enfants dyslexiques.

2. Mémoire de travail chez les enfants dyslexiques

Selon Michel Habib (1997, cité par Pakzad et Rogé, 2004), la dyslexie est caractérisée par un trouble de la mémoire à court terme et plus particulièrement de la mémoire auditivo-verbale à court terme. Il est fréquent d'observer un **empan verbal réduit** des enfants dyslexiques qui ne peuvent mémoriser une série de chiffres ou de syllabes au-delà de cinq items. Ce déficit en mémoire de travail se manifeste généralement sur du matériel de nature verbale et entrave ainsi la capacité à décoder les mots lors de l'activité de lecture (De Jong, 1998).

De plus, Pakzad et Rogé (2004) affirment que les performances des enfants dyslexiques en mémoire audio-verbale à court terme diminuent d'autant plus lorsqu'on leur demande de traiter des informations présentées dans un **ordre imposé**.

Une étude de Sprenger-Charolles, Lacert et Colé (1999) met en exergue que les deux groupes de dyslexiques (dyslexiques phonologiques et dyslexiques de surface) présentent un déficit phonologique révélé par un test de mémoire à court terme phonologique. Ces résultats amènent les auteurs à suggérer que les deux formes de dyslexies sont caractérisées par un **déficit spécifiquement phonologique**.

Une étude de Shankweiler (1989, cité par Gaonac'h et Fradet, 2003) montre que les faibles lecteurs sont **moins sensibles à l'effet de similarité phonologique** que les bons lecteurs. Cela peut indiquer une mobilisation du codage phonologique moins importante chez les mauvais lecteurs.

En outre, les enfants dyslexiques ont généralement des **difficultés à comprendre des énoncés un peu longs** ainsi que des **phrases complexes** du fait de leur empan verbal réduit (Gaonac'h et Fradet, 2003).

Selon Lussier et Flessas (2009), la **dyslexie de surface** serait caractérisée par une **atteinte du calepin visuo-spatial** empêchant l'extension d'un « lexique visuel d'entrée ».

Les enfants dyslexiques ont donc une mémoire de travail déficitaire, plus particulièrement dans le traitement des informations phonologiques.

C. Mémoire de travail et dyscalculie

1. Dyscalculie développementale : définition

La CIM 10 (1993) décrit la dyscalculie comme un « **trouble spécifique de l'acquisition de l'arithmétique** » et la définit comme une « altération spécifique des performances en arithmétique, non imputable exclusivement à un retard mental global ou à une scolarisation inadéquate. L'altération concerne la maîtrise des éléments de base du calcul : addition, soustraction, multiplication et division (c'est-à-dire, n'est pas limitée aux capacités mathématiques plus abstraites impliquées dans l'algèbre, la trigonométrie, la géométrie ou le calcul différentiel et intégral) ».

De nombreux auteurs ont élaboré des définitions s'inspirant des éléments concernant la dyslexie (Van Hout, 2005). Ainsi, la plupart des définitions mettent l'accent sur le **retard en calcul d'au moins deux ans** par rapport à l'âge ou le niveau scolaire.

Cependant, ce terme englobe des domaines autres que le calcul. En effet, ce concept, apparu pour la première fois dans les années 1970, rend compte d'un « **dysfonctionnement** dans les domaines de la **logique**, de la **construction des nombres** et des **opérations sur ces nombres**, de **difficultés de structuration du raisonnement** et de **l'utilisation des outils logiques et mathématiques** » (Brin, Courier, Lederlé, Masy, 2004).

Ce trouble peut en effet être présent chez des enfants ayant un **quotient intellectuel normal ou supérieur à la moyenne** et qui vivent dans un **environnement social et familial favorable**. De plus, d'autres troubles peuvent être associés à la dyscalculie tels que des problèmes d'orientation dans l'espace, un trouble de l'attention, etc. (Molko, Wilson, Deheane, 2005).

Les enfants présentant des difficultés d'apprentissage en mathématiques ont des capacités mnésiques réduites (Noël, 2005).

2. Mémoire de travail chez les enfants dyscalculiques

Noël (2005) cite plusieurs recherches qui ont étudié les capacités de la boucle phonologique chez les enfants présentant des difficultés d'apprentissage en mathématiques. Ainsi, Geary et al. (1991) et Hitch et McAulley (1991) ont observé une faiblesse de la boucle phonologique chez ces enfants. Ces résultats ont été remis en question par Bull et Johnston (1997). En effet, selon les études épidémiologiques, environ la moitié des enfants dyscalculiques ont une dyslexie associée. Comparer des enfants présentant des difficultés d'apprentissage des mathématiques avec des enfants contrôles constituerait donc un biais sachant que la mémoire à court terme verbale est déficitaire chez les enfants dyslexiques. De nouvelles recherches ont donc été effectuées et ont révélé que les enfants dyscalculiques présentaient une **boucle phonologique performante lorsque le niveau de lecture était contrôlé**.

Une étude de Noël, Seron et Travarelly (Noël et al., 2004) rapporte que les **capacités de la boucle phonologique et du centre exécutif d'enfants de CP sont prédictifs des performances en calcul** mesurées quelques mois plus tard. Il s'avère en effet que l'on peut relier les bonnes capacités de la boucle phonologique avec l'utilisation, lors du calcul, de stratégies mentales matures sans support visible. **Les enfants dyscalculiques utilisent plutôt des stratégies immatures** telles que le comptage sur les doigts afin de pallier les faibles compétences en mémoire de travail (Geary, 1990, cité par Noël et al., 2004). En effet, lors d'une addition par exemple, un empan réduit en mémoire de travail augmente le risque d'effacement de l'information en mémoire, à savoir les nombres à additionner, avant d'arriver au résultat. Le comptage sur les doigts permet d'avoir un support visuel et d'éviter l'effacement de la trace mnésique.

De plus, les **performances des enfants dyscalculiques dans les tâches évaluant le calepin visuo-spatial sont inférieures** aux enfants contrôles du même âge.

Le centre exécutif semble également déficitaire chez les enfants présentant des difficultés d'apprentissage en mathématiques, notamment à cause d'un **déficit du processus d'inhibition** des informations non pertinentes et de **récupération des informations en mémoire à long terme** (Geary et Hoard, 2001, cités par Gaonac'h et Fradet, 2003).

Les enfants présentant des difficultés d'apprentissage des mathématiques ont donc des performances en mémoire de travail faibles, ne leur permettant pas d'élaborer des stratégies mentales efficaces dans la réalisation de problèmes arithmétiques.

D. Mémoire de travail et TDA/H

1. Troubles déficitaires de l'attention et l'hyperactivité : définition

Le DSM-IV (American Psychiatric Association, 2003) définit le « **Trouble déficit de l'attention/hyperactivité** » comme « un mode persistant d'inattention et/ou d'hyperactivité/impulsivité, plus fréquent et plus sévère que ce qu'on observe habituellement chez des sujets d'un niveau de développement similaire [...]. Il faut qu'un nombre minimum de symptômes d'hyperactivité/impulsivité ou d'inattention entraînant une gêne fonctionnelle aient été présents avant l'âge de 7 ans bien que, dans beaucoup de cas, le diagnostic ne soit porté que plusieurs années après leur apparition, en particulier dans le cas de sujets présentant le Type inattention prédominante [...]. La gêne fonctionnelle liée aux symptômes doit être manifeste dans au moins deux types d'environnement différents (p. ex., à la maison et à l'école ou au travail) (...). On doit mettre clairement en évidence que les symptômes interfèrent avec le fonctionnement social, scolaire ou professionnel qui correspond au niveau de développement du sujet [...] ».

2. Mémoire de travail chez des enfants TDA/H

Selon Gaonac'h et Fradet (2003), les enfants TDA/H ont des **difficultés à inhiber les informations non pertinentes**. Ils citent une étude de Bayliss et Roodenrys (2000) qui ont émis l'hypothèse d'un déficit de l'administrateur central chez ces enfants. Ils ont ainsi testé des enfants TDA/H et des enfants contrôles de 8 à 12 ans en proposant des tâches nécessitant l'inhibition de réponses fortement suggérées mais non pertinentes. Les résultats obtenus ont nettement mis en avant un **déficit d'inhibition chez les enfants TDA/H**. Les **capacités d'inhibition** étant attribuées au **centre exécutif**, il apparaît donc que les enfants TDA/H présentent un dysfonctionnement de celui-ci.

Selon Barkley (1997, cité par Gaonac'h et Fradet (2003), ces enfants présenteraient un déficit dans le contrôle de l'activité. Burgess et al. (2010) vont dans ce sens en suggérant que les **difficultés de contrôle attentionnel** seraient le reflet d'une **faible mémoire de travail**, ces deux processus se situant dans la même zone cérébrale, à savoir le cortex préfrontal dorsolatéral.

Au vu de ces études, il apparaît évident que la mémoire de travail est déficitaire chez les enfants présentant des troubles du développement et des troubles des apprentissages. Une ou plusieurs des composantes peuvent être atteintes. Pour déterminer lesquelles, il existe de nombreuses épreuves que nous allons à présent répertorier.
--

VI. Evaluation de la mémoire de travail

La mémoire de travail étant fortement impliquée dans les apprentissages et le développement cognitif de l'enfant, il est nécessaire en tant qu'orthophoniste de pouvoir l'évaluer afin de détecter un éventuel déficit. Il existe de nombreuses épreuves permettant d'évaluer les différentes composantes de la mémoire de travail chez les enfants.

A. Evaluation de l'intégrité de la boucle phonologique

Afin de vérifier que la mémoire auditivo-verbale est dans la norme, les épreuves que l'on peut utiliser sont des épreuves d'empans (Guichard-Gomez, 2003).

Soprano et Narbona (2009) déclinent les différentes épreuves existantes :

➤ La répétition de chiffres en ordre direct

Cette tâche est la plus fréquemment utilisée pour évaluer la mémoire à court terme verbale. On présente au sujet des séries de chiffres de longueur croissante au rythme d'une unité par seconde.

L'empan auditivo-verbal correspond au nombre d'éléments de la plus longue série de chiffres reproduite sans erreur.

➤ L'empan de mots en ordre direct

Le sujet doit répéter une série de mots généralement monosyllabiques. Le nombre de mots augmentent au fur et à mesure que le patient réussit les essais (Guichard-Gomez, 2003).

➤ L'empan de pseudo-mots

Le sujet doit répéter un pseudo-mot immédiatement après l'avoir entendu. La difficulté des pseudo-mots croît au fur et à mesure.

Poncelet et Majerus (2003) ont créé une épreuve de répétition de non-mots composés d'une suite de 2 à 8 syllabes. Chaque item est prononcé à la manière d'un mot et non pas au rythme d'une unité par seconde comme cela est le cas pour la répétition de chiffres.

➤ **L'empan de phrases**

L'épreuve consiste à répéter de manière identique une phrase de longueur variable. Les performances à cette épreuve dépendent cependant des habiletés linguistiques, sémantiques et syntaxiques du sujet.

➤ **Effet de longueur et effet de similarité**

L'effet longueur et l'effet de similarité rendent compte du bon fonctionnement du stock phonologique (codage phonologique des informations verbales) et de la boucle articulatoire (récapitulation articulatoire) (Poncelet, Majerus, Van der Linden, 2009).

L'effet de similarité phonologique peut être évalué en administrant des séries de mots phonologiquement proches et de mots phonologiquement éloignés de longueur croissante. Les mots phonologiquement proches correspondent à des paires minimales (doigt, poids, choix, roi, loi...). Les mots phonologiquement éloignés sont également unisyllabiques et possèdent des voyelles et des consonnes différentes (camp, pied, mur...).

L'effet de longueur peut être évalué en administrant des séries de mots courts (sol, mur) et des séries de mots longs (bibliothèque, kilomètre...).

Il est important que tous les mots utilisés aient la même fréquence et le même degré d'imagerie.

B. Evaluation de l'intégrité du calepin visuo-spatial

Cette composante peut être évaluée avec deux types de tâches : une tâche évaluant une dimension visuo-motrice et une tâche de rétention à court terme de patterns visuels (Guichard-Gomez, 2003). Pour cela, les tâches classiquement utilisées sont : le test de Corsi (empan séquentiel) et le test des patterns visuels (empan simultané) (Poncelet, Majerus, Van der Linden, 2009).

➤ **Le test de Corsi (Corsi, 1972 cité par Poncelet, Majerus, Van der Linden, 2009)**

Cette tâche consiste à retenir et reproduire des séquences visuo-spatiales effectuées par l'examineur sur une planche de bois disposant de neuf petits blocs repartis irrégulièrement et de manière non symétrique. L'empan visuo-spatial séquentiel correspond à la séquence la plus longue retenue et correctement reproduite par le sujet.

➤ **Le test des patterns visuels (Wilson, Scott et Power, 1987, cités par Poncelet, Majerus et Van der Linden, 2009)**

Ce test consiste à présenter une grille dont la moitié des cases sont noircies et dont la taille croît au fur et à mesure des essais (2x2, 2x3, 3x3...). La grille est présentée pendant quelques secondes au sujet. Après un délai de quelques secondes, la grille est à nouveau présentée avec une case manquante que le sujet doit pointer, réalisant ainsi une tâche de complétion.

Cette épreuve peut également être effectuée d'une autre manière. Une grille est présentée durant quelques secondes au sujet qui devra ensuite, sur une grille vierge mise à sa disposition, mettre des croix à la place de toutes les cases qui étaient noircies. L'empan visuo-spatial simultané correspond à la grille la plus complexe que l'enfant a réussi à mémoriser et à reproduire sans erreur (Poncelet, Majerus, Van der Linden, 2009).

Si l'on considère la distinction entre processus statiques et processus dynamiques en mémoire à court-terme visuo-spatiale évoquée précédemment, le test de Corsi correspond à la mesure des processus dynamiques tandis que les patterns visuels sont dédiés à la mesure des processus statiques.

Généralement meilleur que l'empan spatial, l'empan visuel peut atteindre 15 ou 16 chez l'adulte (Fournier, Monjauze, 2000).

C. Evaluation de l'intégrité du centre exécutif

Les tâches proposées ici relèvent de la mémoire de travail proprement dite (Soprano et Narbona, 2009). Elles exigent à la fois un stockage et une manipulation mentale du matériel présenté.

➤ **L'empan de chiffres envers**

Il s'agit de la tâche de mémoire de travail la plus connue. Elle fait partie de l'échelle d'intelligence pour enfants de Wechsler (Wechsler, 1996, cité par Poncelet, Majerus et Van der Linden, 2009). L'enfant doit restituer une série de chiffres dans l'ordre inverse de leur présentation.

➤ **Manipulations simples à partir de chiffres à répéter**

Ce type de tâche consiste à retirer ou ajouter une unité à chaque chiffre d'une série donnée. Par exemple, pour la série 2 – 7 – 4, le sujet doit répondre 1 – 6 – 3 ou 3 – 8 – 5 (Soprano et Narbona, 2009).

➤ **Le « Listening span »**

Cette tâche consiste à écouter une série de phrases. Pour chaque phrase, l'enfant doit effectuer un jugement sur celle-ci (est-elle plausible ?) puis retenir le dernier mot. Ensuite, l'enfant doit rappeler tous les derniers mots de chaque phrase entendue. Le niveau d'empan d'écoute correspond au nombre de phrases maximales dont l'enfant a pu restituer les derniers mots. Cette tâche peut être administrée assez tôt au cours du développement, dès cinq ans (Poncelet, Majerus, Van der Linden, 2009). Il existe une autre variante de cette tâche où l'on présente des phrases dont le dernier mot manque. L'enfant doit alors compléter la phrase par le mot manquant et retenir ce dernier.

➤ **Le « Reading span »**

Cette épreuve est basée sur le même principe que le « Listening span » à la différence que les phrases ne sont pas entendues mais lues. L'administration de cette tâche implique que l'enfant ait un niveau de lecture suffisant (Poncelet, Majerus, Van der Linden, 2009).

➤ **Empan de dénombrement**

Dans cette tâche, des planches comportant un nombre défini de carrés rouges et bleus sont présentées à l'enfant. Pour chaque planche, l'enfant doit compter tous les carrés bleus et retenir le nombre. Ensuite, on lui demande de restituer tous les chiffres retenus. Cette tâche peut être administrée relativement tôt au cours du développement, vers cinq-six ans, car elle fait appel à des capacités de dénombrement élémentaires (de 1 à 10) (Poncelet, Majerus, Van der Linden, 2009).

➤ **L'empan numérique**

On présente une planche sur laquelle sont inscrits trois nombres. L'enfant doit lire les nombres à haute voix et indiquer lequel est le plus petit. L'empan numérique correspond au nombre maximal de cartes pour lesquelles l'enfant a pu mémoriser et restituer le nombre le plus petit (Soprano et Narbona, 2009).

Les tâches présentées ci-dessus permettent d'évaluer les capacités de traitement et de manipulation en ce qui concerne l'empan de chiffres envers et les manipulations simples à partir de chiffres. Le « Listening span », le « Reading span », l'empan de dénombrement et l'empan numérique testent les capacités de traitement, de stockage et de mise à jour de l'information (Poncelet, Majerus, Van der Linden, 2009).

La capacité d'inhibition, également attribuée au centre exécutif, peut être évaluée entre autres grâce aux tâches suivantes (Boutard et Morcrette, 2007) :

➤ **Le Stroop**

Cette épreuve repose sur le principe d'inhibition d'une réponse automatique. L'épreuve se décline en trois parties. Dans un premier temps, il s'agit de dénommer des carrés de couleur. Dans un second temps, le sujet doit lire des noms de couleur écrits en noir. Dans la troisième partie de l'épreuve, le sujet doit dire la couleur de l'encre et inhiber la lecture d'un nom de couleur différente de la couleur de l'encre.

➤ **La tâche de Hayling**

Dans cette tâche, le sujet doit dans un premier temps terminer des phrases en utilisant un mot plausible. Dans un second temps, l'examineur va demander au sujet de terminer des phrases avec un mot n'ayant pas de rapport sémantique avec le reste de la phrase.

Concernant la fonction de double tâche, l'épreuve couramment utilisée a été créée par Baddeley lui-même. Cette tâche implique de coordonner des informations issues des différents systèmes esclaves (Guichart-Gomez, 2003).

➤ **La double tâche de Baddeley**

Cette épreuve combine une tâche impliquant le calepin visuo-spatial pour laquelle le sujet doit cocher des petites cases selon un parcours donné et une tâche de répétition de chiffres impliquant la boucle phonologique. Il faut avant cela déterminer l'empan de chiffres du patient en effectuant une tâche d'empan de chiffres classique.

Dans un premier temps, l'examineur fait passer les deux tâches séparément durant deux minutes pour chacune d'entre elles. Ensuite, les deux activités sont effectuées en même temps. On regarde ainsi si le patient en est capable ou s'il rencontre des difficultés.

Tous ces éléments issus de la littérature témoignent de l'existence de nombreuses épreuves permettant d'évaluer les différentes composantes de la mémoire de travail issues du modèle de Baddeley.

Les différentes recherches ont clairement montré qu'un déficit de cette fonction instrumentale se retrouve chez des enfants présentant un trouble du développement et/ou des apprentissages. Il est donc nécessaire pour les orthophonistes de posséder des outils permettant d'évaluer la mémoire de travail. Il en existe de nombreux mais ceux à notre disposition ne sont pas complets.

En 2009, Cynthia Luong avait créé un protocole d'évaluation de la mémoire de travail afin de remédier à cette carence. Il nous a paru intéressant de continuer son travail afin de disposer d'un test complet et de normes fiables.

VII. Problématique et hypothèses

Au vu de toute la théorie que nous avons développée, la place de la mémoire de travail dans le développement et les apprentissages de l'enfant n'est plus à prouver. Une mémoire de travail déficitaire peut donc entraver le développement cognitif de l'enfant et avoir un impact négatif sur ses apprentissages (Noël, 2007). Il est donc nécessaire de pouvoir l'évaluer en ayant à disposition des outils complets, étalonnés et validés.

Il existe quelques outils permettant d'évaluer la mémoire de travail de l'enfant. Noël (2007) en cite quelques-uns : la WISC – IV (Wechsler, 2005), la NEPSY (Korkman, Kirk et Kemp, 2003) et la CMS (Cohen, 2001). Soprano et Narbona (2009) évoquent également le K-ABC-II (Kaufman, 1993). Ces outils sont issus de batteries d'évaluation cognitives, de batteries neuropsychologiques ou d'échelles d'intelligence (Luong, 2009). D'autres épreuves évaluant certaines composantes de la mémoire de travail sont présentes dans des batteries non-spécifiques telles que la L2MA (Chevrie-Muller, 1997) ou la BREV (Billard et al., 2000).

Malgré la présence de ces batteries, force est de constater le **manque d'outils d'évaluation de la mémoire chez l'enfant** (Boutard et Morcrette, 2007). L'examen de la mémoire, même s'il se situe au carrefour de plusieurs disciplines, fait partie du champ de compétence des orthophonistes mais ces derniers sont contraints d'utiliser divers outils d'évaluation afin de pouvoir tester toutes les composantes de la mémoire de travail.

C'est en partant de ce constat que Cynthia Luong a créé, dans le cadre de son mémoire de recherche en 2009, un outil complet d'évaluation de la mémoire de travail destiné aux enfants de cycle 3. Ce protocole est composé d'épreuves testant les trois composantes de la mémoire de travail issues du modèle de Baddeley. Un pré-étalonnage a été effectué sur 54 enfants scolarisés en CE2 et CM2.

Après la passation des épreuves, il s'est avéré que le test n'était pas assez sensible. En effet, certaines épreuves présentaient des biais (effet plafond ou effet plancher des résultats, consignes trop complexes) et méritaient ainsi d'être remaniées.

De plus, le pré-étalonnage n'a pas été effectué sur des enfants scolarisés en CM1.

C'est pour cela que dans le cadre de notre recherche, nous avons décidé de **remanier ce protocole** en tenant compte des critiques de Cynthia Luong sur son matériel. Notre travail consistera ensuite à un **étalonnage du test sur une large population d'enfants tout-venant**

en prenant en compte les variables du niveau scolaire, du sexe, de la zone d'éducation ainsi que la zone urbaine ou rurale.

Nous observerons les **effets du niveau scolaire et du sexe** et établirons des **normes** sur les différentes épreuves du protocole.

Nous pouvons penser que les performances des enfants sont liées au niveau scolaire. En revanche, nous pouvons penser que les performances ne sont pas liées au sexe.

L'**objectif** est de mettre à disposition des orthophonistes un **outil complet et étalonné sur un échantillon représentatif de la population**, permettant d'évaluer chaque composante de la mémoire de travail et de **définir ainsi la ou les composante(s) atteinte(s)** afin de **cibler plus précisément les axes de rééducation et les aménagements scolaires nécessaires**.

MATERIEL ET METHODES

I. Protocole d'évaluation de la mémoire de travail

A. Protocole initial créé par Cynthia Luong (2009)

Pour créer ce protocole d'évaluation de la mémoire de travail, Cynthia Luong s'était basée sur les données théoriques et expérimentales issues de la littérature. Les modalités de passation et la nature des items ont été déterminées en fonction de ces données. Elle a ainsi créé des épreuves testant la boucle phonologique, le calepin visuo-spatial et le centre exécutif.

1. Epreuves évaluant la boucle phonologique

Dans cette première version du protocole, trois épreuves permettent d'évaluer la boucle phonologique :

- **Répétition de logatomes unisyllabiques**

A travers cette épreuve, il s'agit d'évaluer la capacité des enfants à apprendre un vocabulaire nouveau.

- **Répétition de lettres phonologiquement proches et éloignées**

Cette épreuve permet d'attester de l'existence du stock phonologique grâce à un effet de similarité phonologique.

- **Répétition de mots courts et longs**

Le but de cette épreuve est de mettre en évidence l'existence de la boucle articulatoire grâce à un effet de longueur du mot.

2. Epreuves évaluant le calepin visuo-spatial

- **Les formes étranges**

Cette épreuve se base sur l'épreuve d'empan visuel de Pross, Gaonac'h et Gaux (2008, cités par Luong, 2009) dans laquelle les enfants doivent reproduire des séries de figures sans signification de longueur croissante. Un entraînement au graphisme de ces figures est effectué au préalable. Il s'agit de tester le calepin visuo-spatial sur son versant visuel.

- **La grille de localisation**

Cette épreuve permet d'évaluer la composante spatiale du calepin visuo-spatial. L'enfant doit reproduire une série de déplacements de longueur croissante sur une grille de neuf cases.

Ces deux épreuves ont été choisies avec pour objectif de limiter la verbalisation et donc le recodage phonologique des items. Il s'agissait de reproduire des items sans signification et sans possibilité d'association entre eux afin d'éviter toute stratégie d'apprentissage.

3. Epreuves évaluant le centre exécutif

- **Le chiffre manquant**

L'objectif de cette épreuve est d'évaluer les capacités de contrôle et de manipulation simultanées au stockage. On dit à l'enfant une suite de chiffres dans le désordre à laquelle il manque un chiffre. L'enfant doit alors remettre les chiffres dans l'ordre dans sa tête et donner le chiffre manquant.

- **Pierre, feuille, ciseaux**

Le but de cette épreuve est l'évaluation de la capacité d'inhibition de séries de gestes utilisés dans le célèbre jeu « Pierre, feuille, ciseaux ». L'enfant doit imiter des séries de trois gestes le plus rapidement possible. Les gestes doivent dans un premier temps être imités dans le même ordre que l'examineur puis dans un second temps dans l'ordre inverse. L'épreuve compte dix séquences de trois gestes : cinq à l'endroit et cinq à l'envers.

- **Double tâche**

L'objectif de cette épreuve est d'évaluer la capacité à réaliser simultanément deux tâches de nature différente : l'une verbale, l'autre visuo-spatiale. Il s'agit pour l'enfant de répéter des logatomes tout en effectuant une tâche de barrage de smileys sur une feuille. Les deux tâches sont dans un premier temps réalisées isolément avant d'être réalisées simultanément. Cette épreuve s'inspire de l'épreuve de double tâche de Baddeley (1986).

B. Les critiques de Cynthia Luong concernant les épreuves

Cynthia Luong a émis des critiques concernant certaines épreuves qui présentaient des biais.

Tout d'abord, les consignes de **l'épreuve « feuille, pierre, ciseaux »** étaient beaucoup trop complexes, occasionnant un souci de compréhension de la part des enfants. De plus, cette épreuve semblait évaluer des fonctions autres que l'inhibition car elle faisait également appel à la fonction de mémorisation.

De plus, les scores de **l'épreuve du chiffre manquant** étaient beaucoup trop élevés. Ils s'approchaient en effet souvent de la note maximale (effet plafond).

A l'inverse, les scores de l'épreuve des « **Formes étranges** » se sont avérés trop faibles (effet plancher). Les items étaient trop complexes et les enfants se plaignaient souvent de la difficulté de la tâche.

Les scores à l'épreuve de **logatomes** se sont révélés faibles en comparaison à ceux de la littérature ce qui nécessitait de reconsidérer les items peut-être trop complexes.

Des incertitudes ont été évoquées concernant l'**effet de similarité phonologique** et l'**effet de longueur du mot**. Les résultats montraient que la plupart des enfants n'étaient pas sensibles à ces effets. L'hypothèse suggérée était l'existence de **biais** des épreuves **des lettres phonologiquement proches et éloignées** et des **mots courts et longs**.

L'épreuve de double tâche est également à reconsidérer. La reproductibilité de cette tâche est en effet mise en doute dans sa version papier-crayon (Metz-Lutz et al., 2004, cités par Luong, 2009). Certains des scores sont meilleurs en situation de double tâche qu'en situation de tâches effectuées isolément alors que le contraire est normalement attendu.

C. Perspectives proposées par Cynthia Luong

1. Les changements à apporter au protocole

Face au constat des biais présents dans ces épreuves, des modifications méritaient d'être apportées au protocole.

Cynthia Luong a donc proposé de **conserver les épreuves suivantes** :

- les **logatomes**, les **formes étranges** et le **chiffre manquant** sous réserve de **modification des items**.
- **pierre/feuille/ciseaux** sous réserve d'effectuer d'importantes **modifications des consignes**.
- la **grille de localisation** sans nécessité d'apporter des modifications.

Elle a suggéré **d'évincer** les épreuves des **lettres phonologiquement proches et éloignées**, des **mots courts et longs** et **l'épreuve de double tâche** à cause des incertitudes relevées dans la littérature et d'observations de résultats inverses à ceux attendus.

2. Elaboration de nouveaux outils plus fiables

L'élaboration d'un test sur **support informatique** limiterait les biais concernant le temps de présentation des items qui est difficile à réguler. De plus, cela permettrait à l'enfant de manier un **outil plus ludique** que les tests en version papier-crayon et en phase avec les technologies actuelles. C'est pourquoi nous avons réfléchi à l'intégration d'au moins une épreuve sur support informatique.

D. Modifications apportées au protocole

Le protocole initial nécessitant des modifications, nous avons donc tenu compte des critiques émises par Cynthia Luong et des données de la littérature afin de procéder au remaniement des différentes épreuves. Nous avons donc modifié et évincé certaines d'entre elles. Nous en avons également créé de nouvelles afin de remplacer celles que nous avons écartées du protocole.

1. Les modalités de passation

Certaines modalités de passation ont été modifiées. Dans le protocole initial, seuls deux essais étaient proposés. Nous en avons ajouté un troisième afin d'être certain de l'empan de l'enfant. En effet, il nous semble plus juste de déterminer l'empan de l'enfant lorsqu'il a échoué à deux items sur trois plutôt qu'à un item sur deux où le doute est permis.

La **modalité de présentation des logatomes** a également été changée. Dans le protocole initial, la vitesse de présentation était d'un logatome unisyllabique par seconde. Or, Cynthia Luong s'est rendue compte que les résultats étaient faibles. Cela est peut-être dû au choix des items mais également à la manière de présenter ces derniers. En effet, Poncelet et Van der Linden ont créé en 2003 une épreuve de logatomes qui sont **prononcés à la manière d'un mot**. Un mot n'étant pas prononcé à la manière d'une syllabe par seconde, il doit en être de même pour les logatomes qui évaluent la capacité à apprendre de nouveaux mots.

Pour les autres épreuves, la présentation des items reste d'un item par seconde.

Nous sommes restée sur le même mode de présentation des **consignes**, énoncées le plus clairement possible et la proposition d'un **exemple**. Nous avons gardé la possibilité d'un deuxième exemple en cas de problème de perception des items (bruit extérieur, erreur de la part du testeur...).

2. Les épreuves

a) Epreuves conservées

❖ *Epreuves évaluant la boucle phonologique*

Nous avons conservé les épreuves suivantes en effectuant toutefois des modifications :

➤ **Les logatomes**

L'ensemble des items a été conservé. Nous avons seulement modifié quelques items dont l'enchaînement était difficile à prononcer ou dont les phonèmes n'étaient pas assez variés au sein du logatome (par exemple une suite de constrictives).

- Choix des items

Concernant les nouveaux items ajoutés pour le troisième essai, nous avons pris en compte les mêmes critères que Cynthia Luong, à savoir **éviter l'effet de lexicalité** en choisissant des logatomes éloignés le plus possible de mots existants afin d'évaluer la boucle phonologique de la manière la plus pure possible.

Au niveau des **caractéristiques phonologiques** des logatomes, nous avons tenu compte des mêmes critères définis initialement. Nous avons en effet choisi des logatomes avec une **structure syllabique simple** (consonne-voyelle) afin que certains ne soient pas plus faciles à mémoriser que d'autres. Nous avons varié les phonèmes au sein du logatome et au sein des listes afin d'éviter l'interférence d'un effet de similarité phonologique dans cette épreuve.

➤ **Les mots courts et longs**

Bien que Cynthia Luong ait conseillé d'évincer cette épreuve du fait de l'absence d'effet de longueur, nous l'avons tout de même conservée en procédant à quelques modifications. Nous avons en effet modifié la fréquence des mots d'après la base de données lexicales Manulex (Ortega et Lété, 2010). Les mots avaient été initialement choisis en évitant au maximum le degré d'imagerie et la sémantisation. Ils se sont révélés trop complexes pour les enfants qui se plaignaient de la lourdeur de la tâche. Ces derniers pouvaient en effet ne pas restituer tous les mots de la série donnée, non pas à cause d'un problème mnésique, mais parce que certains mots leur étaient inconnus donc plus difficiles à mémoriser. De ce fait, cela peut ne pas refléter l'empan réel de l'enfant et biaiser également l'effet de longueur.

- Choix des items

Nous avons donc choisi des **mots fréquents** en nous basant sur Manulex. Nous avons essayé de sélectionner des mots ayant le **même degré d'imagerie**. Ce dernier critère repose tout de même sur une vision subjective. Nous avons choisi des mots ayant la même catégorie grammaticale, à savoir **le nom commun**.

❖ *Epreuves évaluant le calepin visuo-spatial*

➤ **Grille de localisation**

Nous avons conservé cette épreuve sans effectuer de modification sur les items mais en ajoutant un troisième essai.

❖ Epreuves évaluant le centre exécutif

➤ **Epreuve de double tâche**

Nous avons décidé de conserver cette épreuve en modifiant le support. En effet, la version papier-crayon de cette épreuve était mise en doute dans la littérature et n'avait pas fonctionné non plus dans l'étude de Cynthia Luong. C'est pourquoi nous avons décidé d'en créer une sur support informatique.

Cette épreuve comprend toujours deux tâches, une verbale et l'autre visuo-spatiale. Cependant, cette dernière, qui consistait en une tâche de barrage dans la version initiale, a été remplacée par une tâche de poursuite visuelle sur ordinateur. La tâche verbale consiste en une répétition de chiffres selon l'empan de l'enfant. Dans un premier temps, les deux tâches sont effectuées isolément durant une minute chacune. Elles sont ensuite effectuées en même temps durant une minute.

b) Epreuves évincées

❖ Epreuves évaluant la boucle phonologique

➤ **Epreuves de lettres phonologiquement proches et éloignées**

Nous avons décidé de supprimer l'épreuve de lettres phonologiquement proches et éloignées comme le conseillait Cynthia Luong, les enfants n'étant pas sensibles à l'effet de similarité phonologique.

❖ Epreuves évaluant le calepin visuo-spatial

➤ **Epreuve des formes étranges**

Devant la complexité de l'épreuve nous avons décidé de l'écarter du protocole. Créer d'autres formes moins complexes et sans signification est beaucoup trop subjectif. De plus, l'entraînement nécessaire au préalable pour réaliser les formes graphiques nous paraissait trop lourd au sein d'un protocole dont la durée de passation totale était déjà longue.

❖ Epreuves évaluant le centre exécutif

➤ **Le chiffre manquant**

Cynthia Luong avait choisi des chiffres allant de 1 à 9 afin que les scores ne soient pas imputables aux difficultés en arithmétique des enfants. Par la suite, les scores se sont révélés trop élevés. Nous n'avons cependant pas souhaité modifier les items en choisissant des chiffres au dessus de 9 pour éviter tout de même ce biais et avons préféré évincer cette épreuve et proposer une épreuve d'empan transposé.

➤ **Pierre/Feuille/Ciseaux**

Cette tâche était destinée à évaluer les capacités du centre exécutif à inhiber des automatismes. Or, les séries de gestes qui sont montrées à l'enfant ne sont pas automatiques puisqu'il doit les mémoriser avant de les reproduire. D'après les critiques émises, il semblait en effet que cette épreuve faisait intervenir d'autres processus tels que la mémorisation. De plus, cette tâche fait appel à des capacités motrices qui peuvent être un biais à la bonne réalisation des gestes. Face à toutes ces contraintes et la trop grande complexité des consignes, nous avons décidé de ne pas garder cette épreuve. Nous ne l'avons pas remplacée par manque de temps. De plus, sans compter cette épreuve, la durée de passation du protocole est d'environ quarante-cinq minutes, ce qui est déjà assez conséquent.

c) Nouvelles épreuves

❖ Epreuves évaluant la boucle phonologique

➤ **Empan endroit de chiffres**

Cette épreuve est la plus utilisée pour tester la mémoire à court terme verbale (Poncelet, Majerus, Van der Linden, 2009). Il nous semble intéressant d'insérer une épreuve dont les éléments sont très familiers pour l'enfant afin d'établir une comparaison avec les logatomes dont les items sont étrangers aux enfants. Noël (2007) va dans ce sens en suggérant que la tâche de répétition de non-mots devrait être complétée par une tâche d'empan de chiffres.

➤ **Mots phonologiquement proches et mots phonologiquement éloignés**

Nous avons remplacé l'épreuve des lettres phonologiquement proches et éloignées par celle-ci car il s'agit de l'épreuve la plus fréquemment citée dans la littérature pour mettre en évidence un effet de similarité phonologique. Nous voulions tester l'intégrité du stock phonologique par la mise en évidence d'un effet de similarité en proposant un autre type de matériel verbal puisque celui choisi initialement n'avait pas généré les résultats attendus.

- Choix des items

Pour choisir nos items, nous nous sommes basée sur les données de la littérature. Les mots phonologiquement proches sont des mots unisyllabiques, très proches d'un point de vue phonologique, partageant la même voyelle. Quant aux mots phonologiquement éloignés, il s'agit de mots unisyllabiques, éloignés d'un point de vue phonologique, dont les voyelles et les consonnes sont différentes (Poncellet, Majerus, Van Der Linden, 2009).

Pour choisir nos items, nous nous sommes servis de la base de données lexicales Manulex (Ortega et Lété, 2010).

Concernant les mots **phonologiquement proches**, nous avons donc choisi des **paires minimales** dont la voyelle commune est le phonème [u].

Quant aux **mots phonologiquement éloignés**, nous avons choisi des **mots unisyllabiques** ayant pour structure consonne-voyelle-consonne ou consonne-voyelle. Nous avons varié les phonèmes au sein des mots et au sein des listes elles-mêmes afin que les mots soient phonologiquement éloignés au maximum les uns des autres.

➤ **Mots courts et mots longs avec suppression articulatoire**

Nous avons ajouté cette épreuve afin d'avoir une tâche supplémentaire qui puisse mettre en évidence l'existence de la boucle articulatoire. En effet, d'après les données de la littérature, les deux tâches citées pour cela sont l'épreuve des mots courts et longs et l'épreuve de suppression articulatoire. Si l'enfant n'est pas sensible à l'effet de longueur, nous pourrions ainsi voir s'il est sensible à l'effet de suppression articulatoire en comparant les scores des mots courts et des mots longs sans suppression articulatoire avec les scores des mots courts et des mots longs avec suppression articulatoire.

- Choix des items

Nous avons choisi les items selon les mêmes critères que les mots courts et longs sans suppression articulatoire. Les mots ont été choisis à partir de la même base de données lexicales.

❖ *Epreuves évaluant le calepin visuo-spatial*

➤ **Patterns visuels**

Nous avons créé cette épreuve afin de remplacer celle des « formes étranges ». Nous nous sommes basée sur l'épreuve de Wilson, Scott et Power (1987, cités par Parisse et Mollier, 2008). Nous avons cependant décidé de l'effectuer sur ordinateur afin qu'elle soit plus attractive. De plus, cela permet d'avoir un temps fixe de présentation des items. Nous avons choisi de présenter des grilles dont la moitié des cases sont noires. Ces grilles sont présentées durant quatre secondes sur l'écran de l'ordinateur. L'enfant doit ensuite cocher sur une grille vierge les cases correspondant aux cases noires. Nous avons déterminé le temps de présentation des items en nous basant sur l'étude de Parisse et Mollier (2008) qui mentionnent un temps de présentation du pattern de 3 à 4 secondes.

❖ *Epreuve évaluant le centre exécutif*

➤ **Epreuve d'empan transposé**

Nous avons créé cette épreuve afin de remplacer l'épreuve du « chiffre manquant ». Nous avons respecté le souhait initial de Cynthia Luong de ne pas utiliser l'épreuve classique de chiffres envers. Nous avons donc choisi l'épreuve d'empan transposé en nous basant sur les épreuves citées par Soprano et Narbona (2009) pour tester la mémoire de travail.

Cette épreuve d'empan transposé nécessite en effet la mémorisation et la manipulation simple de chiffres. Il s'agit de donner une série de chiffres à l'enfant qui devra restituer les chiffres dans le même ordre mais après avoir soustrait la constante un à chaque chiffre. Si l'on donne la série 2 – 6 – 7, l'enfant doit répondre 1 – 5 – 6.

E. Présentation du nouveau protocole

Nous allons à présent décrire les épreuves selon la composante qu'elles évaluent : la boucle phonologique, le calepin visuo-spatial, le centre exécutif.

1. Boucle phonologique

❖ Empan de chiffres

- **Objectifs** : Evaluation de la boucle phonologique (stock phonologique passif et récapitulation articulatoire active). Le but est également de connaître l'empan verbal de l'enfant.
- **Modalité** : Passation auditive et visuelle (si lecture labiale), réponse orale immédiate.
- **Tâche** : Transposition audio-phonatoire immédiate.
- **Description** : L'enfant va devoir répéter des séries de chiffres immédiatement après l'examineur. Ces séries augmentent de façon croissante, de deux à sept chiffres. Pour chaque longueur, l'enfant dispose de trois essais différents. Le troisième essai n'est proposé que s'il a échoué à l'un des deux premiers. La vitesse de présentation des items est d'un chiffre par seconde.
- **Consignes et exemples** : « Je vais te dire des chiffres. Dès que j'ai fini, tu répètes exactement comme moi. Par exemple, si je te dis « 2 – 8 », tu répètes..., « 5 – 7 »... »
Bravo ! On commence.
- **Règle d'arrêt** : L'épreuve se termine lorsqu'il y a échec à deux séries de même longueur.
- **Notation** : On considère qu'une réponse est exacte lorsque la série de chiffres a été correctement répétée et dans le bon ordre séquentiel. L'autocorrection est autorisée

dans la mesure où elle n'a pas été incitée par l'examineur. Nous ne considérons pas les erreurs imputables à un trouble d'articulation comme des réponses erronées.

- Cotation : L'empan est déterminé en fonction de la série la plus longue correctement répétée. Si l'enfant fait deux erreurs à la série de cinq chiffres, on considère alors que son empan verbal est de quatre. La note finale est celle de cet empan. Les scores vont de 0 à 7.

❖ **Mots phonologiquement proches et éloignés**

- Objectifs : Evaluation du stock phonologique (composante passive de la boucle phonologique) en démontrant l'existence de l'effet de similarité phonologique.
- Modalité : Passation auditive et visuelle (si lecture labiale), réponse orale immédiate.
- Tâche : Transposition audio-phonatoire immédiate.
- Description : L'enfant va devoir répéter des séries de mots unisyllabiques immédiatement après l'examineur. Ces séries augmentent de façon croissante, de deux à sept mots. Pour chaque longueur, l'enfant dispose de trois essais différents. Le troisième essai n'est proposé que s'il a échoué à l'un des deux premiers. Les séries sont constituées de mots phonologiquement proches puis de mots phonologiquement éloignés.

La vitesse de présentation des items est d'un mot par seconde.

- Consignes et exemples : « Je vais te dire des mots. Dès que j'ai fini, tu répètes exactement comme moi. Par exemple, si je te dis « sel-dos », tu répètes..., « sou-boue »... » Bravo ! On commence.
- Règle d'arrêt : L'épreuve se termine lorsqu'il y a échec à deux séries de même longueur.

- Notation : On considère qu'une réponse est exacte lorsque la série de mots a été correctement répétée et dans le bon ordre séquentiel. L'autocorrection est autorisée dans la mesure où elle n'a pas été incitée par l'examineur. Nous ne considérons pas les erreurs imputables à un trouble d'articulation comme des réponses erronées.

- Cotation : Dans chacune des catégories, l'empan est déterminé en fonction de la série la plus longue correctement répétée. Si l'enfant fait deux erreurs à la série de cinq mots, on considère alors que son empan est de quatre. La note finale est celle de cet empan. Les scores vont de 0 à 7.

Les résultats des deux catégories sont ensuite comparés. Si le score des mots phonologiquement proches est plus faible que le score des mots phonologiquement éloignés, on peut considérer que le stock phonologique est opérationnel. Dans ce cas, le score est noté 1, sinon il est noté 0.

❖ **Mots courts et longs sans suppression articulatoire**

- Objectifs : Evaluation de la boucle articulatoire (composante active de la boucle phonologique) en démontrant l'existence de l'effet de longueur du mot.

- Modalité : Passation auditive et visuelle (si lecture labiale), réponse orale immédiate.

- Tâche : Transposition audio-phonatoire immédiate.

- Description : L'enfant va devoir répéter des séries de mots courts unisyllabiques et des séries de mots longs trisyllabiques immédiatement après l'examineur. Ces séries augmentent de façon croissante, de deux à sept mots. Pour chaque longueur, l'enfant dispose de trois essais différents. Le troisième essai n'est proposé que s'il a échoué à l'un des deux premiers.

La vitesse de présentation des items est d'un mot par seconde.

- Consignes et exemples : « Je vais te dire des mots. D'abord, il y aura des petits mots. Ensuite il y aura des grands mots. Dès que j'ai fini, tu répètes exactement comme moi.

Par exemple, si je te dis « force – ciel », tu répètes..., « tournesol – conviction »... ».
Bravo ! On commence.

- Règle d'arrêt : L'épreuve se termine lorsqu'il y a échec à deux séries de même longueur.
- Notation : On considère qu'une réponse est exacte lorsque la série de mots a été correctement répétée et dans le bon ordre séquentiel. L'autocorrection est autorisée dans la mesure où elle n'a pas été incitée par l'examineur. Nous ne considérons pas les erreurs imputables à un trouble d'articulation comme des réponses erronées.
- Cotation : Dans chacune des catégories, l'empan est déterminé en fonction de la série la plus longue correctement répétée. Si l'enfant fait deux erreurs à la série de cinq mots, on considère alors que son empan est de quatre. La note finale est celle de cet empan. Les scores vont de 0 à 7.

Les résultats des deux catégories sont ensuite comparés. Si le score des mots longs est plus faible que le score des mots courts, on peut considérer que la boucle articulatoire est opérationnelle. Dans ce cas, le score est noté 1, sinon il est noté 0.

❖ **Mots courts et longs avec suppression articulatoire**

- Objectifs : Evaluation de la boucle articulatoire (composante active de la boucle phonologique) en démontrant l'existence d'un effet de suppression articulatoire.
- Modalité : Passation auditive et visuelle (si lecture labiale), réponse orale immédiate.
- Tâche : Transposition audio-phonatoire immédiate.
- Description : L'enfant va devoir répéter des séries de mots courts unisyllabiques et des séries de mots longs trisyllabiques immédiatement après l'examineur. L'enfant devra prononcer la syllabe « ta » en continu pendant la présentation des items. Les séries augmentent de façon croissante, de deux à sept mots. Pour chaque longueur, l'enfant

dispose de trois essais différents. Le troisième essai n'est proposé que s'il a échoué à l'un des deux premiers.

La vitesse de présentation des items est d'un mot par seconde.

- Consignes et exemples : « Je vais te dire des mots. Comme précédemment, il y aura des petits mots et ensuite des grands mots. Or, pendant que je te dirai les mots, tu prononceras « ta ta ta ta ta ». Dès que j'ai fini les mots, tu répètes exactement comme moi. Par exemple, si je dis « force – ciel », tu prononces en même temps... (ta ta ta ta ta) et ensuite tu répètes..., « tournesol – conviction »... » Bravo ! On commence.
- Règles d'arrêt : L'épreuve se termine lorsqu'il y a échec à deux séries de même longueur.
- Notation : On considère qu'une réponse est exacte lorsque la série de mots a été correctement répétée et dans le bon ordre séquentiel. L'autocorrection est autorisée dans la mesure où elle n'a pas été incitée par l'examineur. Nous ne considérons pas les erreurs imputables à un trouble d'articulation comme des réponses erronées.
- Cotation : Dans chacune des catégories, l'empan est déterminé en fonction de la série la plus longue correctement répétée. Si l'enfant fait deux erreurs à la série de cinq mots, on considère alors que son empan est de quatre. La note finale est celle de cet empan. Les scores vont de 0 à 7.

Ensuite, les résultats des mots courts et longs sans suppression articulatoire et les résultats des mots courts et longs avec suppression articulatoire sont comparés. On compare la somme des scores des mots courts et des mots longs sans suppression articulatoire avec la somme des scores des mots courts et des mots longs avec suppression articulatoire.

Si les résultats des mots courts et longs avec suppression articulatoire sont plus faibles que les résultats des mots courts et longs sans suppression articulatoire, on peut considérer que la boucle articulatoire est opérationnelle. Dans ce cas, le score est noté 1, sinon il est noté 0.

❖ Logatomes

- Objectifs : Evaluation de la boucle phonologique (stock phonologique passif et récapitulation articulatoire active).
- Modalité : Passation auditive et visuelle (si lecture labiale), réponse orale immédiate.
- Tâche : Transposition audio-phonatoire immédiate.
- Description : L'enfant va devoir répéter des séries de logatomes unisyllabiques immédiatement après l'examineur. Ces séries augmentent de façon croissante, de deux à sept logatomes unisyllabiques. Pour chaque longueur, l'enfant dispose de trois essais différents. Le troisième essai n'est proposé que s'il a échoué à l'un des deux premiers. La présentation des logatomes s'effectue à la manière d'un mot.
- Consignes et exemples : « Je vais te dire des mots bizarres. Ces mots ne veulent rien dire. Dès que j'ai fini, tu vas répéter exactement comme moi. Par exemple, si je te dis « buka », tu répètes..., « vouzo »... ». Bravo ! On commence.
- Règle d'arrêt : L'épreuve se termine lorsqu'il y a échec à deux séries de même longueur.
- Notation : On considère qu'une réponse est exacte lorsque la série de mots a été correctement répétée et dans le bon ordre séquentiel. L'autocorrection est autorisée dans la mesure où elle n'a pas été incitée par l'examineur. Nous ne considérons pas les erreurs imputables à un trouble d'articulation comme des réponses erronées.
- Cotation : Dans chacune des catégories, l'empan est déterminé en fonction de la série la plus longue correctement répétée. Si l'enfant fait deux erreurs à la série de cinq logatomes unisyllabiques, on considère alors que son empan est de quatre. La note finale est celle de cet empan. Les scores vont de 0 à 7.

2. Calepin visuo-spatial

❖ Grille de localisations

- Objectifs : Evaluer le calepin visuo-spatial sur son versant spatial.
- Modalité : Passation visuo-spatiale séquentielle. Réponse motrice immédiate.
- Tâche : Imitation de séquences visuo-spatiales (2D).
- Matériel : Une grille de neuf cases et un pion.
- Description : L'enfant va devoir reproduire des séries de déplacements d'un pion sur une grille de neuf cases. Ces séries augmentent de façon croissante, de deux à sept cases. Pour chaque longueur, l'enfant dispose de trois essais différents. Le troisième essai n'est proposé que s'il a échoué à l'un des deux premiers.
La vitesse de présentation des items est d'une case par seconde.
- Consigne et exemples : « Regarde cette grille. Tu vois, il y a plusieurs cases et un pion. Je vais déplacer le pion d'une case à l'autre. Dès que j'ai fini, tu fais exactement comme moi. Par exemple, si je fais (7 – 8), tu fais..., (4 – 2)... ». Bravo ! On commence.
- Règle d'arrêt : L'épreuve se termine lorsqu'il y a échec à deux séries de même longueur.
- Notation : On considère qu'une réponse est exacte lorsque la série est correctement imitée et dans le bon ordre. L'autocorrection est autorisée dans la mesure où elle n'a pas été incitée par l'examineur.
- Cotation : L'empan spatial est déterminé en fonction de la série la plus longue où deux essais ont été réussis. Si l'enfant fait deux erreurs à la série de cinq cases, on considère

alors que son empan est de quatre. La note finale est celle de cet empan. Les scores vont de 0 à 7.

❖ **Patterns visuels**

- Objectifs : Evaluer le calepin visuo-spatial sur son versant visuel.
- Modalité : Passation visuo-spatiale simultanée. Réponse motrice immédiate.
- Tâche : Reproduction de configurations (patterns) composées de cases noires et blanches.
- Matériel : Les grilles sont présentées sur l'écran d'un ordinateur. Les enfants disposent de feuilles sur lesquelles sont imprimées des grilles vierges.
- Description : L'enfant va devoir mémoriser et reproduire des configurations visuelles composées de cases noires et blanches sur une grille qui apparaît sur l'écran (la moitié des cases est noire et l'autre moitié des cases est blanche). Sur les grilles vierges mises à sa disposition, l'enfant va ensuite devoir inscrire des croix à la place des cases noires. Le nombre de cases noires augmente de façon croissante, de deux à quatorze cases. Pour chaque longueur, l'enfant dispose de trois essais différents. Le troisième essai n'est proposé que s'il a échoué à l'un des deux premiers.
La grille apparaît pendant quatre secondes sur l'écran.
- Consignes et exemples : « Je vais te montrer un quadrillage sur l'écran de l'ordinateur ; certaines cases sont noires et d'autres sont blanches. Le quadrillage apparaît quelques secondes sur l'écran. Je vais te donner une grille vierge sur laquelle tu mettras des croix à la place des cases noires lorsque le quadrillage aura disparu de l'écran. Nous allons faire des exemples (grilles de quatre cases → empan de 2, grille de six cases → empan de 3) ».
- Règle d'arrêt : L'épreuve se termine lorsqu'il y a échec à deux séries du même nombre de cases.

- Notation : On considère qu'une réponse est exacte lorsque la configuration est correctement reproduite. L'autocorrection est autorisée dans la mesure où elle n'a pas été incitée par l'examineur.
- Cotation : L'empan visuel est déterminé en fonction de la configuration la plus longue où deux essais ont été réussis. Si l'enfant fait deux erreurs à la série de cinq cases, on considère alors que son empan est de quatre. La note finale est celle de cet empan. Les scores vont de 0 à 7.

3. Centre exécutif

❖ *Empan transposé*

- Objectifs : Evaluer les capacités de stockage et de traitement simultanés de l'information.
- Modalité : Présentation auditive, réponse orale.
- Tâche : Rétention d'un matériel verbal (série de chiffres) auquel on enlève une constante (- 1).
- Description : L'enfant va devoir écouter une série de chiffres. Il va devoir restituer la série après avoir soustrait 1 à chaque chiffre et en respectant l'ordre donné au départ.
- Consignes et exemples : « Je vais te dire des chiffres. Dès que j'ai fini, tu répètes la série en faisant « moins un » à chaque chiffre. Par exemple, si je dis « 3 – 5 », tu répètes..., « 8 – 4 »... ». Bravo ! On commence.
- Règle d'arrêt : L'épreuve se termine lorsqu'il y a échec à deux séries de même longueur.
- Notation : On considère qu'une réponse est exacte lorsque la série de chiffres a été correctement transposée et répétée en respectant l'ordre séquentiel. L'autocorrection

est autorisée dans la mesure où elle n'a pas été incitée par l'examineur. Nous ne considérons pas les erreurs imputables à un trouble d'articulation comme des réponses erronées.

- Cotation : L'empan est déterminé en fonction de la série la plus longue correctement répétée. Si l'enfant fait deux erreurs à la série de cinq chiffres, on considère alors que son empan verbal est de quatre. La note finale est celle de cet empan. Les scores vont de 0 à 7.

❖ Double-tâche

- Objectifs : Evaluer la gestion simultanée de deux tâches en compétition et de nature différente : l'une verbale, l'autre visuo-spatiale.
- Modalité : Présentation auditive et visuelle. Réponse orale et motrice.
- Tâche : Transposition audio-phonatoire et tâche de poursuite visuelle.
- Matériel : La tâche de poursuite visuelle s'effectue sur ordinateur.
- Description : L'enfant va devoir réaliser de façon isolée deux tâches : une tâche de répétition de chiffres à la longueur de son empan verbal pendant une minute puis une tâche de poursuite visuelle sur ordinateur pendant une minute. Aussitôt après, l'enfant va réaliser les deux tâches simultanément pendant une minute.
La vitesse de présentation des chiffres est d'une seconde par chiffre.
- Consigne et exemples : « Je vais te dire des chiffres encore une fois. Tu vas les répéter exactement comme moi le plus vite possible. Par exemple, si je dis « 2 – 8 » tu répètes... » Bravo ! On commence.
- Règle d'arrêt : à une minute, quelles que soient les erreurs.

Puis :

- Consigne : « Regarde bien l'écran de l'ordinateur. Tu vas cliquer sur « Start » quand je te le dirai. Tu vas alors voir un point rouge apparaître sur l'écran. Tu cliques dessus. Il va alors apparaître à un autre endroit de l'écran. Tu cliques alors dessus à nouveau et ainsi de suite jusqu'à ce que je te dise stop. Tu vas le plus vite possible. »
- Règle d'arrêt : à une minute.

Puis :

- Consigne : « Maintenant ça va être plus difficile. Tu vas faire les deux en même temps le plus vite possible. Je vais te dire des chiffres comme tout à l'heure. Tu vas les répéter exactement comme moi. En même temps, tu vas cliquer sur le point qui apparaît sur l'écran jusqu'à ce que je te dise stop ».
- Règle d'arrêt : à une minute quelles que soient les erreurs.
- Notation : Concernant l'épreuve de répétition de chiffres, on considère qu'une réponse est exacte lorsque la série de chiffre a été correctement répétée et dans le bon ordre séquentiel. L'autocorrection est autorisée dans la mesure où elle n'a pas été incitée par l'examineur. Nous ne considérons pas les erreurs imputables à un trouble d'articulation comme des réponses erronées.
- Cotation : Concernant la tâche de poursuite visuelle, le score correspond au nombre de clics effectués par l'enfant en une minute. Le score s'affiche sur l'écran. Ces deux épreuves réalisées isolément nous donnent le niveau de performance de l'enfant pour chaque épreuve ; le nombre de séries de chiffres répétées en une minute, et le nombre de clics effectués en une minute.

En situation de double tâche, la cotation est la même.

Les résultats en passation isolée et en situation de double tâche sont ensuite comparés.

Une baisse des score est notée 1, sinon on note 0.

La notation de cette épreuve étant différente car l'on ne calcule pas d'empan, nous avons décidé de ne pas l'intégrer dans le score total des trois composantes.

II. Population

A. Choix des variables

Afin de poursuivre le travail de Cynthia Luong (2009), nous avons choisi des enfants dont la mémoire de travail était mature, notamment une boucle phonologique constituée de ses deux composantes, le stock phonologique et la boucle articulatoire. La mémoire de travail est mature vers 7-8 ans (Lussier, Flessas, 2009). C'est pour cela que le choix de la population s'est porté sur des enfants scolarisés en cycle 3.

Le but de notre recherche est d'établir un début de normalisation de notre outil. Pour cela, nous avons voulu obtenir un échantillon d'enfants le plus représentatif possible. Pour recruter notre population, nous avons donc déterminé les critères suivants : le **niveau scolaire**, le **sexe**, la **zone d'éducation** et **zone urbaine/zone rurale**.

Nous avons choisi le niveau scolaire et non l'âge car il s'agissait du critère initialement choisi par Cynthia Luong. Elle avait également pris en compte le sexe et la zone d'éducation.

Nous avons ajouté le critère de zone urbaine ou zone rurale afin d'établir un échantillon le plus riche possible.

B. Echantillon choisi

Nous avons testé notre outil sur un total de **150 enfants**. Nous avons rencontré ces enfants dans cinq écoles publiques :

- école élémentaire Jules Michelet à Cenon (Gironde)
- école élémentaire Cap de Bos à Pessac (Gironde)
- école élémentaire de Capian (Gironde)
- école primaire d'Odos (Hautes-Pyrénées)
- école primaire de Louey (Hautes-Pyrénées)

Dans un souci de clarté, nous avons résumé cette population dans le tableau suivant :

	CE2		CM1		CM2		Total
	Garçons	Filles	Garçons	Filles	Garçons	Filles	
Ecole de Cenon Zone urbaine, ZEP	4	9	7	4	6	5	35
Ecole de Pessac Zone urbaine, non ZEP	6	7	4	7	6	6	36
Ecole de Capian Zone rurale, ZEP	9	3	7	9	8	8	44
Ecole d'Odos Zone rurale, non ZEP	0	0	1	3	6	6	16
Ecole de Louey Zone rurale, non ZEP	5	5	5	4	0	0	19
Total	24	24	24	27	26	25	150
	48		51		51		150

Tableau 1 : Population témoin

Nous avons choisi des enfants tout-venant, sans distinguer ceux pris en charge en orthophonie de ceux qui ne le sont pas. Nous n'avons également pas fait la distinction entre les enfants doués en classe de ceux plus en difficultés. La raison de ce choix est d'obtenir un échantillon le plus représentatif possible.

III. La passation du test : condition et modalités

A. Contact avec les enseignants

Dans un premier temps, nous avons pris contact avec les directeurs de différentes écoles. Nous leur avons exposé l'objet de notre recherche et les conditions de passation du protocole. Après avoir obtenu leur accord, nous leur avons fourni une lettre d'autorisation à remettre aux parents. Lorsque nous avons obtenu des réponses favorables de la part de ces derniers nous avons pu débiter les passations.

Nous avons ensuite expliqué aux enfants les conditions de passation du test. Nous les avons rassurés sur le fait qu'il était tout à fait normal qu'ils puissent trouver certaines épreuves plus difficiles que d'autres.

B. Dates de passation

Nous avons effectué les passations entre le mois de novembre et le mois d'avril.

C. Modalités de passation

Les passations se sont déroulées individuellement. Les enfants étaient pris sur le temps scolaire.

Nous étions installés dans la bibliothèque ou une salle de classe vide, au calme.

Chaque passation durait environ 40-45 minutes.

Avant de débiter la passation, nous avons évalué le phonétisme des enfants afin de ne pas compter comme une erreur ce qui est imputable à un trouble articulatoire.

D. Pré-test et modifications

Au préalable, nous avons effectué un pré-test sur quelques enfants de CE2, CM1 et CM2 afin de procéder à d'éventuelles modifications telles que des simplifications de consignes, changements d'items...

Cela nous a permis d'évaluer le temps nécessaire à la passation du test.

De plus, un entraînement fut nécessaire afin de mémoriser au mieux les consignes et les items et optimiser ainsi les conditions de passation.

IV. Recueil des données

Les scores étaient notés sur la feuille de passation. Nous les avons ensuite entrés dans un tableau Excel au fur et à mesure afin de pouvoir par la suite traiter les données à l'aide d'outils informatiques et pouvoir effectuer une analyse statistique.

Lors de cette **analyse statistique**, nous avons seulement pris en compte les **variables du niveau scolaire** et du **sexe** afin de pouvoir effectuer des comparaisons sur des groupes plus importants que si l'on avait pris en compte les variables de la zone d'éducation et de la zone urbaine ou rurale. Ces variables, comme nous l'avons précisé précédemment, avaient tout de même été choisies pour constituer un échantillon représentatif de la population. Ainsi, nous bénéficions de six groupes différents pour notre analyse statistique :

- Filles CE2
- Filles CM1
- Filles CM2
- Garçons CE2
- Garçons CM1
- Garçons CM2

Afin de vérifier s'il existe une différence de scores en fonction du sexe et du niveau scolaire des sujets, nous avons réalisé une analyse statistique à l'aide du test ANOVA (2 sexes × 3 niveaux) pour chaque test.

En d'autres termes, on regarde si :

- il existe un *effet du sexe* : est-ce que le score à chacun des tests varie selon le sexe (quel que soit le niveau scolaire),
- il existe un *effet du niveau scolaire* : est ce que le score à chacun des tests varie en fonction du niveau scolaire (quel que soit le sexe),
- il existe un *effet d'interaction entre le sexe et le niveau scolaire*: est-ce que le score à chacun des tests varie en fonction du sexe et du niveau scolaire en même temps.

Si P est inférieur à 0,05, alors la différence entre les scores est significative.

RESULTATS ET ANALYSE

I. Analyse quantitative

A. Analyse des scores totaux

1. Score total boucle phonologique

L'analyse de variance multifactorielle (ANOVA 2 sexes $\times$ 3 niveaux) sur le score boucle phonologique (BP) ne révèle pas d'effet global du sexe ($F_{1, 144} = 1.96$; $p = 0,16$; n.s), ni d'effet d'interaction entre le sexe et l'âge ($F_{2,144} = 0.26$; $p = 0,77$; n.s) mais révèle un **effet global du niveau scolaire** ($F_{1, 144} = 4.21$; $p = 0,02$).

En d'autres termes, le score BP varie seulement en fonction du niveau scolaire (cf.figure 3).

Une analyse post-hoc réalisée à l'aide du test Scheffé montre que le score BP est significativement supérieur chez les enfants de CM2 par rapport aux enfants de CM1 et de CE2 (respectivement $p = 0,04$ et $p = 0,05$).

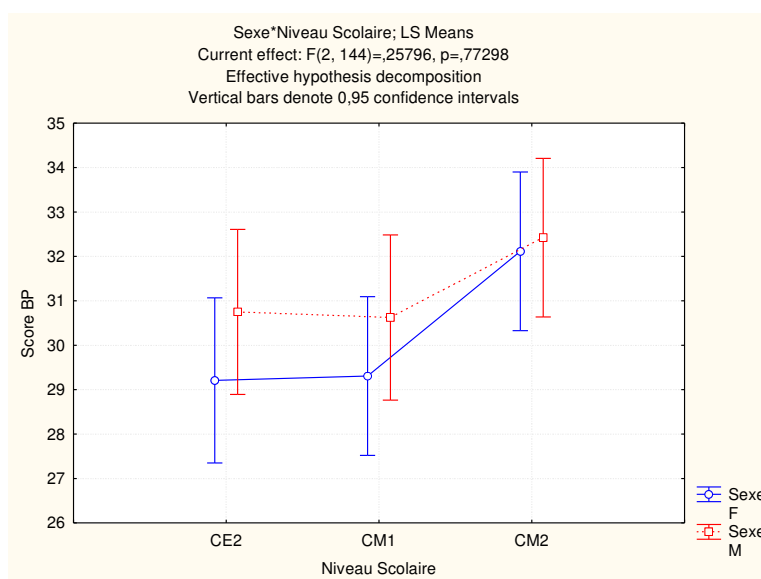


Figure 3 : Comparaison de la moyenne du score BP en fonction du niveau scolaire et du sexe.

F=filles M=garçons

2. Score total calepin visuo-spatial

L'analyse de variance multifactorielle (ANOVA 2 sexes $\times$ 3 niveaux) sur le score calepin visuo-spatial (CVS) révèle un **effet global du sexe** ($F_{1, 144} = 7,7$; $p = 0,006$), un **effet global du niveau scolaire** ($F_{2, 144} = 8,8$; $p = 0,0002$) mais pas d'effet d'interaction entre le sexe et le niveau scolaire ($F_{2, 144} = 0,44$; $p = 0,6$; n.s.).

En d'autres termes, le score CVS varie en fonction du sexe et en fonction du niveau scolaire (cf. figure 4).

Une analyse post-hoc réalisée à l'aide du test Scheffé montre que **le score CVS est significativement supérieur chez les enfants de CM2 par rapport aux enfants de CE2 et de CM1** (respectivement $p = 0,001$ et $p = 0,002$).

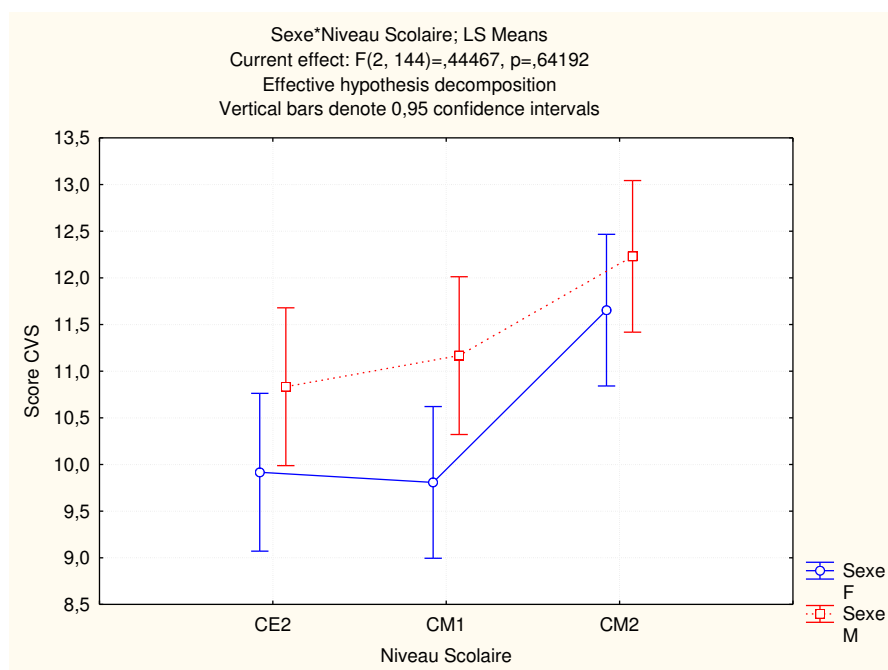


Figure 4 Comparaison de la moyenne du score CVS en fonction du niveau scolaire et du sexe.

F=filles M=garçons

3. Score total centre exécutif

Ce score total comprend seulement l'épreuve d'empan transposé, l'épreuve de double tâche étant notée différemment, nous ne pouvions pas additionner les scores des deux épreuves.

L'analyse de variance multifactorielle (ANOVA 2 sexes $\times$ 3 niveaux) sur le score centre exécutif (CE) ne révèle pas d'effet global du sexe ($F_{1, 144} = 0,95$; $p = 0,33$, n.s.), ni d'effet d'interaction entre le sexe et le niveau scolaire ($F_{2, 144} = 1,13$; $p = 0,33$; n.s.) mais révèle un **effet global du niveau scolaire** ($F_{2, 144} = 3,35$; $p = 0,03$).

En d'autres termes, le score CE varie seulement en fonction du niveau scolaire (cf. figure 5)

Une analyse post-hoc réalisée à l'aide du test Scheffé montre que **le score CE est significativement supérieur chez les enfants de CM2 par rapport aux enfants de CE2** ($p = 0,04$).

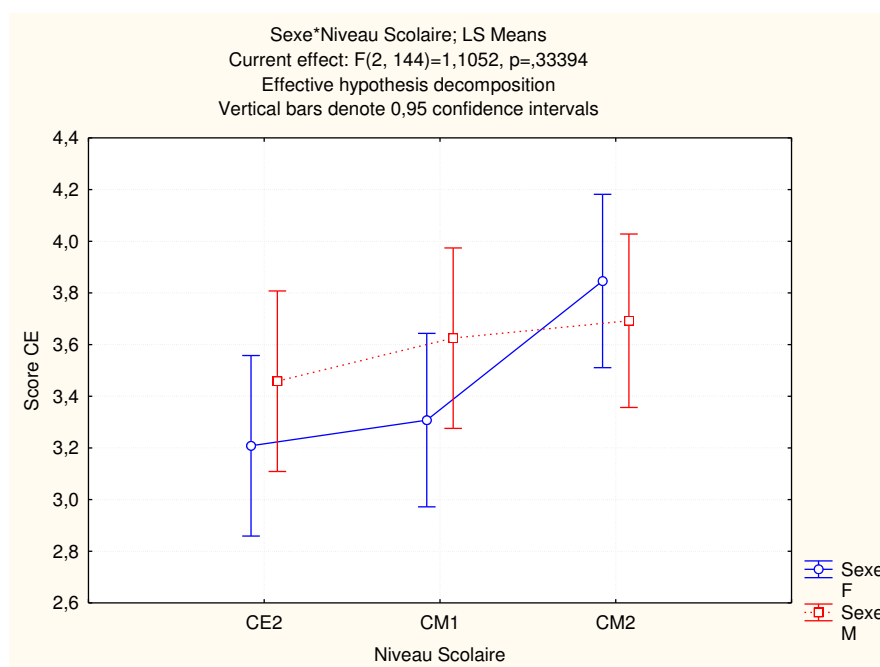


Figure 5 : Comparaison de la moyenne du score CE en fonction du niveau scolaire et du sexe.

F=filles M=garçons

4. Score total des trois composantes : BP + CVS + CE

L'analyse de variance multifactorielle (ANOVA 2 sexes $\times$ 3 niveaux) sur le score total des trois composantes révèle un **effet global du sexe** ($F_{1, 144} = 9,3$; $p = 0,002$), un **effet global du niveau scolaire** ($F_{2, 144} = 11,5$; $p = 0,00002$) et un **effet d'interaction entre le sexe et le niveau scolaire** ($F_{2, 144} = 3,43$; $p = 0,03$).

En d'autres termes, le score CE varie en fonction du sexe, en fonction du niveau scolaire et en fonction du sexe et du niveau scolaire en même temps (cf. figure 6).

Une analyse post-hoc réalisée à l'aide du test Scheffé montre que **le score total des trois composantes est significativement supérieur** :

- Chez les filles de CM2 par rapport aux filles de CE2 ($p = 0,001$)
- Chez les filles de CM2 par rapport aux filles de CM1 ($p = 0,002$)
- Chez les garçons de CM2 par rapport aux filles de CE2 ($p = 0,004$)
- Chez les garçons de CM2 par rapport aux filles de CM1 ($p = 0,006$)

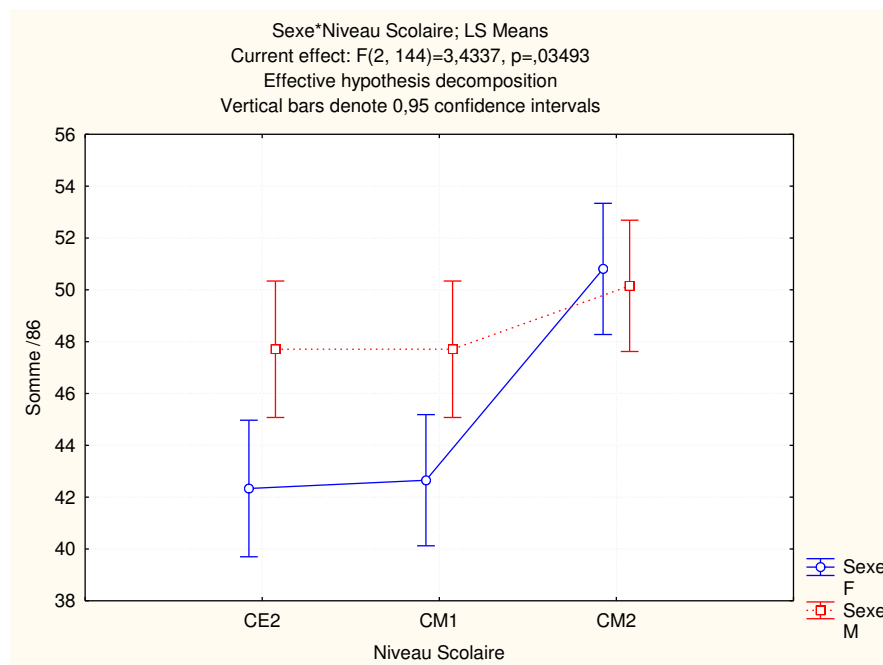


Figure 6 : Comparaison de la moyenne du score total des trois composantes en fonction du niveau scolaire et du sexe.

F=filles M=garçons

B. Analyse des scores de chaque épreuve

1. Répétition de chiffres endroit

L'analyse de variance multifactorielle (ANOVA 2 sexes $\times$ 3 niveaux) sur le score à l'épreuve de répétition de chiffres ne révèle pas d'effet global du sexe ($F_{1, 144} = 1,3$; $p = 0,24$; n.s.), ni d'effet global du niveau scolaire ($F_{2, 144} = 1,88$; $p = 0,15$; n.s.) ni d'effet d'interaction entre le sexe et le niveau scolaire ($F_{2, 144} = 0,18$; $p = 0,83$; n.s.).

En d'autres termes, le score à l'épreuve de répétition de chiffres ne varie ni en fonction du sexe ni en fonction du niveau scolaire, ni en fonction du sexe et du niveau scolaire en même temps (cf. figure 7).

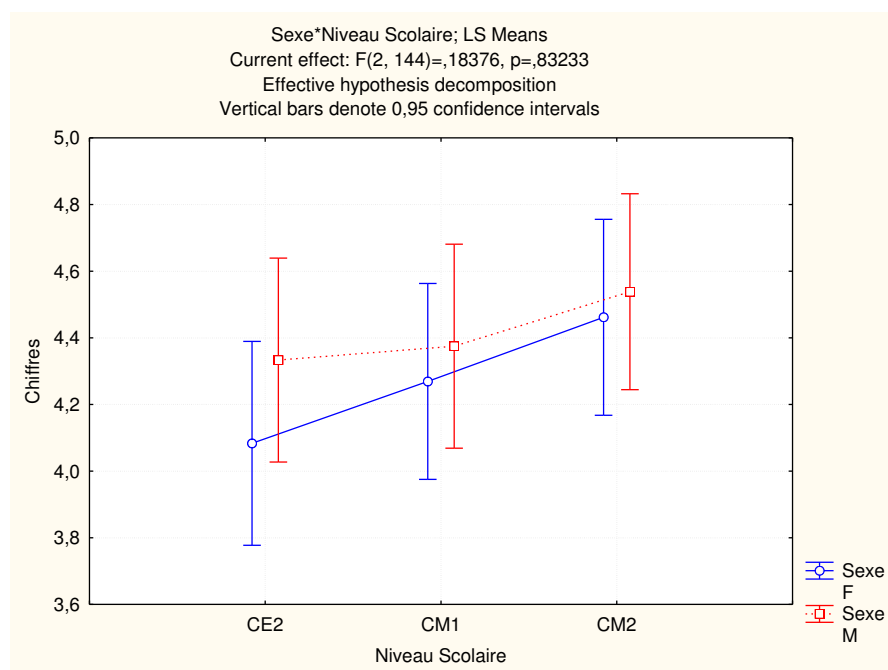


Figure 7 : Comparaison de la moyenne du score à l'épreuve des chiffres endroit en fonction du niveau scolaire et du sexe.

F=filles M=garçons

2. Mots phonologiquement proches

L'analyse de variance multifactorielle (ANOVA 2 sexes $\times$ 3 niveaux) sur le score des mots phonologiquement proches (MPP) ne révèle pas d'effet global du sexe ($F_{1, 144} = 0,65$; $p = 0,42$; n.s.), ni d'effet global du niveau scolaire ($F_{2, 144} = 2,08$; $p = 0,12$; n.s.) ni d'effet d'interaction entre le sexe et le niveau scolaire ($F_{2, 144} = 3,35$; $p = 0,2$; n.s.).

En d'autres termes, le score à l'épreuve des mots phonologiquement proches ne varie ni en fonction du sexe ni en fonction du niveau scolaire, ni en fonction du sexe et du niveau scolaire en même temps (cf. figure 8).

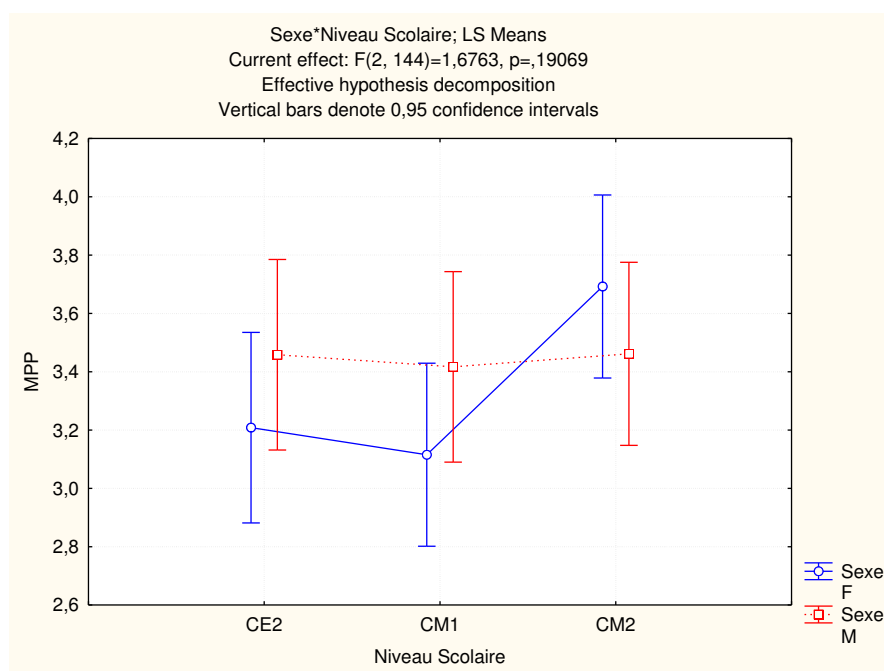


Figure 8 : Comparaison de la moyenne du score à l'épreuve des mots phonologiquement proches en fonction du niveau scolaire et du sexe.

F=filles M=garçons

3. Mots phonologiquement éloignés

L'analyse de variance multifactorielle (ANOVA 2 sexes $\times$ 3 niveaux) sur le score des mots phonologiquement éloignés (MPE) ne révèle pas d'effet global du sexe ($F_{1, 144} = 0,7$; $p = 0,4$; n.s.), ni d'effet d'interaction entre le sexe et le niveau scolaire ($F_{2, 144} = 1,21$; $p = 0,3$; n.s.) mais révèle un **effet global du niveau scolaire** ($F_{2, 144} = 4,53$; $p = 0.012$).

En d'autres termes, le score à l'épreuve des mots phonologiquement éloignés varie seulement en fonction du niveau scolaire (cf. figure 9).

Une analyse post-hoc réalisée à l'aide du test Scheffé montre que **le score à l'épreuve des mots phonologiquement éloignés est significativement supérieur chez les enfants de CM2 par rapport aux enfants de CE2 et de CM1 (respectivement $p = 0,02$ et $p = 0,05$).**

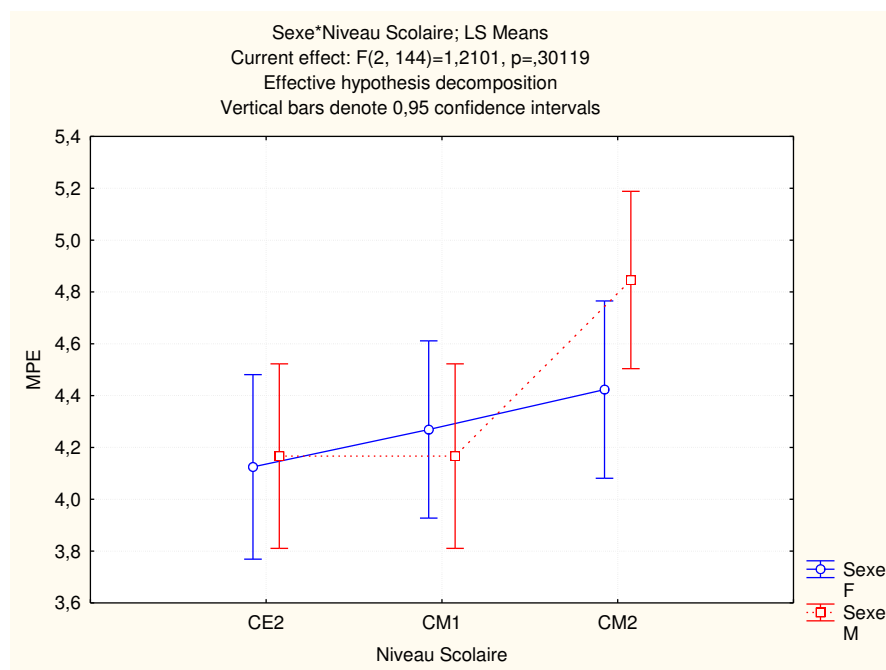


Figure 9 : Comparaison de la moyenne du score à l'épreuve des mots phonologiquement éloignés en fonction du niveau scolaire et du sexe.

F=filles M=garçons

4. Mots courts sans suppression articulatoire

L'analyse de variance multifactorielle (ANOVA 2 sexes $\times$ 3 niveaux) sur le score des mots courts sans suppression articulatoire (MCSS) révèle un **effet global du sexe** ($F_{1, 144} = 4,7$; $p = 0,03$) mais pas d'effet global du niveau scolaire ($F_{2, 144} = 2,07$; $p = 0,12$; n.s.) ni d'effet d'interaction entre le sexe et le niveau scolaire ($F_{2, 144} = 0,5$; $p = 0,6$; n.s.).

En d'autres termes, le score à l'épreuve des mots courts sans suppression articulatoire varie seulement en fonction du sexe (cf. figure 10).

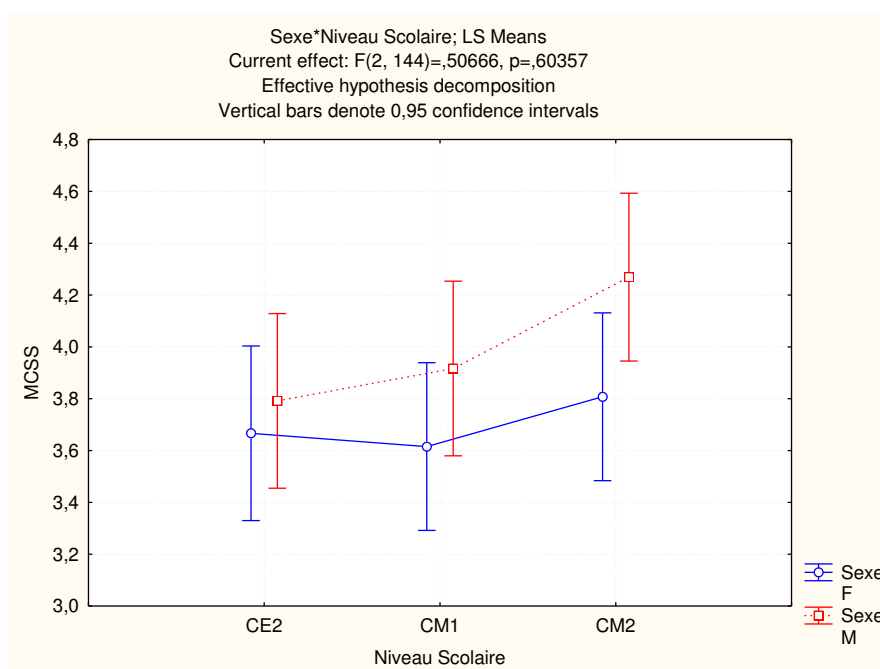


Figure 10 : Comparaison de la moyenne du score à l'épreuve des mots courts sans suppression articulatoire en fonction du niveau scolaire et du sexe.

F=filles M=garçons

5. Mots longs sans suppression articulatoire

L'analyse de variance multifactorielle (ANOVA 2 sexes $\times$ 3 niveaux) sur le score des mots longs sans suppression articulatoire (MLSS) ne révèle ni d'effet global du sexe ($F_{1, 144} = 2,6$; $p = 0,1$; n.s.) ni d'effet global du niveau scolaire ($F_{2, 144} = 1,9$; $p = 0,15$; n.s.) ni d'effet d'interaction entre le sexe et le niveau scolaire ($F_{2, 144} = 0,21$; $p = 0,8$; n.s.).

En d'autres termes, le score à l'épreuve des mots longs sans suppression articulatoire ne varie ni en fonction du sexe, ni en fonction du niveau scolaire, ni en fonction du sexe et du niveau scolaire en même temps (cf. figure 11).

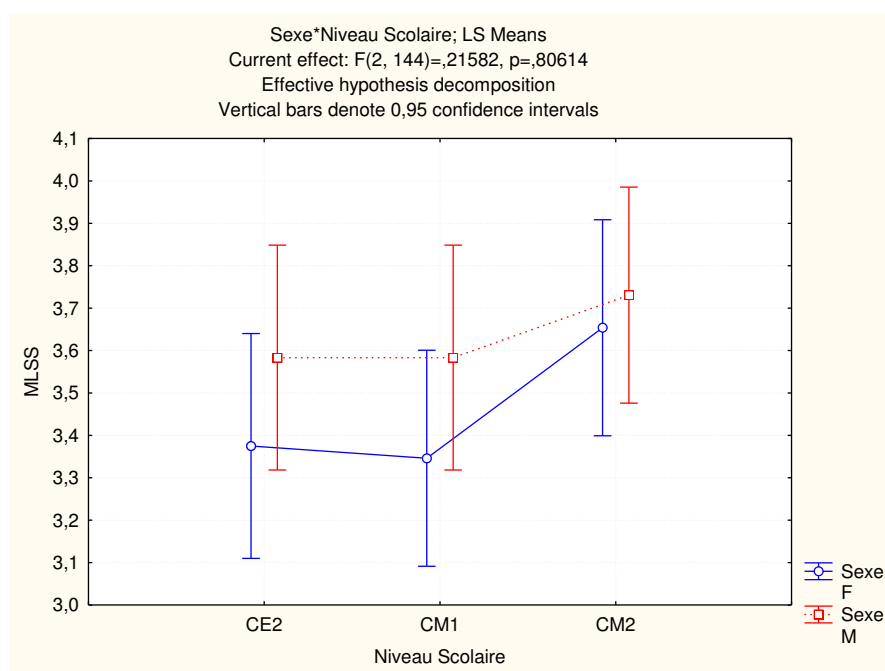


Figure 11 : Comparaison de la moyenne du score à l'épreuve des mots longs sans suppression articulatoire en fonction du niveau scolaire et du sexe.

F=filles M=garçons

6. Mots courts avec suppression articulatoire

L'analyse de variance multifactorielle (ANOVA 2 sexes $\times$ 3 niveaux) sur le score des mots courts avec suppression articulatoire (MCAS) ne révèle pas d'effet global du sexe ($F_{1, 144} = 0,5$; $p = 0,82$; n.s.), ni d'effet d'interaction entre le sexe et le niveau scolaire ($F_{2, 144} = 1,79$; $p = 0,16$; n.s.) mais révèle un **effet global du niveau scolaire** ($F_{2, 144} = 4,88$; $p = 0,008$).

En d'autres termes, le score à l'épreuve des mots courts avec suppression articulatoire varie seulement en fonction du niveau scolaire (cf. figure 12).

Une analyse post-hoc réalisée à l'aide du test Scheffé montre que le score à l'épreuve des mots courts avec suppression articulatoire est significativement supérieur chez les enfants de CM2 par rapport aux enfants de CE2 et de CM1 (respectivement $p = 0,015$ et $p = 0,05$).

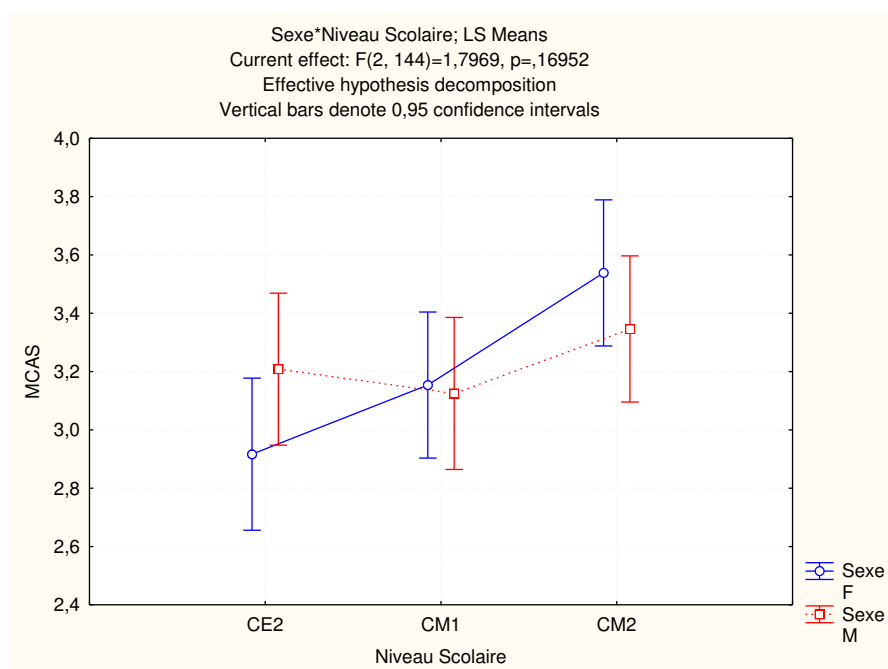


Figure 12 : Comparaison de la moyenne du score à l'épreuve des mots courts avec suppression articulatoire en fonction du niveau scolaire et du sexe.

F=filles M=garçons

7. Mots longs avec suppression articulatoire

L'analyse de variance multifactorielle (ANOVA 2 sexes $\times$ 3 niveaux) sur le score des mots longs avec suppression articulatoire (MLAS) ne révèle ni d'effet global du sexe ($F_{1, 144} = 1,5$; $p = 0,22$; n.s.), ni d'effet global du niveau scolaire ($F_{2, 144} = 1,18$; $p = 0,33$; n.s.), ni d'effet d'interaction entre le sexe et le niveau scolaire ($F_{2, 144} = 0,68$; $p = 0,5$; n.s.).

En d'autres termes, le score à l'épreuve des mots longs avec suppression articulatoire ne varie ni en fonction du sexe, ni en fonction du niveau scolaire, ni en fonction du sexe et du niveau scolaire en même temps (cf. figure 13).

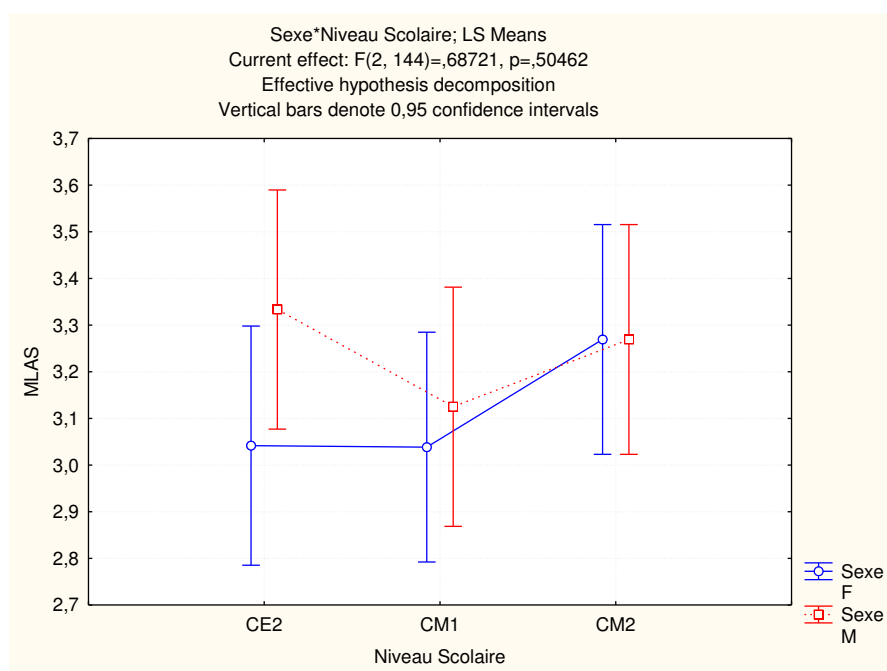


Figure 13 : Comparaison de la moyenne du score à l'épreuve des mots longs avec suppression articulatoire en fonction du niveau scolaire et du sexe.

F=filles M=garçons

8. Epreuve des logatomes

L'analyse de variance multifactorielle (ANOVA 2 sexes $\times$ 3 niveaux) sur le score des logatomes ne révèle ni d'effet global du sexe ($F_{1, 144} = 0,26$; $p = 0,6$; n.s.), ni d'effet global du niveau scolaire ($F_{2, 144} = 1,31$; $p = 0,27$; n.s.), ni d'effet d'interaction entre le sexe et le niveau scolaire ($F_{2, 144} = 0,31$; $p = 0,73$; n.s.).

En d'autres termes, le score à l'épreuve des logatomes ne varie ni en fonction du sexe, ni en fonction du niveau scolaire, ni en fonction du sexe et du niveau scolaire en même temps (cf. figure 14).

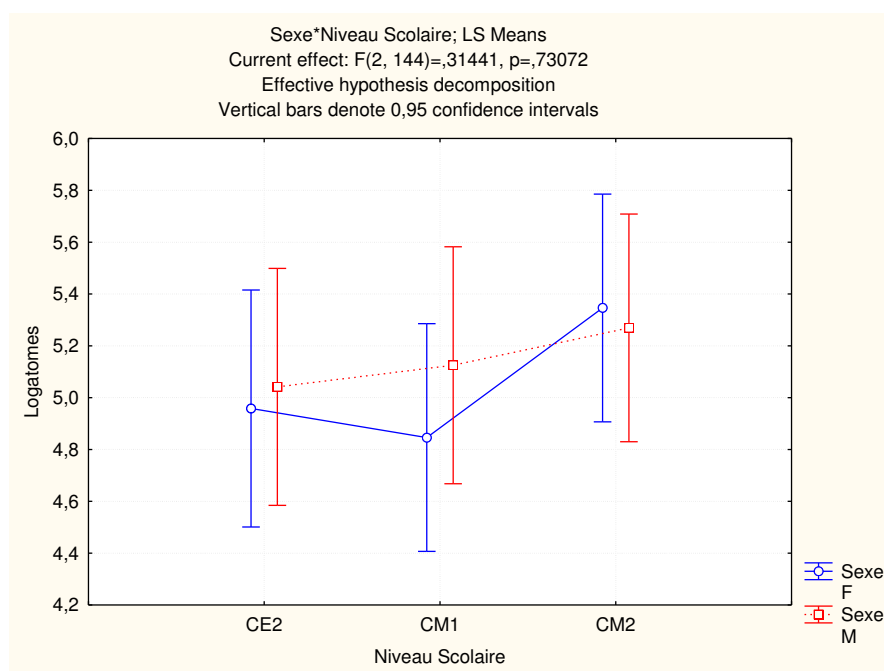


Figure 14 : Comparaison de la moyenne du score à l'épreuve de logatomes en fonction du niveau scolaire et du sexe.

F=filles M=garçons

9. Grille de localisations

L'analyse de variance multifactorielle (ANOVA 2 sexes $\times$ 3 niveaux) sur le score à l'épreuve de la grille de localisations ne révèle pas d'effet global du sexe ($F_{1, 144} = 1,2$; $p = 0,26$; n.s.), ni d'effet d'interaction entre le sexe et le niveau scolaire ($F_{2, 144} = 0,02$; $p = 0,9$; n.s.) mais révèle un **effet global du niveau scolaire** ($F_{2, 144} = 5,1$; $p = 0,007$).

En d'autres termes, le score à l'épreuve de la grille de localisations varie seulement en fonction du niveau scolaire (cf. figure 15).

Une analyse post-hoc réalisée à l'aide du test Scheffé montre que **le score à l'épreuve de la grille de localisations est significativement supérieur chez les enfants de CM2 par rapport aux enfants de CE2 et de CM1 (respectivement $p = 0,012$ et $p = 0,05$).**

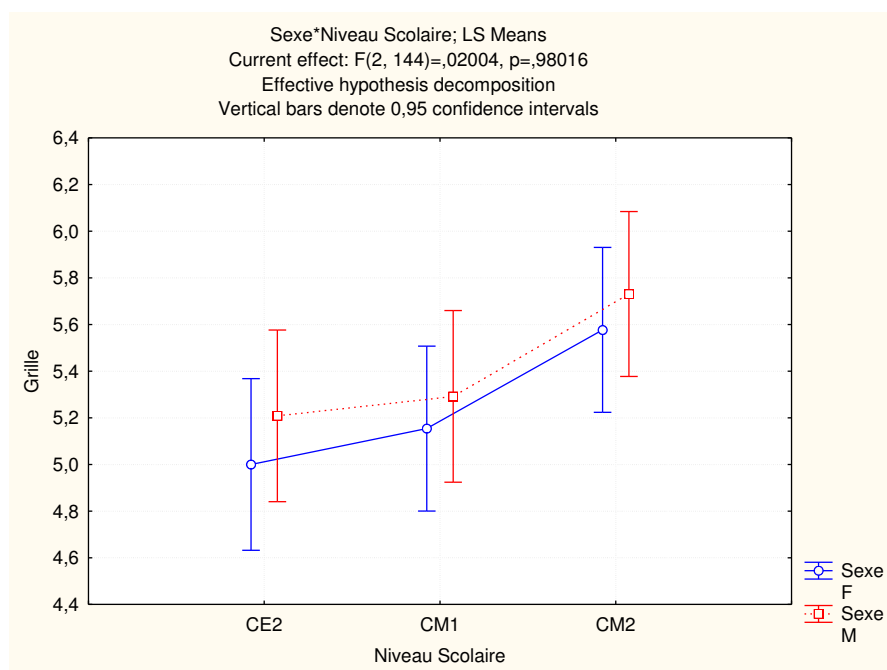


Figure 15 : Comparaison de la moyenne du score à l'épreuve de la grille de localisations en fonction du niveau scolaire et du sexe.

F=filles M=garçons

10. Patterns visuels

L'analyse de variance multifactorielle (ANOVA 2 sexes $\times$ 3 niveaux) sur le score à l'épreuve des patterns visuels révèle un **effet global du sexe** ($F_{1, 144} = 8,9$; $p = 0,003$), un **effet global du niveau scolaire** ($F_{2, 144} = 7,6$; $p = 0,0007$) mais ne révèle pas d'effet d'interaction entre le sexe et le niveau scolaire ($F_{2, 144} = 0,14$; $p = 0,86$; n.s.).

En d'autres termes, le score à l'épreuve des patterns visuels varie en fonction du sexe et en fonction du niveau scolaire (cf. figure 16).

Une analyse post-hoc réalisée à l'aide du test Scheffé montre que **le score à l'épreuve des patterns visuels est significativement supérieur chez les enfants de CM2 par rapport aux enfants de CE2 et de CM1** (respectivement $p = 0,0012$ et $p = 0,01$).

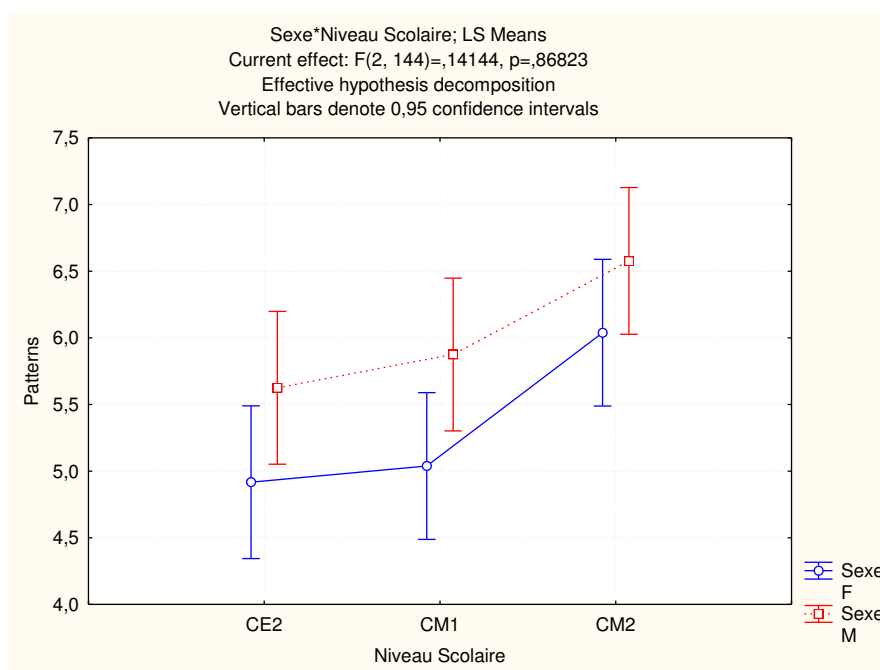


Figure 16 : Comparaison de la moyenne du score à l'épreuve des patterns visuels en fonction du niveau scolaire et du sexe.

F=filles M=garçons

11. Empan transposé

L'analyse de variance multifactorielle (ANOVA 2 sexes $\times$ 3 niveaux) sur le score à l'épreuve des patterns visuels ne révèle ni un effet global du sexe ($F_{1, 144} = 0,95$; $p = 0,33$; n.s.) ni un effet d'interaction entre le sexe et le niveau scolaire ($F_{2, 144} = 1,1$; $p = 0,33$; n.s.) mais révèle un **effet global du niveau scolaire** ($F_{2, 144} = 3,35$; $p = 0.037$).

En d'autres termes, le score à l'épreuve d'empan transposé varie seulement en fonction du niveau scolaire (cf. figure 17).

Une analyse post-hoc réalisée à l'aide du test Scheffé montre que **le score à l'épreuve des patterns visuels est significativement supérieur chez les enfants de CM2 par rapport aux enfants de CE2** ($p = 0,04$).

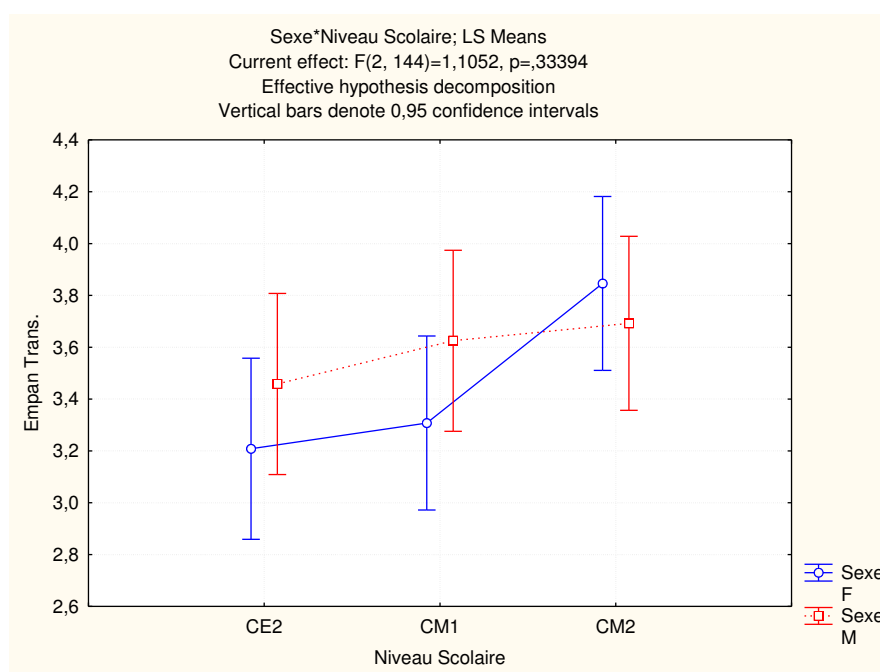


Figure 17 : Comparaison de la moyenne du score à l'épreuve d'empan transposé en fonction du niveau scolaire et du sexe.

F=filles M=garçons

12. Epreuve de double tâche

- Répétition de chiffres en isolé

L'analyse de variance multifactorielle (ANOVA 2 sexes $\times$ 3 niveaux) sur le score à l'épreuve de répétition de chiffres en isolé ne révèle ni d'effet global du sexe ($F_{1, 144} = 1,14$; $p = 0,28$; n.s.), ni d'effet global du niveau scolaire ($F_{2, 144} = 2,2$; $p = 0,11$; n.s.), ni d'effet d'interaction entre le sexe et le niveau scolaire ($F_{2, 144} = 0,4$; $p = 0,63$; n.s.).

En d'autres termes, le score à l'épreuve de répétition de chiffres en isolé ne varie ni en fonction du sexe, ni en fonction du niveau scolaire, ni en fonction du sexe et du niveau scolaire en même temps (cf. figure 18).

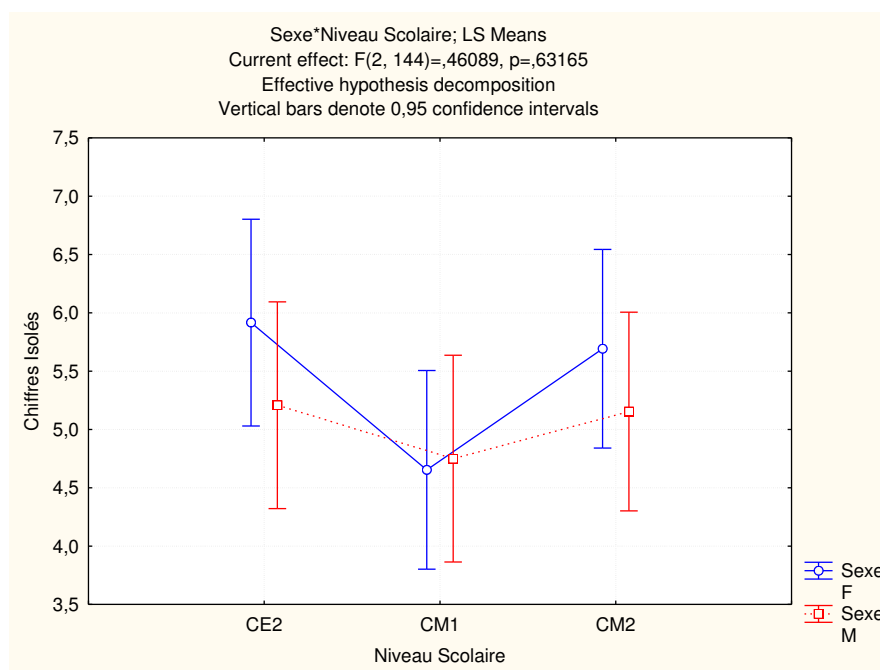


Figure 18 : Comparaison de la moyenne du score à l'épreuve de répétition de chiffres en isolé en fonction du niveau scolaire et du sexe.

F=filles M=garçons

- **Tâche de poursuite visuelle en isolé**

L'analyse de variance multifactorielle (ANOVA 2 sexes $\times$ 3 niveaux) sur le score à la tâche de poursuite visuelle en isolé ne révèle ni d'effet global du sexe ($F_{1, 144} = 0,06$; $p = 0,8$; n.s.) ni d'effet d'interaction entre le sexe et le niveau scolaire ($F_{2, 144} = 0,5$; $p = 0,58$; n.s.) mais révèle un **effet global du niveau scolaire** ($F_{2, 144} = 8,4$; $p = 0,00034$).

En d'autres termes, le score à la tâche de poursuite visuelle en isolé varie seulement en fonction du niveau scolaire (cf. figure 19).

Une analyse post-hoc réalisée à l'aide du test Scheffé montre que **le score à la tâche de poursuite visuelle est significativement supérieur chez les enfants de CM2 et de CM1 par rapport aux enfants de CE2** ($p = 0,0003$).

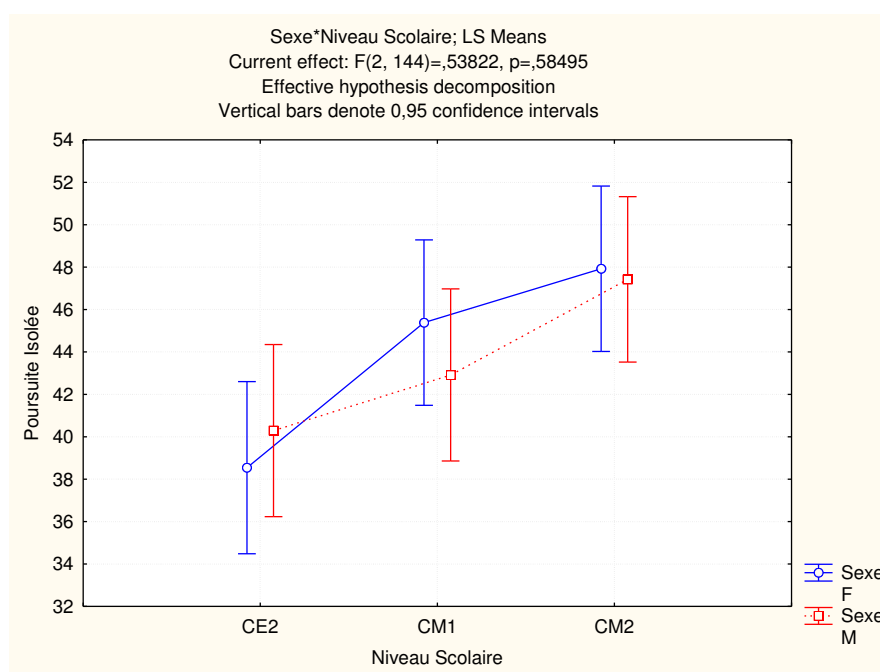


Figure 19 : Comparaison de la moyenne du score à la tâche de poursuite visuelle en isolé en fonction du niveau scolaire et du sexe.

F=filles M=garçons

- **Répétition de chiffres en double tâche**

L'analyse de variance multifactorielle (ANOVA 2 sexes $\times$ 3 niveaux) sur le score à l'épreuve de répétition de chiffres en double tâche ne révèle ni d'effet global du sexe ($F_{1, 144} = 0,0022$; $p = 0,96$; n.s.), ni d'effet global du niveau scolaire ($F_{2, 144} = 0,59$; $p = 0,55$; n.s.), ni d'effet d'interaction entre le sexe et le niveau scolaire ($F_{2, 144} = 1,08$; $p = 0,34$; n.s.).

En d'autres termes, le score à l'épreuve de répétition de chiffres en double tâche ne varie ni en fonction du sexe, ni en fonction du niveau scolaire, ni en fonction du sexe et du niveau scolaire en même temps (cf. figure 20).

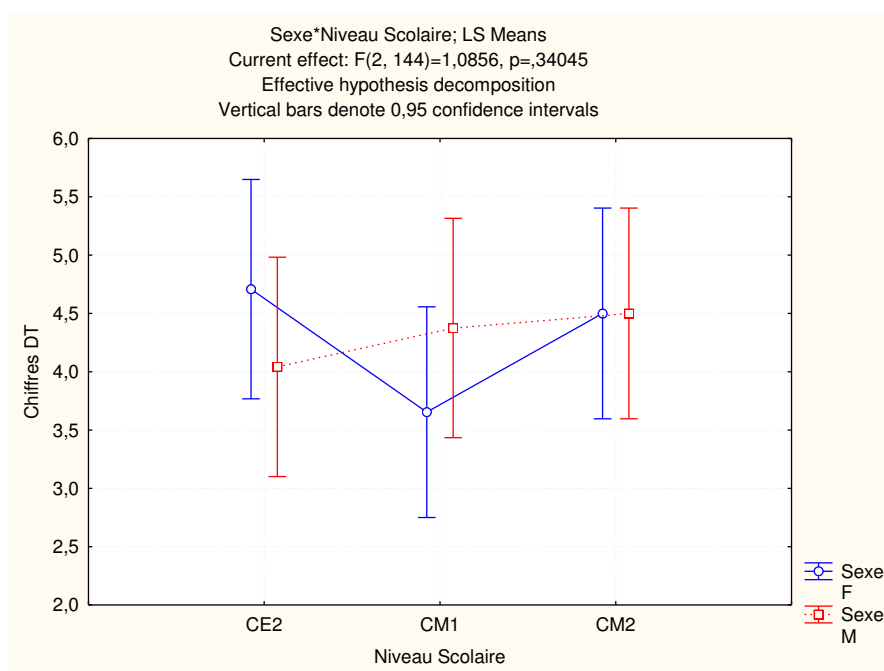


Figure 20 : Comparaison de la moyenne du score à l'épreuve de répétition de chiffres en double tâche en fonction du niveau scolaire et du sexe.

F=filles M=garçons

- **Tâche de poursuite visuelle en double tâche**

L'analyse de variance multifactorielle (ANOVA 2 sexes $\times$ 3 niveaux) sur le score à la tâche de poursuite visuelle en double tâche ne révèle ni un effet global du sexe ($F_{1, 144} = 0,18$; $p = 0,6$; n.s.) ni un effet d'interaction entre le sexe et le niveau scolaire ($F_{2, 144} = 0,6$; $p = 0,54$; n.s.) mais révèle un **effet global du niveau scolaire** ($F_{2, 144} = 9,7$; $p = 0,0001$).

En d'autres termes, le score à la tâche de poursuite visuelle en double tâche varie **seulement en fonction du niveau scolaire** (cf. figure 21).

Une analyse post-hoc réalisée à l'aide du test Scheffé montre que **le score à la tâche de poursuite visuelle en double tâche est significativement supérieur chez les enfants de CM2 par rapport aux enfants de CE2 et de CM1** (respectivement $p = 0,0004$ et $p = 0,002$).

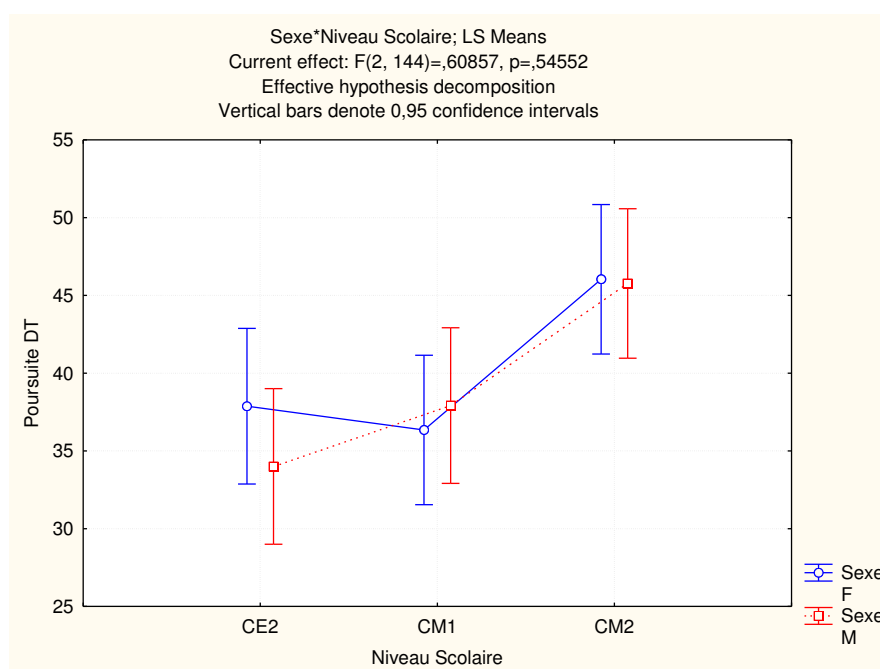


Figure 21 Comparaison de la moyenne du score à la tâche de poursuite visuelle en double tâche en fonction du niveau scolaire et du sexe.

F=filles M=garçons

Epreuves	Effet global du sexe	Effet global du niveau scolaire	Effet d'interaction
Total boucle phonologique (BP)	Non	CM2 > CM1 et CE2	Non
Total calepin visuo-spatial (CVS)	M > F	CM2 > CM1 et CE2	Non
Total centre exécutif (CE)	Non	CM2 > CE2	Non
Total des trois composantes	M > F	CM2 > CE2 et CM1	Filles CM2 > Filles CE2 Filles CM2 > Filles CM1 Garçons CM2 > Filles CE2 Garçons CM2 > Filles CM1
Chiffres endroit	Non	Non	Non
Mots phonologiquement proches (MPP)	Non	Non	Non
Mots phonologiquement éloignés (MPE)	Non	CM2 > CE2 et CM1	Non
Mots courts sans suppression articulatoire (MCSS)	M > F	Non	Non
Mots longs sans suppression articulatoire (MLSS)	Non	Non	Non
Mots courts avec suppression articulatoire (MCAS)	Non	CM2 > CE2 et CM1	Non

Mots longs avec suppression articulatoire (MLAS)	Non	Non	Non
Logatomes	Non	Non	Non
Grille de localisation	Non	CM2 > CE2 et CM1	Non
Patterns visuels	M > F	CM2 > CE2 et CM1	Non
Empan transposé	Non	CM2 > CE2	Non
Répétition de chiffres en isolé	Non	Non	Non
Poursuite visuelle en isolé	Non	CM2 > CE2	Non
Répétition de chiffres en double tâche	Non	Non	Non
Poursuite visuelle en double tâche	Non	CM2 > CE2 et CM1	Non

Tableau 2 : Résumé des résultats des ANOVA

En conclusion, les résultats montrent que les **scores de la BP, du CVS, des trois composantes, des MPE, des MCAS, de la grille de localisation, des patterns visuels et de la poursuite visuelle en double tâche varient en fonction du niveau scolaire** et qu'ils sont **significativement supérieurs chez les enfants de CM2**. Par contre, les scores ne varient pas entre les CE2 et les CM1. Ainsi, nous avons décidé de présenter les normes de ces scores en fonctions du niveau scolaire : CE2-CM1 confondus et CM2.

Les **scores du CE, de l'empan transposé et de la poursuite visuelle en isolé varient également en fonction du niveau scolaire** et sont **significativement supérieurs chez les enfants de CM2**. Les scores ne variant pas entre les CM1 et les CM2, nous avons décidé de présenter les normes de ces scores en fonction du niveau scolaire : CM1-CM2 confondus et CE2.

De plus, nos résultats montrent que **le score aux épreuves du CVS, le score total des trois composantes, des MCSS et des patterns visuels varient en fonction du sexe**. Pour ces épreuves, nous avons donc choisi de présenter les normes en fonction du sexe également.

Enfin, les résultats montrent que **le score aux épreuves des chiffres endroit, des MPP, des MLSS, des MLAS, des logatomes, de répétition de chiffres en isolé et de répétition de chiffres en double tâche ne varient ni en fonction du sexe ni en fonction du niveau scolaire**. Pour ces épreuves, nous avons donc choisi de présenter les normes sexes et niveaux scolaires confondus.

C. Moyennes et écarts-types des différentes épreuves

Classe	CE2 – CM1	CM2
Moyenne ± E.T.	29,95 ± 4,74	32,26 ± 4,25

Tableau 3 : Moyennes et écarts-types – Boucle phonologique

Classe	CE2 – CM1		CM2	
Sexe	Garçons	Filles	Garçons	Filles
Moyenne ± E.T.	11 ± 1,67	9,86 ± 2,53	12,23 ± 2,19	11,65 ± 1,64

Tableau 4 : Moyennes et écarts-types – Calepin visuo-spatial

Classe	CE2	CM1 - CM2
Moyenne ± E.T.	3,33 ± 0,88	3,61 ± 0,86

Tableau 5 : Moyennes et écarts-types – Centre exécutif

Classe	CE2 – CM1		CM2	
Sexe	Garçons	Filles	Garçons	Filles
Moyenne ± E.T.	47,7 ± 6,36	42,54 ± 7,17	50,15 ± 6,5	50,80 ± 5,07

Tableau 6 : Moyennes et écarts-types – Score total des trois composantes

Classe	CE2-CM1-CM2
Moyenne $\pm$ E.T.	4,34 $\pm$ 0,76

Tableau 7 : Moyennes et écarts-types – Chiffres endroit

Classe	CE2-CM1-CM2
Moyenne $\pm$ E.T.	3,39 $\pm$ 0,82

Tableau 8 : Moyennes et écarts-types – Mots phonologiquement proches (MPP)

Classe	CE2 – CM1	CM2
Moyenne $\pm$ E.T.	4,18 $\pm$ 0,81	4,63 $\pm$ 0,99

Tableau 9 : Moyennes et écarts-types – Mots phonologiquement éloignés (MPE)

Sexe	Garçons	Filles
Moyenne $\pm$ E.T.	4 $\pm$ 0,84	3,69 $\pm$ 0,83

Tableau 10 : Moyennes et écarts-types – Mots courts sans suppression articulatoire (MCSS)

Classe	CE2-CM1-CM2
Moyenne $\pm$ E.T.	3,55 $\pm$ 0,66

Tableau 11 : Moyennes et écarts-types – Mots longs sans suppression articulatoire (MLSS)

Classe	CE2 – CM1	CM2
Moyenne $\pm$ E.T.	3,1 $\pm$ 0,68	3,44 $\pm$ 0,57

Tableau 12 : Moyennes et écarts-types – Mots courts avec suppression articulatoire (MCAS)

Classe	CE2-CM1-CM2
Moyenne $\pm$ E.T.	3,18 $\pm$ 0,63

Tableau 13 : Moyennes et écarts-types – Mots longs avec suppression articulatoire (MLAS)

Classe	CE2-CM1-CM2
Moyenne $\pm$ E.T.	5,1 $\pm$ 1,13

Tableau 14 : Moyennes et écarts-types – Logatomes

Classe	CE2 – CM1	CM2
Moyenne $\pm$ E.T.	5,14 $\pm$ 0,97	5,65 $\pm$ 0,76

Tableau 15 : Moyennes et écarts-types – Grille de localisations

Classe	CE2 – CM1		CM2	
Sexe	Garçons	Filles	Garçons	Filles
Moyenne $\pm$ E.T.	5,75 $\pm$ 1,39	4,98 $\pm$ 1,36	6,57 $\pm$ 1,67	6,04 $\pm$ 1,24

Tableau 16 : Moyennes et écarts-types – Patterns visuels

Classe	CE2	CM1 - CM2
Moyenne $\pm$ E.T.	3,33 $\pm$ 0,88	3,61 $\pm$ 0,86

Tableau 17 : Moyennes et écarts-types – Empan transposé

Classe	CE2-CM1-CM2
Moyenne $\pm$ E.T.	5,22 $\pm$ 2,2

Tableau 18 : Moyennes et écarts-types – Répétition de chiffres en isolé

Classe	CE2	CM1 - CM2
Moyenne $\pm$ E.T.	39,41 $\pm$ 9,46	45,97 $\pm$ 10,33

Tableau 19 : Moyennes et écarts-types – Poursuite visuelle en isolé

Classe	CE2-CM1-CM2
Moyenne $\pm$ E.T.	4,29 $\pm$ 2,32

Tableau 20 : Moyennes et écarts-types – Répétition de chiffres en double tâche

Classe	CE2 – CM1	CM2
Moyenne $\pm$ E.T.	36,53 $\pm$ 13,24	45,9 $\pm$ 10,27

Tableau 21 : Moyennes et écarts-types – Poursuite visuelle en double tâche

L'analyse quantitative nous a permis de mettre en évidence les différences de scores selon le niveau scolaire et le sexe. Nous avons ainsi pu établir des normes en fonction de ces variations de scores entre les groupes.

Globalement, nous remarquons que les scores des CM2 sont plus élevés que ceux des CE2 et des CM1. Nous notons une différence de scores entre les deux sexes seulement sur l'épreuve de patterns visuels et au niveau du score total des trois composantes, les garçons présentant des scores un peu plus élevés que ceux des filles.

Une analyse qualitative des résultats est également nécessaire afin d'apporter des informations supplémentaires sur les productions des enfants.

II. Analyse qualitative

L'analyse statistique des scores des différentes épreuves ne met pas en évidence certains éléments que nous avons pu remarquer au cours des passations. Nous allons en effet décrire les différents types d'erreurs observés, les stratégies mises en place par les enfants. Cette analyse qualitative nous permettra d'expliquer en partie certains scores et la présence ou non de certaines effets.

A. Les effets de similarité phonologique, de longueur et de suppression articulatoire

1. Effet de similarité phonologique

Sur les 150 enfants testés, le score à l'épreuve des mots phonologiquement éloignés est plus élevé que le score à l'épreuve des mots phonologiquement proches ($MPE > MPP$) pour 106 enfants, soit 71% d'entre eux.

Nous remarquons que 32 enfants, soit 21% d'entre eux, ont des résultats similaires dans les deux épreuves.

Nous notons enfin un effet inverse, à savoir un meilleur score à l'épreuve de mots phonologiquement proches, pour 12 enfants, soit 8% d'entre eux.

Nous pouvons donc dire que dans l'ensemble, la majorité des enfants semblent sensibles à l'effet de similarité phonologique.

Si l'on analyse les résultats selon le niveau scolaire, nous remarquons que parmi les enfants qui semblent sensibles à cet effet de similarité, 30% sont en CE2, 37% en CM1 et 33% sont en CM2. La présence de cet effet est donc assez homogène au sein des niveaux scolaires.

2. Effet de longueur du mot

Sur les 150 enfants testés, le score à l'épreuve des mots courts est plus élevé que le score à l'épreuve des mots longs ($MC > ML$) pour 55 enfants soit 37% d'entre eux.

Les résultats des deux épreuves sont similaires pour 73 enfants, soit 49% d'entre eux.

L'effet inverse est observé chez 22 enfants, soit 14% d'entre eux.

Nous pouvons donc dire que l'effet de longueur ne semble pas présent chez une majorité d'enfants, la plupart obtenant des scores égaux sur les deux épreuves.

Parmi les enfants qui semblent sensibles à l'effet de longueur, 34% sont en CE2, 34% en CM1 et 32 % en CM2. Nous pouvons donc dire que lorsque cet effet de longueur est présent, il l'est de manière assez homogène.

3. Effet de suppression articulatoire

Sur les 150 enfants testés, la somme des scores des mots courts sans suppression articulatoire et des mots longs sans suppression articulatoire est plus élevée que la somme des scores des mots courts avec suppression articulatoire et des mots longs avec suppression articulatoire ($MCSS + MLSS > MCAS + MLAS$) chez 98 enfants soit 66% d'entre eux.

Les deux sommes sont égales chez 44 enfants, soit 29% d'entre eux.

L'effet inverse est observé chez seulement 8 enfants, soit 5% d'entre eux.

Dans l'ensemble, les enfants semblent donc être sensibles à l'effet de suppression articulatoire.

Parmi les enfants qui semblent sensibles à l'effet de suppression articulatoire, 34% sont en CE2, 34% en CM1 et 32% en CM2. La présence de cet effet est donc répartie de manière homogène.

B. Baisse des scores en double tâche

Lors de cette épreuve, une chute des scores est attendue lorsque la tâche de répétition de chiffres et la tâche de poursuite visuelle sont effectuées simultanément.

On note une **baisse des scores en répétition de chiffres chez 95 enfants soit 63%** environ. Dans le protocole initial, une baisse des scores à l'épreuve verbale était relevée chez 37% des enfants seulement. Il s'agissait d'une épreuve de logatomes qui s'était révélée trop complexe dans cette épreuve de double tâche. La tâche de répétition de chiffres semble donc mieux s'appliquer dans ce type d'épreuve.

Une **baisse des scores à l'épreuve de poursuite visuelle est également remarquée. En effet, 91 enfants présentent une chute de leurs performances, soit environ 61%**. Lors de la passation du protocole initial, seuls 17% des enfants présentaient une chute des scores en situation de barrage de smileys. Notre épreuve de poursuite visuelle semble donc être mieux adaptée.

Parmi les enfants qui présentent une baisse des scores en situation de double tâche, 37% sont en CE2, 36% sont en CM1 et 27% sont en CM2.

Les CM2 ont donc tendance à obtenir de meilleurs scores en situation de double tâche par rapport aux autres niveaux scolaires.

La baisse des scores attendue en situation de double tâche n'est donc pas toujours observable. Cela ne va tout de même pas à l'encontre de ce qui est attendu dans cette épreuve car plus de la moitié des enfants ont une baisse de leurs performances lorsque les deux épreuves sont effectuées simultanément. La hausse des performances pour certains d'entre eux sera discutée ultérieurement.

De plus, **il est important de prendre également en compte les performances quantitatives en comparant les scores à la moyenne.**

C. Les types d'erreurs rencontrées

1. Epreuve de répétition de chiffres endroit

Lors de cette tâche, nous avons pu relever les erreurs suivantes :

- **Inversion de deux chiffres au sein d'une même série** : Cette erreur traduit les limites de l'enfant au niveau de sa boucle phonologique car si le sujet a mémorisé tous les items, il n'a pu en retenir l'ordre.

- **Omission d'un ou plusieurs chiffres** : Nous pouvons interpréter ce type d'erreur comme une saturation de la mémoire de travail au niveau de la boucle phonologique.
- **Ajouts d'un ou plusieurs chiffres** : Ces intrusions au sein de la liste de chiffres à répéter sont difficilement explicables et interprétables. L'enfant, bien qu'il ait restitué la totalité des items, en ajoute en fin ou en milieu de liste. Cela traduit tout de même une faiblesse dans la mémorisation de l'ensemble des chiffres.

2. Mots phonologiquement proches et éloignés

Lors de cette épreuve, plusieurs erreurs revenaient fréquemment :

- **Inversions de deux mots au sein d'une même série ou restitution de tous les mots dans le désordre** : Tout comme lors de la répétition de chiffres, cette erreur traduit à un moment donné une faiblesse de la boucle phonologique qui atteint ses limites. Tous les items sont restitués mais l'enfant n'a pu en mémoriser l'ordre de présentation.
- **Répétition d'un ou plusieurs éléments provenant d'une précédente série** : Ce type d'erreur est plus fréquent dans les listes de mots phonologiquement proches. En effet, la similarité phonologique augmente les risques de confusion des items, plus difficiles à mémoriser que lorsqu'ils sont phonologiquement éloignés.
- **Répétition d'un élément au sein d'une même série** : Cette erreur peut être interprétée comme une limite de la boucle phonologique mais également comme une difficulté de mémorisation majorée par la similarité phonologique des mots.
- **Omissions d'un ou plusieurs mots** : En général, ce type d'erreur intervient lorsque la boucle phonologique du sujet atteint ses limites. La série devient trop longue et donc plus difficile à mémoriser pour l'enfant.
- **Transformations phonémiques** : Un des phonèmes du mot pouvait être remplacé par un autre, formant alors un autre mot phonologiquement assez proche du mot initial. Par exemple, « feu » était restitué « fée ». Ce type d'erreur peut être interprété comme

une faiblesse de la boucle phonologique ou bien comme un problème de discrimination phonémique.

3. Mots courts et longs sans suppression articulatoire

Les erreurs retrouvées dans cette tâche sont assez semblables à celles retrouvées dans l'épreuve de mots phonologiquement proches et éloignés. Nous retrouvons donc les erreurs suivantes :

- **Répétition d'un mot au sein de la même liste :** Ce type d'erreur apparaît souvent lorsque la série devient assez longue et donc plus difficile à mémoriser.
- **Omission d'un ou plusieurs mots :** Ces erreurs se trouvaient sur les mots situés en milieu ou en fin de liste, révélant ainsi un effet de primauté. En effet, lors de la passation du protocole, la plupart des enfants mémorisaient mieux les mots en début de liste.
- **Inversion de deux mots ou restitution de tous les mots dans le désordre :** Tous comme dans les épreuves évoquées précédemment, ce type d'erreur intervient sur des listes contenant au moins quatre éléments, traduisant ainsi une limite de la boucle phonologique de l'enfant.
- **Intrusion d'items provenant d'une précédente liste :** Ces erreurs peuvent s'expliquer par le fait qu'un même mot se retrouve dans différentes listes, ce qui peut amener l'enfant à confondre les mots ainsi qu'à effectuer des persévérations d'une liste à l'autre. La constitution de nos listes de mots présente donc peut-être un biais. Ce point sera discuté ultérieurement.
- **Remplacement d'un mot par un autre ayant un lien sémantique :** Par exemple, « camarade » a été remplacé par « élève ».
- **Transformations phonémiques :** Un des phonèmes du mot pouvait être remplacé par un autre, formant alors un autre mot phonologiquement assez proche du mot initial.

Par exemple, « voile » était remplacé par « poil » ou bien « poule » était remplacé par « boule ».

4. Mots courts et longs avec suppression articulatoire

Les erreurs retrouvées dans ces deux tâches sont similaires à celles retrouvées dans les tâches de mots courts et longs sans suppression articulatoire.

Cependant, la suppression articulatoire induit une difficulté supplémentaire à savoir ne pas pouvoir utiliser la répétition subvocale. Les enfants se plaignaient souvent de la complexité de la tâche par rapport à la répétition de mots sans suppression articulatoire. Quand on leur demandait la raison de cette difficulté, beaucoup expliquaient qu'ils ne pouvaient pas répéter les mots. Cela est un indice quant à la stratégie utilisée par les enfants lors d'une tâche de répétition de mots. En effet, on remarque à ce moment-là quels sont les enfants qui utilisent la répétition subvocale et ceux qui ne le font pas.

5. Logatomes

Les logatomes ne ressemblent pas à des mots déjà existants. Les enfants n'avaient donc pas la possibilité de s'appuyer sur leur mémoire à long terme pour mémoriser et restituer les items. Aucun des logatomes n'a été restitué par un mot de la langue française proche phonologiquement. En effet, Cynthia Luong avait défini les items de telle sorte qu'ils soient le plus éloignés possibles de mots de la langue française afin que seule la boucle phonologique soit sollicitée. Nous avons également tenté d'éviter cette possibilité de sémantisation lors de la création de la liste de logatomes utilisée pour le troisième essai.

Lors de la passation de cette épreuve, nous avons relevé plusieurs erreurs :

- **Transformations phonologiques au sein d'un logatome :** Ces erreurs peuvent être expliquées soit par un problème de discrimination phonémique, soit par la contamination des propriétés d'un phonème sur un autre. Par exemple, lorsque « fon-reu-zo-kin » est prononcé de « fon-reu-zo-tin », on peut interpréter cette erreur comme un problème de discrimination mais également comme une erreur de type phonologique (dans ce cas, il s'agit d'une dilation progressive du [z] sur le [k], ce dernier étant alors antériorisé).

- **Elision de syllabes** : Cette erreur survient généralement lorsque l’empan de l’enfant atteint son maximum.
- **Inversion de phonèmes au sein du logatome** : Par exemple « su-chin-ko-ri-neu » au lieu de « su-chin-ko-ni-reu ».
- **Inversion de syllabes au sein du logatome** : Par exemple, « fo-ji-ké-ma-su » au lieu de « fo-ké-ji-ma-su ».

Les erreurs au sein des logatome sont variées. On note davantage d’erreurs de type phonémique et phonologique que dans les épreuves de répétition de mots. L’enfant ne peut en effet s’appuyer sur sa mémoire à long terme pour relier le logatome avec un mot existant. La boucle phonologique est ainsi évaluée de manière plus « pure ».

6. Grille de localisations

Dans cette épreuve, nous retrouvons deux types d’erreurs :

- **Inversions de deux cases** : Cela peut traduire une limite de l’empan spatial, l’ordre des cases n’étant pas mémorisé.
- **Omission d’une ou plusieurs cases** : Ce type d’erreur est présent lorsque l’enfant atteint son empan maximal.

L’empan spatial est meilleur que les empans verbaux.

7. Patterns visuels

Nous avons relevé trois types d’erreurs :

- **Erreurs d’orientation du pattern** : La configuration du pattern est bonne mais elle est reproduite dans le mauvais sens. Bien que cela puisse traduire une faiblesse mnésique, cette épreuve fait tout de même intervenir d’autres paramètres que la mémoire visuelle. En effet, l’orientation et la perception dans l’espace sont également nécessaires pour reproduire correctement les patterns. Bien que l’on puisse considérer

cela comme un biais, ce type d'erreur est intéressant dans la mesure où il peut mettre en lumière des difficultés sur d'autres compétences qu'il serait utile d'évaluer plus précisément par la suite.

- **Omission de cases :** Cette erreur survient lorsque l'empan visuel de l'enfant atteint ses limites.
- **Mauvaise case cochée :** Cette erreur peut traduire une limite de l'empan visuel car le pattern n'a pas été correctement mémorisé.

L'empan à l'épreuve des patterns visuel est le plus élevé, épreuves verbales et visuo-spatiales confondues.

8. Empan transposé

Dans cette tâche, les erreurs rencontrées sont les suivantes :

- **Non transposition d'un ou plusieurs items :** ce type d'erreur est de nature attentionnelle. En effet, l'enfant, s'il a bien retenu la série de chiffre initiale, n'a pas pu mobiliser l'attention nécessaire pour traiter et manipuler l'information, à savoir retirer un à chaque chiffre.
- **Omission d'un ou plusieurs items :** Tout comme lors des épreuves précédentes, cette erreur se produit lorsque l'empan en mémoire de travail atteint ses limites.
- **Inversion de deux chiffres :** Cette erreur apparaît lorsque la liste de chiffres devient importante, traduisant ainsi une limite de l'empan en mémoire de travail de l'enfant.
- **Autres erreurs :** Parfois, les enfants prononçaient un chiffre autre que celui attendu. Nous pouvons expliquer cela par une limite de la mémoire de travail. Dans ce cas, l'enfant n'aurait pas mémorisé le chiffre initial et restituerait un chiffre au hasard. Il pourrait également s'agir d'une erreur de soustraction.

9. Epreuve de double tâche

a) Erreurs lors de la répétition de chiffres

Les erreurs observées lors de la répétition de chiffres, que ce soit en passation isolée ou simultanée, sont les mêmes que celles observées lors de la tâche de répétition de chiffres initiale. Cependant, dans cette épreuve de double tâche, nous pouvons imputer certaines erreurs au stress. En effet, nous demandons aux enfants de répéter les chiffres le plus vite possible. Certains considèrent alors la tâche comme une sorte de challenge. La situation de double tâche accentue ce stress car les enfants ont conscience que la tâche est plus difficile.

b) Tâche de poursuite visuelle : les difficultés rencontrées par les enfants

Il est arrivé que certains enfants soient dans **l'impossibilité de cliquer sur le point tout en répétant les chiffres**. Le partage des ressources attentionnelles est dans ce cas-là très difficile voire impossible pour le sujet. En situation de double tâche, la tâche de répétition de chiffres était toujours privilégiée, même si certains enfants effectuaient beaucoup d'erreurs sur celle-ci.

Nous avons également remarqué que certains enfants étaient assez lents dans la manipulation de la souris par manque d'habitude.

L'analyse qualitative nous a permis de mettre en lumière les différentes erreurs produites par les enfants ainsi que les stratégies mises en place.

Cette analyse qualitative est complémentaire de l'analyse quantitative. Les scores doivent en effet toujours être reliés à l'observation du praticien afin d'analyser et interpréter précisément les résultats.

Cet étalonnage avait pour but d'effectuer une normalisation du protocole créé à la base par Cynthia Luong, afin qu'il soit utilisable dans la pratique orthophonique. Les éléments qui ressortent après l'analyse des résultats nous amènent à discuter de certains points de notre étude. Nous exposerons ensuite les intérêts et les limites de notre recherche.

DISCUSSION

Le but de notre étude était de pouvoir mettre à disposition des orthophonistes un outil complet évaluant la mémoire de travail chez les enfants du CE2 au CM2. Cynthia Luong avait dès le départ choisi cette tranche de la population car comme nous l'avons évoqué précédemment, la mémoire de travail, d'après les éléments fournis par la littérature, est mature à partir de sept-huit ans.

Nous souhaitons émettre des commentaires et faire part de notre réflexion concernant notre recherche. Dans un premier temps, nous discuterons de l'ensemble de notre expérimentation et tenterons d'identifier les biais du protocole. Nous commenterons également nos résultats et établirons une comparaison avec les données issues de la littérature et les épreuves du protocole initial. Dans un second temps, nous ferons part des intérêts de notre recherche. Enfin, nous évoquerons les limites de notre travail et les perspectives qui peuvent être proposées.

I. Commentaires sur l'expérimentation

A. Le remaniement des épreuves

Lors de cette étape de notre travail, nous avons tenté de prendre en considération les commentaires de Cynthia Luong quant aux épreuves à garder, à modifier ou à évincer. Nous avons été confrontée à certaines difficultés que nous allons exposer.

1. Difficultés dans le choix des items

La modification de certaines épreuves étant très difficile à appréhender, nous avons parfois été amenée à en abandonner certaines pour les remplacer par de nouvelles, complètement différentes. L'ancienne épreuve des « Formes étranges » en est l'illustration. La volonté de Cynthia Luong était de créer une épreuve originale afin de tester les capacités du calepin visuo-spatial au niveau de son versant visuel. Les formes inventées se sont révélées

trop complexes à reproduire pour les enfants. Une modification des items étaient donc nécessaire. Cependant, les critères à prendre en compte dans ce changement d'items étaient trop subjectifs. Il était en effet trop difficile d'évaluer la complexité des formes à inventer. Il fallait qu'elles soient à la fois plus simples à réaliser et le moins verbalisables possible. Le risque était alors d'obtenir les mêmes biais une fois les modifications effectuées ou bien de créer des formes trop simples et facilement verbalisables. Notre choix s'est donc porté sur l'élaboration d'une épreuve de patterns visuels. Nous avons abandonné l'idée d'une épreuve originale au profit d'une épreuve existant déjà mais dont les items sont le moins verbalisables possibles. L'épreuve originale de Wilson et al. (1987, cité par Parisse et Mollier, 2008) existe en version papier-crayon. Notre souhait a donc été de l'effectuer sur ordinateur afin d'avoir des temps de présentation standards. Nous souhaitons également présenter une version plus ludique, le support informatique plaisant généralement aux enfants.

Concernant l'épreuve des mots courts et longs, nous n'avons pas suivi la proposition de Cynthia Luong qui souhaitait l'évincer du protocole. Les mots choisis étaient trop complexes mais nous avons tout de même préféré conserver cette épreuve en procédant à une simplification des items. Nous nous sommes donc servie de la base de données lexicales Manulex (Ortega, Lété, 2010). Les mots que nous avons choisis sont certes plus fréquents et donc mieux connus des enfants mais nous nous sommes rendu compte, au cours de l'expérimentation, que ces mots revenaient trop fréquemment au sein des différentes listes. Cette redondance a amené les enfants à effectuer des erreurs de contamination de mots d'une liste à l'autre ainsi que des persévérations. La constitution de nos listes pourrait donc présenter un biais mais il se peut également que ces erreurs révèlent une faiblesse mnésique de la part des enfants. Il aurait tout de même été préférable de varier autant que possible les mots au sein des listes pour éviter ce doute. Cependant, le nombre de mots proposés par la base de données lexicales, en fonction du nombre de syllabes et de la fréquence demandés, était assez limité par rapport au nombre de mots nécessaires pour constituer toutes nos listes. Cela nous a donc amenée à réutiliser les mêmes mots.

Nous n'avons pas eu le même problème avec les mots phonologiquement éloignés car le nombre de mots unisyllabiques proposé par la base de données était plus important. Nous avons donc pu varier au maximum les mots au sein des listes.

2. Une épreuve non remplacée

L'épreuve « Pierre, feuille, ciseaux », testant l'inhibition, est désormais absente du protocole. Cette tâche nous a en effet posé quelques difficultés dans son remaniement. En effet, la complexité des consignes n'était pas le seul biais de cette épreuve. Nous nous sommes rendu compte que cette tâche, censée tester l'inhibition, présentait de nombreuses contraintes qui pouvaient mettre en doute son utilité. Tout d'abord, des processus autres que l'inhibition étaient mis en jeu. Cette critique a d'ailleurs été émise par Cynthia Luong elle-même. De plus, nous pouvions émettre un doute quant à ce que l'épreuve testait réellement. L'évaluation de la fonction d'inhibition pouvait être mise en doute car les séries de gestes à reproduire n'étaient pas automatiques. Cynthia Luong avait proposé de conserver cette épreuve mais face à de trop nombreux doutes, nous avons décidé de l'écarter du protocole.

Nous avons par la suite décidé de ne pas la remplacer pour d'autres raisons. Nous avons d'abord estimé la durée de passation, sans compter cette épreuve, à environ trois-quarts d'heure. Ensuite, nous étions à la fin du mois d'octobre et le début des premières passations était prévu au mois de novembre. En d'autres termes, cette épreuve n'a pas été remplacée à cause d'une durée de passation assez longue pour un test censé être utilisé en orthophonie et d'un manque de temps au niveau du calendrier. Bien que notre objectif soit de proposer aux orthophonistes un outil complet, ce souhait n'a donc pu être totalement réalisé.

B. La passation du protocole

1. Les conditions de passation

Les passations se sont déroulées dans une pièce en général à l'écart du bruit afin de minimiser les risques de distraction. Cependant, malgré ces précautions, les conditions n'étaient pas toujours idéales. Il est arrivé que l'on soit interrompu par une personne entrant dans la pièce ou bien que l'enfant soit distrait par les bruits extérieurs (récréation, personnes discutant dans le couloir...). Cela pourrait donc constituer un biais à notre étude.

En outre, l'ajout de nouvelles épreuves a augmenté la durée de passation du protocole qui est passée d'une demi-heure à trois-quarts d'heure. Ce temps de passation est long, d'autant

plus pour un test qui fait intervenir l'attention. Cependant, peu d'enfants ont manifesté de la fatigue lors des dernières épreuves.

2. Les modalités de passation

a) Les consignes

Les consignes des épreuves conservées n'ont pas fait l'objet de modifications car les enfants n'avaient pas manifesté de problèmes de compréhension.

Nous avons rédigé les consignes de nouvelles épreuves avec le même souci de clarté. Les consignes ont bien été comprises par l'ensemble des enfants.

b) Présentation des items

Que ce soient les chiffres, les mots ou les déplacements sur la grille de localisations, le temps de présentation a été défini à un item par seconde. Il était donc important d'être le plus régulier possible et de respecter ce temps tout au long des passations.

Les épreuves informatisées ont l'avantage de fournir un temps de présentation fixe, limitant ainsi au maximum les risques d'erreurs de la part du testeur.

Avant d'utiliser le test, il est nécessaire de bien connaître les épreuves d'empan afin de pouvoir présenter les items aisément, sans hésitation, tout en notant les réponses de l'enfant.

C. La cotation

En ce qui concerne la cotation, nous avons fait le choix de conserver un système de notation allant jusqu'à un empan de 7 pour les items verbaux et la grille de localisation. En effet, les empan moyens des enfants relevés dans la littérature étant en deçà, nous n'avons pas jugé utile d'ajouter des essais à huit éléments et plus. Cependant, il est arrivé que certains enfants atteignent un empan de sept éléments dans l'épreuve de logatomes et de la grille de localisations. Il aurait donc été utile d'ajouter un ou deux essais de plus afin d'obtenir l'empan

réel de ces enfants. En effet, cela biaise la normalisation car ces sujets auraient peut-être obtenu un empan supérieur à 7.

Concernant l'épreuve de patterns visuels, nous avons prévu une notation jusqu'à 14 éléments. Nous n'avons pas trouvé dans la littérature de données relatives à l'empan visuel chez les enfants. Nous nous sommes donc basée sur l'empan des adultes qui peut atteindre 15 ou 16. Lors de notre expérimentation, l'empan maximal atteint fut 11, chez un enfant de CM1.

D. Les résultats obtenus : comparaison avec les données de la littérature

1. Les empan moyens

La plupart des empan moyens relevés dans la littérature concerne des empan verbaux.

Comme nous l'avons déjà évoqué, l'empan verbal évolue tout au long de l'enfance. Il atteint en moyenne 6 éléments vers 9 ans (Goanac'h et Fradet, 2003). Dans notre protocole, l'empan moyen des enfants est de 4,34 à l'épreuve de chiffres, de 4 à l'épreuve de mots courts et de 3,55 à l'épreuve de mots longs. Ces scores sont donc faibles en comparaison avec les moyennes fournies dans la littérature. Il est peu probable que la complexité des items soit en cause. En effet, nous avons simplifié les mots dans l'épreuve de mots courts et longs en les remplaçant par des mots fréquents. Les chiffres sont également plus faciles à restituer car il s'agit d'un matériel familier des enfants.

A l'épreuve de logatomes, les enfants obtiennent un empan moyen de 5,1 sexes et niveaux scolaires confondus. Lors de l'administration de leur épreuve de non-mots, Poncelet et Van der Linden (2003) ont relevé un empan moyen de 6,2 chez les 7-9 ans et de 6,7 chez les 11-12 ans. Nos scores sur cette épreuve sont donc un peu plus faibles. Ils sont cependant plus élevés que ceux obtenus par Cynthia Luong. L'élargissement de la population témoin a certainement permis d'avoir des résultats plus représentatifs et la modification de cette épreuve d'obtenir des résultats plus en adéquation avec certains éléments fournis dans la littérature.

Concernant les scores moyens du calepin visuo-spatial, on trouve peu d'informations dans les ouvrages issus de la littérature. Cependant, nous pouvons comparer nos scores de l'épreuve de patterns visuels avec ceux issus d'une étude de Parisse et Mollier (2008). Ces

derniers relèvent un score moyen de 6,03 chez les enfants de 6-7 ans et de 13,87 chez les enfants de 11-12 ans. L'empan visuel moyen obtenu par les enfants avec notre protocole est de 5,75 chez les garçons de CE2-CM1, de 4,98 chez les filles de CE2-CM1, de 6,57 chez les garçons de CM2 et de 6,04 chez les filles de CM2. Bien que nos tranches d'âge ne concordent pas tout à fait, nous pouvons tout de même remarquer que nos résultats sont faibles par rapport à cette étude. Cette comparaison est tout de même à nuancer car le groupe contrôle constitué par Parisse et Mollier était composé de 30 enfants dans chaque tranche d'âge. Ce nombre est faible en comparaison à notre échantillon, beaucoup plus représentatif de la population générale.

2. La présence relative des effets

A l'issue de son étude, Cynthia Luong mettait en doute la présence des effets de similarité et de longueur. Nos scores montrent effectivement que ces effets ne sont pas présents systématiquement. A titre d'exemple, nous avons vu que très peu d'enfants sont sensibles à l'effet de longueur.

Les effets de similarité, de longueur et de suppression articulatoire, bien que décrits dans la littérature, sont à nuancer. Poncelet, Majerus et Van Der Linden (2009) indiquent que l'absence de ces effets ne signifie pas la présence d'un déficit. Par exemple, concernant l'effet de longueur du mot, la récapitulation articulatoire relève d'un moyen stratégique mis en place par l'enfant plutôt que d'un processus automatique. Ces auteurs conseillent donc de répéter la tâche plusieurs fois afin de déterminer si l'absence de l'effet est durable. Il faut également prendre en considération les performances quantitatives en comparant les scores à la moyenne.

Observer la présence ou non d'un effet de manière isolée n'a pas de sens. Il faut l'intégrer dans l'analyse globale des résultats, le relier aux scores et aux stratégies observées chez l'enfant, afin d'établir une interprétation précise et cohérente des résultats. Par exemple, observer une absence d'effet chez un enfant dont les empan sont à 6 dans chaque épreuve n'est pas pathologique. En revanche, un enfant peut être sensible à l'un des effets mais avoir des empan de 2 et 3, ce qui dans ce cas là peut être révélateur d'un problème mnésique.

3. L'épreuve de double tâche

Lors de cette épreuve, nous avons pu observer que **les scores étaient parfois meilleurs en situation de double tâche**. Nous pouvons émettre l'hypothèse que les enfants ont disposé d'un **apprentissage** lors de la tâche de poursuite visuelle effectuée isolément. Cela leur a permis ensuite de manipuler plus aisément la souris en situation de double tâche. Une autre hypothèse est un **recrutement attentionnel** plus important du fait de la difficulté supplémentaire que constitue la double tâche. Les enfants se montraient en effet davantage motivés, certains d'entre eux manifestant le désir de battre leur score.

De plus, nous avons noté que les CM2 ont de meilleures performances que les CE2 et les CM1 dans la tâche de poursuite visuelle. Nous pouvons supposer qu'étant un peu plus âgés, ils possèdent des capacités motrices, notamment en motricité fine, un peu plus développées. Cela peut également expliquer le fait que peu d'entre eux aient une baisse de leur score lorsque les tâches étaient effectuées en même temps, la manipulation de la souris leur étant plus aisée.

Cette épreuve n'est cependant pas à remettre en cause car des situations semblables sont mentionnées dans la littérature (Luong, 2009). En effet, il est important d'observer si le sujet est capable d'effectuer deux tâches simultanément sans trop de difficultés. Si les performances sont meilleures en situation de double tâche, cela signifie que cette capacité est intacte. De plus, à l'instar des autres épreuves, il faut comparer les scores du sujet à la moyenne afin de voir s'ils se situent dans la zone pathologique ou pas.

II. Intérêts de notre étude

A. Intérêts concernant la normalisation

1. Un échantillon représentatif

Nous avons pu recruter une population d'enfants tout-venant assez large pour commencer à être représentative. Cette population est représentative quantitativement mais également qualitativement. Nous avons en effet testé des enfants provenant de tous milieux sociaux, des enfants habitant en ville et à la campagne et originaires de deux régions différentes. Nous

avons également fait le choix de ne pas distinguer les enfants en difficultés scolaires et les enfants doués en classe afin d'obtenir une répartition des résultats la plus vaste possible.

2. Sensibilité des épreuves

Nos épreuves se sont révélées être assez sensibles. Nous n'avons effectivement noté ni d'effet plafond ni d'effet plancher des résultats. De plus, il s'est avéré, en échangeant avec les enseignants, que les enfants en difficulté au niveau scolaire présentaient effectivement des résultats plus faibles sur certaines épreuves. A contrario, les enfants doués en classe obtenaient souvent les scores les plus élevés. Cependant, nous avons demandé aux enseignants de ne pas nous donner d'informations sur les enfants avant chaque passation afin d'éviter tout biais en influençant l'attitude du testeur vis-à-vis de l'enfant.

B. Les épreuves : les points forts

1. Evaluation des trois composantes au sein du même outil

L'objectif initial de Cynthia Luong était de créer un outil complet à destination des orthophonistes, permettant l'évaluation de toutes les composantes de la mémoire de travail. La possession d'un outil unique éviterait de devoir se référer à différentes batteries pour évaluer la totalité de cette fonction instrumentale.

Nous avons donc poursuivi ce travail en gardant le même objectif. Même si le protocole a été remanié de manière importante, nous avons, dans la nouvelle version, des épreuves évaluant la boucle phonologique, le calepin visuo-spatial et le centre exécutif. Cet étalonnage permet donc une évaluation relativement complète de la mémoire de travail au sein d'un protocole unique.

Cette évaluation globale de la mémoire de travail est bien plus précise que les simples épreuves de chiffres endroit et de chiffres envers. Ces deux épreuves, souvent les seules utilisées dans la pratique orthophonique pour évaluer la mémoire de travail, ne donnent qu'un aperçu de la mémoire verbale. La mémoire spatiale et la mémoire visuelle sont quant à elles peu examinées. Or, nous avons vu qu'il est intéressant d'évaluer les capacités de l'enfant sur

ces versants-là également, la mémoire visuo-spatiale intervenant notamment en production écrite et dans les activités mathématiques.

2. Les épreuves informatisées : des épreuves plus fiables et plus ludiques

Une des perspectives proposées par Cynthia Luong était la mise en place d'outils informatisés. Bien qu'il soit difficile de créer tout un protocole sur ordinateur, nous avons tout de même pu adapter certaines épreuves telles que les patterns visuels et l'épreuve de double tâche.

De manière générale, les enfants se montraient bien plus motivés lorsqu'il s'agissait d'effectuer une épreuve informatisée. Ils l'étaient d'autant plus sur l'épreuve de double tâche qui demandait concentration et rapidité. La majorité des enfants se prenaient au jeu et manifestaient leur intérêt d'effectuer une épreuve sur l'ordinateur, beaucoup d'entre eux étant familiers avec les jeux vidéo.

Ces épreuves informatisées ont donc toute leur place au sein de ce protocole. Cela est en adéquation avec l'évolution de la société et la manipulation de plus en plus précoce et banalisée de l'outil informatique chez les enfants.

III. Les limites de notre étude

A. Les limites concernant la normalisation

1. Les conditions nécessaires à la présentation d'un test

L'administration d'un test doit obligatoirement s'effectuer sous certaines conditions. En effet, un test doit posséder les qualités suivantes (Brin, Courrier, Lederlé, May, 2004) :

- **Fidélité** : Cette qualité signifie que les résultats sont constants si l'on fait passer le test plusieurs fois de suite au même sujet.

- **Sensibilité** : Cette qualité concerne la finesse discriminative du test. Plus un test est sensible, plus il détermine des catégories pour le classement des sujets permettant ainsi de les différencier entre eux.
- **Validité** : Qualité selon laquelle un test mesure bien ce qu'il est censé mesurer.

Nous n'avons pas pu vérifier la fidélité du test car nous n'avons pas été en mesure de l'administrer plus de deux fois de suite aux enfants.

Notre test paraît cependant assez sensible dans la mesure où nous n'avons pas obtenu d'« effet plafond » et d'« effet plancher » au niveau des scores.

Enfin, il est difficile d'affirmer de manière certaine la validité du test car nous avons vu que tester la mémoire de travail fait intervenir d'autres fonctions cognitives telles que l'attention et les fonctions exécutives. Cependant, nous nous sommes basée sur des épreuves existantes donc nous pouvons dire que nos épreuves ont une validité théorique.

2. Les conditions du testing

Les résultats d'un test sont toujours influencés par des facteurs extérieurs. L'enfant peut par exemple être fatigué le jour de la passation. Ces résultats ne reflèteront alors pas ses capacités réelles. De plus, la situation de test est souvent anxiogène. Certains enfants manifestaient parfois des signes de stress. Bien que nous les rassurions en leur disant qu'il était normal que certaines épreuves leur paraissent difficiles et que les résultats resteraient anonymes, les enfants pouvaient tout de même se sentir jugés et appréhender ce moment. Les résultats peuvent alors être influencés par cet état de stress, et ne pas refléter les performances réelles de l'enfant.

B. Les épreuves : les points faibles

1. Epreuve de double tâche : la manipulation de la souris

Nous avons vu que la version informatisée de l'épreuve de double tâche semble mieux adaptée pour évaluer cette fonction. Cependant, une des limites de cette tâche peut être la

manipulation de la souris. La plupart des enfants n'ont pas de problème avec cela mais cette épreuve peut par exemple être compliquée à effectuer auprès d'un enfant peu habitué à utiliser l'ordinateur.

De plus, le score apparaît sur l'écran. Il aurait sans doute été préférable que le score ne soit visible que pour le testeur, après la passation de l'épreuve, afin d'éviter toute inquiétude de la part des enfants vis-à-vis de leurs performances.

2. Un outil presque complet

Bien que toutes les composantes de la mémoire de travail soient évaluées au sein du même outil, l'inhibition, une des fonctions du centre exécutif, ne peut être testée en raison du non remplacement de la tâche initiale créée par Cynthia Luong. L'évaluation du centre exécutif étant incomplète, notre objectif initial n'est donc pas tout à fait atteint.

IV. Perspectives envisagées

A. Poursuite de l'étalonnage

Bien que nous ayons recruté une population assez large, le travail effectué reste un début d'étalonnage. Pour que cet échantillon constitue un panel vraiment représentatif des enfants scolarisés en France, il faudrait davantage varier les régions de recrutement et augmenter encore l'échantillon en prenant en compte les mêmes variables (niveau scolaire, sexe, zone d'éducation et zone rurale/zone urbaine). Il serait donc intéressant de poursuivre cet étalonnage afin d'obtenir une très large population recrutée dans diverses régions de France. Elargir la population à d'autres niveaux scolaires pourrait également être envisagé. Il serait en effet utile de poursuivre l'étalonnage sur des collégiens. Un étalonnage sur des enfants de CP-CE1, dont le développement de la mémoire de travail n'est pas encore arrivé à maturité et dont les stratégies ne sont pas encore en place, serait également intéressant.

B. Validation auprès de sujets pathologiques

Cet étalonnage a permis de constituer des normes sur les différentes épreuves. Il serait nécessaire d'effectuer une validation du protocole pour vérifier la pertinence de ce dernier en déterminant si les épreuves sont applicables à une population pathologique. Le test pourrait ainsi être administré à des enfants présentant des troubles des apprentissages et/ou des troubles développementaux afin de vérifier que leurs résultats se situent en-dessous des normes issues de l'étalonnage.

C. Création d'une épreuve testant l'inhibition

Comme nous l'avons évoqué, notre protocole ne contient pas d'épreuve testant l'inhibition. Créer une épreuve supplémentaire permettrait de pouvoir tester cette fonction du centre exécutif. Elle pourrait, par la suite, être rattachée au protocole après avoir procédé à une normalisation sur une large population témoin en choisissant les mêmes variables au niveau du recrutement.

D. Vers des tests plus écologiques...

Une des critiques les plus répandues au sujet des tests de mémoire concerne le manque de validité écologique (Soprano, Narbona, 2009). Il est en effet nécessaire de cibler les difficultés du sujet tout en les reliant aux différentes activités de la vie quotidienne. Les conditions de passation de la plupart des tests ne sont pas des situations naturelles. Peu de tests mnésiques rendent compte des performances du sujet dans des situations concrètes. Les résultats sont donc parfois peu représentatifs des difficultés ressenties par le sujet dans les différentes activités quotidiennes.

Une perspective à envisager par la suite serait la création d'une épreuve d'évaluation écologique de la mémoire de travail, qui mettrait en évidence les difficultés réelles du patient au quotidien.

CONCLUSION

Les données théoriques que nous avons pu recueillir montrent l'influence de la mémoire de travail au sein du développement et des apprentissages de l'enfant. Elle tient en effet une place fondamentale dans le développement du langage oral, des capacités logico-mathématiques et l'apprentissage du langage écrit. Il est donc nécessaire de pouvoir évaluer cette fonction instrumentale en orthophonie car elle joue un rôle majeur dans les troubles du développement et les troubles des apprentissages.

Cynthia Luong avait créé en 2009 un protocole d'évaluation de la mémoire de travail à destination des orthophonistes dans le but de pallier le manque d'outils complets.

Notre étude avait pour objectifs de remanier et d'étalonner ce protocole sur une importante population d'enfants. Nous l'avons donc révisé dans le souci d'avoir à disposition un outil valide, utilisable dans la pratique orthophonique. Nos différentes épreuves sont directement basées sur des épreuves issues de la littérature, nous permettant ainsi d'accorder une valeur théorique à l'ensemble du test.

Nous avons par la suite recruté 150 enfants tout-venant, scolarisés du CE2 au CM2. Grâce à l'analyse statistique des résultats, nous avons pu mettre en exergue les différences entre les groupes et établir ainsi des normes fiables et représentatives grâce à notre large panel. Les épreuves se sont révélées sensibles dans la mesure où aucune n'est saturée.

On remarque des différences significatives entre les niveaux scolaires sur sept épreuves ainsi que sur tous les scores globaux. Des différences significatives entre les filles et les garçons sont observables sur seulement deux épreuves. Concernant les huit autres épreuves, aucune différence significative n'est à noter.

Bien que nous ayons tenu compte des critiques émises par Cynthia Luong ainsi que des éléments de la littérature, les résultats et les erreurs observées chez les enfants traduisent la présence de certains biais dans nos épreuves. Cependant, malgré quelques points faibles, ce protocole s'avère intéressant car il offre un outil relativement complet aux orthophonistes. En effet, les trois composantes de la mémoire de travail, à savoir la boucle phonologique, le

calepin visuo-spatial et le centre exécutif sont évalués. L'ensemble de la structure de la mémoire de travail est ainsi testée et la (ou les) composante(s) déficitaires sont précisément ciblée(s). Cela permet d'orienter la prise en charge et d'adapter au mieux les aménagements nécessaires pour l'enfant. Par conséquent, cette étude mérite d'être approfondie en proposant un étalonnage sur des collégiens ainsi que sur des CP-CE1. Une première validation auprès d'une population pathologique d'enfants scolarisés en cycle3 peut également être effectuée.

De plus, suite à ce travail, quelques pistes de réflexion peuvent être ouvertes quant à l'évaluation de la mémoire de travail chez les enfants. D'autres types d'évaluations pourraient en effet être proposés. La création d'un test écologique serait une perspective intéressante et novatrice dans la mesure où peu de tests proposent d'intégrer l'évaluation de la mémoire dans la vie quotidienne du patient.

BIBLIOGRAPHIE

1. Alamargot D., Lambert É., Chanquoy L. (2005). La production écrite et ses relations avec la mémoire. *Approche neuropsychologique des acquisitions de l'enfant*, 17, 41–46.
2. Alamargot, D. (2007). Développement de la mémoire : impact sur l'apprentissage de la production écrite. In Entretiens d'orthophonie Bichat 2007. *Expansion scientifique française*, 210-228.
3. American Psychiatric Association, (2004), *DSM-IV-TR Manuel diagnostique et statistique des troubles mentaux : texte révisé*, Paris : Masson.
4. Baddeley, A. (1986). *Working memory*. Oxford (UK) : Clarendon press.
5. Baddeley, A., (2000). The episodic buffer : a new component of working memory. *Trends in cognitives sciences*. 4, 11, 417-423
6. Billard, C., Livet, M-O., Motte, J., Vallée, L., Gillet, P., Galloux, A., Piller, A-G., Vol, S. (2000). B.R.E.V., Batterie Rapide d'Evaluation des fonctions cognitives. Paris : Signes.
7. Bourdin, B. (1999). Mémoire de travail et production langagière : comparaison de l'oral et de l'écrit chez les adultes et les enfants. *L'année psychologique*, 99, 1, 123 – 148.
8. Boutard, C., Morcrette, D. (2007). L'évaluation de la mémoire de l'enfant. In Entretiens d'orthophonie Bichat 2007. *Expansion Scientifiques Française*, 29-49.
9. Brin, F., Courrier, C., Lederlé, E., Masy, V. (2004). *Dictionnaire d'orthophonie*. Isbergues : Orthoédition

10. Brogard H., Allain P., Aubin G., Le Gall, D. (2007). Mémoire de travail et contrôle attentionnel, in Aubin G., Coyette F., Pradat-Diehl P, Vallat-Azouvi C. (Eds). *Neuropsychologie de la mémoire de travail*, Marseille : Solal.
11. Burgess, G.C, Depue, B.E., Ruzic, L., Willcutt, E.G., Du, Y.P., Barich, M.T. (2010). Attentional control activation relates to working memory in attention deficit/hyperactivity disorder. *Society of biological psychiatry*, 67, 632-640.
12. Chanquoy, L., Alamargot, D. (2002). Mémoire de travail et rédaction de textes : évolution des modèles et bilan des premiers travaux. *L'année psychologique*. 102, 2, 363-398.
13. Chevrie-Muller, C. (1997). L2MA, Batterie langage oral, langage écrit, mémoire, attention. Paris : Editions ECPA.
14. Closset A., Majerus S. (2007). Rééducation de la mémoire phonologique à court terme : application chez une enfant de 10 ans. In Aubin G., Coyette F., Pradat-Diehl P, Vallat-Azouvi C. (Eds). *Neuropsychologie de la mémoire de travail*, Marseille : Solal.
15. Cohen, M-J. (2001). CMS, Children Memory Scale. Paris : Editions ECPA.
16. Cordier, F., Gaonac'h, D. (2007). *Mémoire et apprentissage*. Paris : Armand Colin.
17. Cowan, N. (2005). *Working memory capacity*. New-York : Psychology press.
18. De Jong, P.F. (1998). Working memory deficits of reading disabled children. *Journal of experimental child psychology*, 70, 75-96.
19. Demont E., Botzung, A. (2003). Contribution de la conscience phonologique et de la mémoire de travail aux difficultés en lecture : étude auprès d'enfants dyslexiques et apprentis lecteurs. *L'année psychologique*, 103, 3, 377-409.

20. Dumont A., (1998). *Mémoire et langage, Surdité, dysphasie, dyslexie*. Paris : Masson.
21. Ehrlich, M.F., Delafoy, M. (1990). La mémoire de travail : structure, fonctionnement, capacité. *L'année psychologique*, 90, 3, 403-427.
22. Fournier, S., Monjauze, C. (2000). La mémoire de travail. *Rééducation orthophonique*, 201, 19-42.
23. Gaonac'h, D., Larigauderie, P. (2000). *Mémoire et fonctionnement cognitif, La mémoire de travail*. Paris : Armand Colin.
24. Gaonac'h, D., Fradet, A. (2003). La mémoire de travail : développement et implication dans les activités cognitives. In Kail, M., Fayol, M. (Eds). *Les sciences cognitives et l'école : la question des apprentissages*. Paris : PUF.
25. Gaonac'h D. (2005). Mémoire de travail et apprentissages scolaires. *Approche neuropsychologique des acquisitions de l'enfant*, 81, 47-52.
26. Gathercole, S.E.; Baddeley, A.D. (1990). Phonological memory deficits in language disordered children : is there causal connection? *Journal of memory and language*, 29, 336-360
27. Gathercole, S. (1999). Cognitive approaches to the development of short-term memory. *Trends in cognitive sciences*, 3, 11, 410-419.
28. Gathercole, S., Service, E., Hitch, G.J., Adamas, A.M., Martin, A.J. (1999). Phonological short-term memory and vocabulary development: further evidence on the nature of the relationship. *Applied cognitive psychology*, vol.13, 65-77

29. Gathercole, S., Pickering, S. (2000). Working memory deficits in children with low achievements in the national curriculum at 7 years of age. *British Journal of Educational Psychology*, 70, 177-194.
30. Gathercole, S., Pickering, S., Ambridge, B., Wearing, H. (2004). The structure of working memory from 4 to 15 years of age. *Developmental psychology*, 40, 2, 177-190.
31. Gavens, N., Camos, V. (2007). Le développement de la mémoire de travail. In Entretiens d'orthophonie Bichat 2007. *Expansion scientifique française*, 7-19.
32. Guichard-Gomez, E. (2003). Comment j'examine la mémoire de travail. *Neurologies*, 6, 130 -134.
33. Kaufman, A. (1993). K-ABC, Batterie pour l'examen psychologique de l'enfant. Paris : Editions ECPA.
34. Korkman, M., Kirk, U., Kemp, S. (2003). NEPSY, Bilan neuropsychologique de l'enfant. Paris : ECPA.
35. Lechevalier, B., Eustache, F., Viader, F. (2008). *Traité de neuropsychologie clinique, Neurosciences cognitives et cliniques de l'adulte*. Bruxelles : De Boeck
36. Lecocq P. (1987). Conscience phonologique, mémoire de travail et acquisition de la lecture, *Congrès FNO*, 356 – 387.
37. Luong, C. (2009), *Elaboration d'un protocole d'évaluation de la mémoire de travail pour enfant de CE2 et de CM2*, Mémoire d'Orthophonie, Université Bordeaux II.
38. Lussier, F., Flessas, J. (2009). *Neuropsychologie de l'enfant : troubles développementaux et de l'apprentissage*. Paris : Dunod.

39. Majerus, S., Poncelet, M. (2004). Mémoire à court terme verbale : cause ou conséquence du développement du langage ? In Metz-Lutz M.N., Demont E., Seegmuller C., De Agostini M., Bruneau N. *Développement cognitif et troubles des apprentissages : évaluer, comprendre, rééduquer et prendre en charge*. Marseille : Solal
40. Matlin, M. W. (2001). *La cognition, une introduction à la psychologie cognitive*. Paris : De Boeck.
41. Molko N., Wilson A., Deheane S., (2005). La dyscalculie développementale, un trouble primaire de la perception des nombres. *Revue française de pédagogie*. 152, 41-47.
42. Monnier, C., Roulin J.L. (1994). A la recherche du CVS en mémoire de travail. *L'année psychologique*. 94, 3, 425-460
43. Noël, M.P. (2005). Rôle de la mémoire de travail dans l'apprentissage du calcul. In Van Hout, A., Meljac, C. *Troubles du calcul et dyscalculies chez l'enfant* (pp. 171-178). Paris Masson.
44. Noël, M.P. (2007). *Bilan neuropsychologique de l'enfant*. Warwe (Belgique) : Margada
45. Organisation Mondiale de la Santé (1993). *Classification internationale des maladies, 10^{ème} révision (CIM-10)*. Genève : O.M.S.
46. Ortega, E., Lété, B. (2010). *eManulex : Electronic version of Manulex and Manulex-infra databases*. Retrieved from <http://www.manulex.org>.
47. Pakzad S., Rogé, B. (2004). Les performances des enfants dyslexiques dans le rappel de suites de chiffres. *Approche neuropsychologique des acquisitions de l'enfant*, 78, 239-242.

48. Parisse, C., Mollier, R. (2008). Le déficit de mémoire de travail chez les enfants dysphasiques est-il ou non spécifique du langage ? *Congrès mondial de linguistique Française*. Paris : Institut de linguistique française.
49. Passolunghi M., Cornoldi C., De Liberto S. (1999), Working memory and intrusions of irrelevant information in a group of specific poor problems solvers. *Memory and Cognition*, 27, 779-790.
50. Pickering, S., Gathercole, S., Peaker, S.M. (1998). Verbal and visuo-spatial short-term memory in children : evidence for common and distinct mechanisms. *Memory & Cognition*, 26, 6, 1117-1130.
51. Pickering, S., Gathercole, S., Hall, M., Lloyd, S.A. (2001). Developmental of memory for pattern and path : further evidence for the fractionation of visuo-spatial memory. *The quarterly journal of experimental psychology*, 54A, 2, 397- 420.
52. Pickering, S.J., (2004). Développement de la mémoire de travail visuo-spatiale et troubles des apprentissages. In Metz-Lutz M.N., Demont E., Seegmuller C., De Agostini M., Bruneau N. *Développement cognitif et troubles des apprentissages : évaluer, comprendre, rééduquer et prendre en charge*. Marseille : Solal
53. Plaza, M., Daniel, A., Hubert, D., Chauvin, D., Gazzano, O., Rigoard, P.T. (2006). Mécanismes d'identification des mots et compréhension de l'écrit : étude développementale et clinique. *Glossa*, 95, 24-40.
54. Poncelet, M., Van Der Linden, M. (1996). Mémoire de travail et langage : le rôle de la boucle phonologique. *Questions de logopédie*, 33, 127-150.
55. Poncelet M., Van Der Linden M. (2003). Evaluation du stock phonologique de la mémoire de travail : élaboration d'une épreuve de non-mots pour population francophone. *L'année psychologique*, 13, 3, 377-407.

56. Poncelet, M., Majerus, S., Van Der Linden, M. (2009). *Traité de neuropsychologie de l'enfant*. Marseille : Solal.
57. Pross, N., Gaonac'h, D., Gaux, C. (2008). Développement de la mémoire de travail : relations du centre exécutif avec la boucle phonologique et le calepin visuo-spatial chez des enfants de CE2 et de CM2. *Psychologie française*, 53, 307 – 326.
58. Roulin, J.L. (2006). *Psychologie cognitive*. Rosny : Bréal.
59. Seigneuric, A., Ehrlich, M.F. (2001). Historique et évolution du concept de mémoire de travail. *Rééducation orthophonique*, 39, 208, 75 – 100
60. Seron X., (2007). La mémoire de travail : du modèle initial au buffer épisodique. In Aubin G., Coyette F., Pradat-Diehl P, Vallat-Azouvi C. (Eds), *Neuropsychologie de la mémoire de travail*, Marseille : Solal.
61. Shiffrin R.M., Schneider W. (1977). Controlled and automatic human information processing : II. Perceptual learning, automatic attending and a general theory. *Psychological review*, 84, 127-190.
62. Soprano, A.M., Narbona, J. (2009) *La mémoire de l'enfant, développement normal et pathologique*. Issy-les-Moulineaux : Elsevier – Masson.
63. Speth A., Ivanoiu A. (2007). Mémoire de travail et contrôle exécutif. In Aubin G., Coyette F., Pradat-Diehl P, Vallat-Azouvi C. (Eds). *Neuropsychologie de la mémoire de travail*. Marseille : Solal.
64. Sprenger-Charolles L., Lacert, P., Colé, P. (1999). Déficits phonologiques et métaphonologiques chez des dyslexiques phonologiques et de surface. *Rééducation orthophonique*, 36, 197, 25-51.
65. Squire, L.R., Knowlton, B., Musen, G. (1993). The structure and organization of memory. *Annual review of psychology*, 44, 453-495.

66. Van Der Linden M., Collette F. (2002). Attention et mémoire de travail. In Couillet J., Leclercq, M., Moroni C., Azouvi P. (Eds). *La neuropsychologie de l'attention*. Marseille : Solal.
67. Van Hout A. (2005). Dyscalculies développementales. In Van Hout A., Meljac C., Fisher J.P. (Eds). *Troubles du calcul et dyscalculies chez l'enfant*, Paris : Masson.
68. Wechsler, D. (2005). WISC-IV, Wechsler Intelligence Scale for Children. Paris : Editions ECPA.

Table des illustrations

Figure 1 : Schéma du modèle de Baddeley (1986)	8
Figure 2 : Version actuelle du modèle de Baddeley (2000)	15
Figure 3 : Comparaison de la moyenne du score BP en fonction du niveau scolaire et du sexe.	75
Figure 4 Comparaison de la moyenne du score CVS en fonction du niveau scolaire et du sexe.	76
Figure 5 : Comparaison de la moyenne du score CE en fonction du niveau scolaire et du sexe.	77
Figure 6 : Comparaison de la moyenne du score total des trois composantes en fonction du niveau scolaire et du sexe.	78
Figure 7 : Comparaison de la moyenne du score à l'épreuve des chiffres endroit en fonction du niveau scolaire et du sexe.	79
Figure 8 : Comparaison de la moyenne du score à l'épreuve des mots phonologiquement proches en fonction du niveau scolaire et du sexe.	80
Figure 9 : Comparaison de la moyenne du score à l'épreuve des mots phonologiquement éloignés en fonction du niveau scolaire et du sexe.	81
Figure 10 : Comparaison de la moyenne du score à l'épreuve des mots courts sans suppression articulatoire en fonction du niveau scolaire et du sexe.	82
Figure 11 : Comparaison de la moyenne du score à l'épreuve des mots longs sans suppression articulatoire en fonction du niveau scolaire et du sexe.	83
Figure 12 : Comparaison de la moyenne du score à l'épreuve des mots courts avec suppression articulatoire en fonction du niveau scolaire et du sexe.	84
Figure 13 : Comparaison de la moyenne du score à l'épreuve des mots longs avec suppression articulatoire en fonction du niveau scolaire et du sexe.	85
Figure 14 : Comparaison de la moyenne du score à l'épreuve de logatomes en fonction du niveau scolaire et du sexe.	86
Figure 15 : Comparaison de la moyenne du score à l'épreuve de la grille de localisations en fonction du niveau scolaire et du sexe.	87
Figure 16 : Comparaison de la moyenne du score à l'épreuve des patterns visuels en fonction du niveau scolaire et du sexe.	88
Figure 17 : Comparaison de la moyenne du score à l'épreuve d'empan transposé en fonction du niveau scolaire et du sexe.	89
Figure 18 : Comparaison de la moyenne du score à l'épreuve de répétition de chiffres en isolé en fonction du niveau scolaire et du sexe.	90
Figure 19 : Comparaison de la moyenne du score à la tâche de poursuite visuelle en isolé en fonction du niveau scolaire et du sexe.	91

Figure 20 : Comparaison de la moyenne du score à l'épreuve de répétition de chiffres en double tâche en fonction du niveau scolaire et du sexe.	92
--	----

Figure 21 Comparaison de la moyenne du score à la tâche de poursuite visuelle en double tâche en fonction du niveau scolaire et du sexe.	93
---	----

Tableau 1 : Population témoin.....	71
------------------------------------	----

Tableau 2 : Résumé des résultats des ANOVA	95
--	----

Tableau 3 : Moyennes et écarts-types – Boucle phonologique	96
--	----

Tableau 4 : Moyennes et écarts-types – Calepin visuo-spatial	96
--	----

Tableau 5 : Moyennes et écarts-types – Centre exécutif.....	96
---	----

Tableau 6 : Moyennes et écarts-types – Score total des trois composantes	96
--	----

Tableau 7 : Moyennes et écarts-types – Chiffres endroit.....	97
--	----

Tableau 8 : Moyennes et écarts-types – Mots phonologiquement proches (MPP).....	97
---	----

Tableau 9 : Moyennes et écarts-types – Mots phonologiquement éloignés (MPE)	97
---	----

Tableau 10 : Moyennes et écarts-types – Mots courts sans suppression articulatoire (MCSS).....	97
--	----

Tableau 11 : Moyennes et écarts-types – Mots longs sans suppression articulatoire (MLSS)	97
--	----

Tableau 12 : Moyennes et écarts-types – Mots courts avec suppression articulatoire (MCAS).....	97
--	----

Tableau 13 : Moyennes et écarts-types – Mots longs avec suppression articulatoire (MLAS)	98
--	----

Tableau 14 : Moyennes et écarts-types – Logatomes	98
---	----

Tableau 15 : Moyennes et écarts-types – Grille de localisations	98
---	----

Tableau 16 : Moyennes et écarts-types – Patterns visuels	98
--	----

Tableau 17 : Moyennes et écarts-types – Empan transposé.....	98
--	----

Tableau 18 : Moyennes et écarts-types – Répétition de chiffres en isolé.....	98
--	----

Tableau 19 : Moyennes et écarts-types – Poursuite visuelle en isolé.....	99
--	----

Tableau 20 : Moyennes et écarts-types – Répétition de chiffres en double tâche	99
--	----

Tableau 21 : Moyennes et écarts-types – Poursuite visuelle en double tâche	99
--	----

Table des annexes

Annexe 1 : Test d'articulation	134
Annexe 2 : Liste des chiffres	135
Annexe 3: Mots phonologiquement proches et éloignés	136
Annexe 4 : Mots courts et longs sans suppression articulatoire	138
Annexe 5 : Mots courts et longs avec suppression articulatoire	140
Annexe 6 : Liste des logatomes	142
Annexe 7 : Grille de localisations.....	143
Annexe 8 : Patterns visuels	145
Annexe 9 : Liste des chiffres pour l'épreuve d'empan transposé.....	148
Annexe 10 : Epreuve de double tâche	149
Annexe 11 : Fiche de passation	151

Annexe 1 : Test d'articulation

Consonnes

pa ta ka

ba da ga

fa va

sa za

cha ja

ma na

la

ra

Voyelles

ba bo bi bu bou bé ban bin bon

Annexe 2 : Liste des chiffres

Empan	Essai 1	Essai 2	Essai 3
2	3 – 6	5 – 2	9 – 1
3	4 – 7 – 2	3 – 1 – 8	9 – 3 – 6
4	5 – 1 – 3 – 6	7 – 4 – 9 – 3	2 – 4 – 7 – 1
5	8 – 6 – 3 – 4 – 1	5 – 8 – 3 – 6 – 9	7 – 4 – 1 – 3 – 2
6	4 – 6 – 3 – 8 – 1 – 2	8 – 6 – 1 – 7 – 2 – 5	6 – 3 – 2 – 5 – 1 – 7
7	6 – 9 – 2 – 3 – 5 – 1 – 4	2 – 4 – 7 – 3 – 6 – 1 – 9	5 – 7 – 4 – 1 – 9 – 6 – 3

Annexe 3: Mots phonologiquement proches et éloignés

Listes des mots phonologiquement proches

Empan	Essai 1	Essai 2	Essai 3
2	Chou – sou	Fou – loup	Sou – roue
3	Fou – chou – roue	Cou – goût – joue	Joue – bout – chou
4	Loup – bout – cou – goût	Sou – tout – fou – chou	Chou – loup – sou – cou
5	Tout – sou – joue – fou – loup	Bout – roue – chou – sou goût	Goût – sou – roue – fou – tout
6	Sou – joue – roue – cou – chou – bout	Loup – sou – roue – chou – fou – bout	Bout – cou – sou – fou – chou – gout
7	Chou – goût – bout – fou – sou – joue – fou	Joue – cou – fou – chou – roue – loup – joue	Cou – loup – sou – joue – bout – roue – goût

Listes des mots phonologiquement éloignés

Empan	Essai 1	Essai 2	Essai 3
2	rue – sel	dos – pas	clé – but
3	fer – pot – vie	mot – rat – pic	son – mie – bec
4	vue – col – âne – mer	clé – mât – vol – bus	nid – blé – âne – jeu
5	ton – fil – gaz – fée – pin	lot – feu – cri – nom – sud	loi – riz – fou – sol – âge
6	mur – cil – sol – lac – nez – lin	cou – pré – riz – oie – vin – eau	jus – pré – ski – dos – gaz – nom
7	roi – pie – œil – âge – eau – duc – mai	bol – thé – gaz – pli – œuf – don – lin	île – coq – pas – nez – roi – lin – bus

Annexe 4 : Mots courts et longs sans suppression articulatoire

Listes des mots courts sans suppression articulatoire

Empan	Essai 1	Essai 2	Essai 3
2	foule – pain	glace – ciel	film – jambe
3	vache – pomme – bois	beurre – joue – femme	port – soir – cœur
4	dent – gare – fille – bouc	larme – soupe – oncle – nuit	neige – vache – parc – glace
5	voile – lampe – sœur – vase – herbe	poule – doigt – chêne – robe – fruit	livre – gare – lion – sang – trou
6	front – lait – score – verre – fleur – pêche	plage – voix – cœur – pluie – garde – bœuf	ciel – pain – aile – ville – front – doigt
7	tronc – rire – camp – balle – train – carte – lion	bain – ours – aile – poche – champ – tête – dame	puits – lune – vase – poil – bois – four – dent

Listes des mots longs sans suppression articulatoire

Empan	Essai 1	Essai 2	Essai 3
2	camarade - médecin	escargot – couverture	promenade – aventure
3	araignée – champignon – escalier	numéro – paysan – chocolat	journaliste – escargot – déjeuner
4	véhicule – pantalon – capitaine – éléphant	promenade – océan – papillon – vêtement	nourriture – parapluie – camarade – araignée
5	parapluie – nourriture – océan – magasin – jardinier	maladie – professeur – compagnon – document – escalier	vêtement – horizon – numéro – chocolat – instrument
6	cinéma – écureuil – chocolat – vêtement – horizon – dictionnaire	crocodile – médecin – accident – pantalon – véhicule – téléphone	compagnon – paysan – maladie – jardinier – aventure – escargot
7	instrument – cheminée – alphabet – hirondelle – couverture – paysage – téléphone	capitaine – magasin – cinéma – directeur – écureuil – champignon – dictionnaire	paysage – océan – camarade – nourriture – ennemi – accident – journaliste

Annexe 5 : Mots courts et longs avec suppression articulatoire

Listes des mots courts avec suppression articulatoire

Empan	Essai 1	Essai 2	Essai 3
2	vache – dent	Neige – beurre	Ville – rire
3	Foule – lait – plume	Larme – camp – verre	Pain – front – lune
4	Gare – voix – soupe – reine	Ciel – doigt – roue – banc	Voile – poule – joue – glace
5	Oncle – balle – lion – puits – vase	Fleur – lampe – pomme – jambe – train	Sœur – ours – poche – carte – doigt
6	Page – fille – singe – trou – bois – herbe	Pluie – garde – cœur – parc – robe – chêne	Champ – dame – livre – soir – port – arme
7	Bœuf – aile – poche – score – front – ville – femme	Dame – ours – pêche – nuit – trou – dent – piste	Plage – boule – fleur – sang – roue – lait – four

Listes des mots longs avec suppression articulatoire

Empan	Essai 1	Essai 2	Essai 3
2	Eléphant – horizon	Pantalon – capitaine	Cinéma – professeur
3	Parapluie – directeur – cheminée	Maladie – araignée – camarade	Nourriture – pantalon – journaliste
4	Chocolat – alphabet – couverture – compagnon	Nourriture – professeur – numéro – escargot	Horizon – dictionnaire – téléphone – crocodile
5	Document – écureuil – déjeuner – paysan – cinéma	Champignon – paysage – téléphone – directeur – crocodile	Médecin – véhicule – escalier – araignée – camarade
6	Jardinier – escalier – ennemi – océan – instrument – papillon	Chocolat – parapluie – hirondelle – aventure – compagnon – accident	chocolat – magasin – déjeuner – promenade – écureuil - document
7	Promenade – dictionnaire – médecin – aventure – magasin – véhicule – escargot	Cheminée – alphabet – cinéma – vêtement – ennemi – éléphant – capitaine	Océan – paysan – maladie – compagnon – numéro – papillon – instrument

Annexe 6 : Liste des logatomes

Empan	Essai 1	Essai 2	Essai 3
2	pan – fu	di – ké	gou – si
3	meu – zé – da	go – fi – man	bo – za – lin
4	no – ba – gu – ti	fon – reu – zo – kin	veu – da – sé – no
5	su – chin – ko – ni – reu	pan – fi – ga – go – zu	fo – ké – ji – ma – su
6	go – na – vé – bu – di – fon	su – lin – peu – ma – zan – ton	mu – din – ki – zon – té – da
7	ké – pan – zou – ti – fu – beu – jo	fon – go – ta – zé – man – du – kin	pan – jo – neu – ri – bé – fon – chu

Annexe 7 : Grille de localisations

Planche pour la grille de localisations avec repère pour le testeur

1	2	3
4	5	6
7	8	9

Listes des déplacements dans les cases pour la Grille de localisations

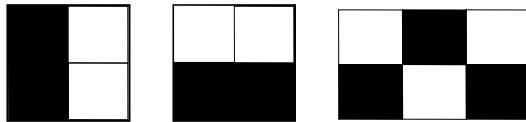
Empan	Essai 1	Essai 2	Essai 3
2	5 – 7	2 – 7	3 – 8
3	9 – 3 – 5	2 – 8 – 6	4 – 1 – 9
4	4 – 2 – 6 – 8	1 – 9 – 3 – 2	7 – 6 – 2 – 5
5	5 – 7 – 1 – 3 – 6	2 – 5 – 7 – 9 – 8	8 – 6 – 1 – 4 – 5
6	4 – 8 – 6 – 3 – 2 – 5	7 – 1 – 5 – 9 – 3 – 2	2 – 5 – 9 – 7 – 1 – 3
7	1 – 9 – 6 – 4 – 8 – 5 – 7	2 – 8 – 6 – 9 – 1 – 7 – 4	6 – 8 – 4 – 2 – 5 – 9 – 3

Annexe 8 : Patterns visuels

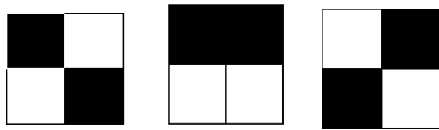
Feuille corrective à l'attention du testeur avec les différents essais.

Il s'agit des différents essais présentés, les patterns allant de 4 cases (empan de 2) jusqu'à 28 cases (empan de 14).

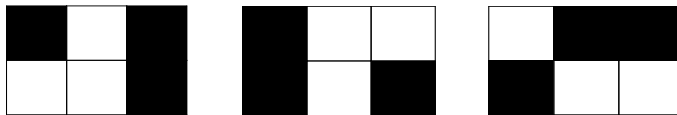
Exemples :



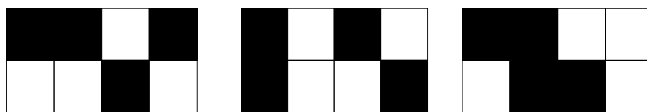
2



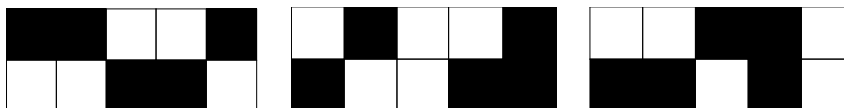
3



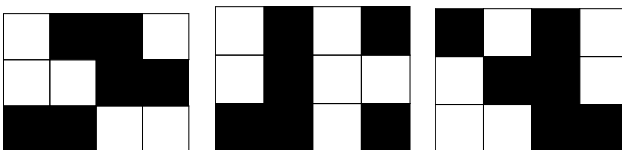
4



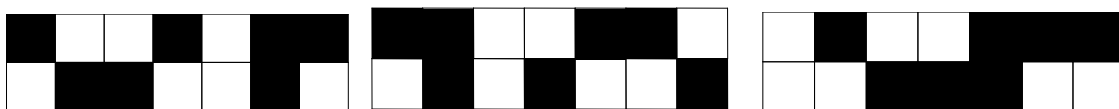
5



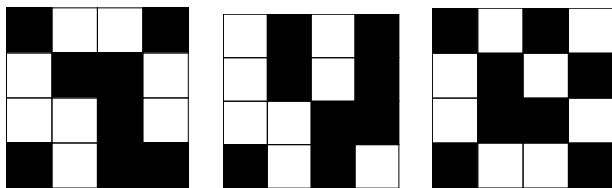
6



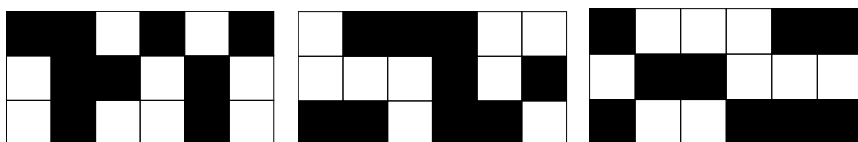
7



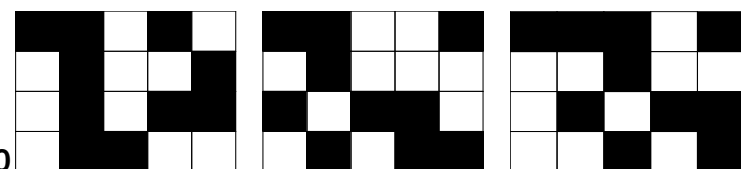
8



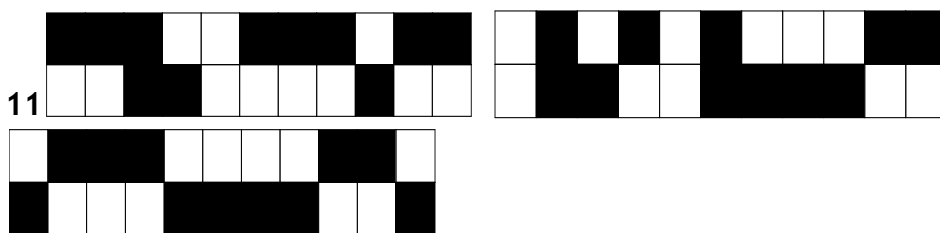
9



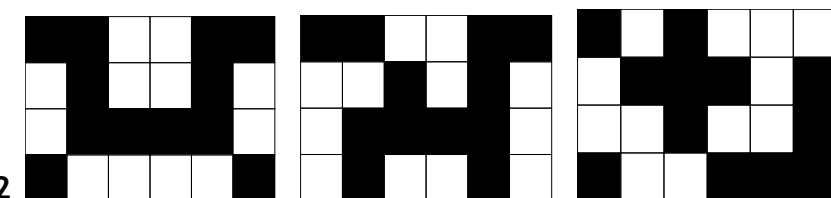
10



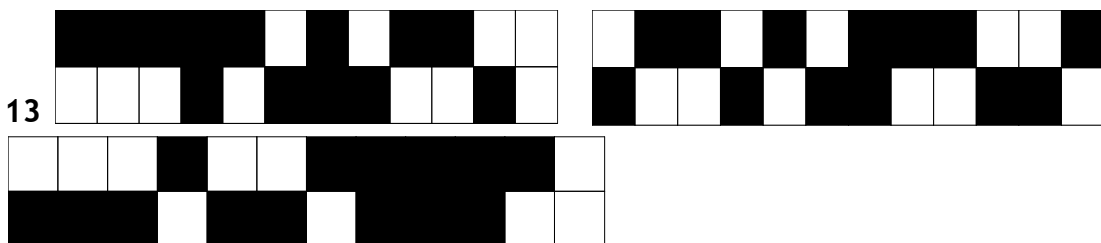
11



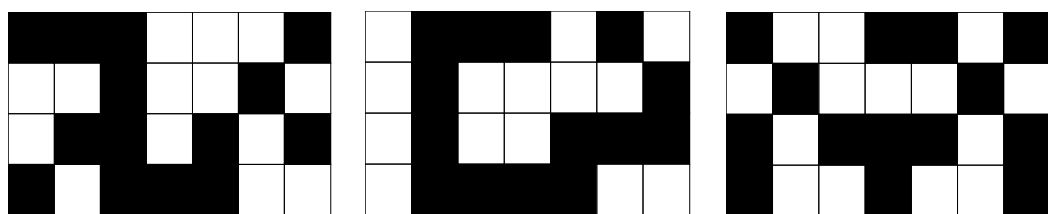
12



13



14

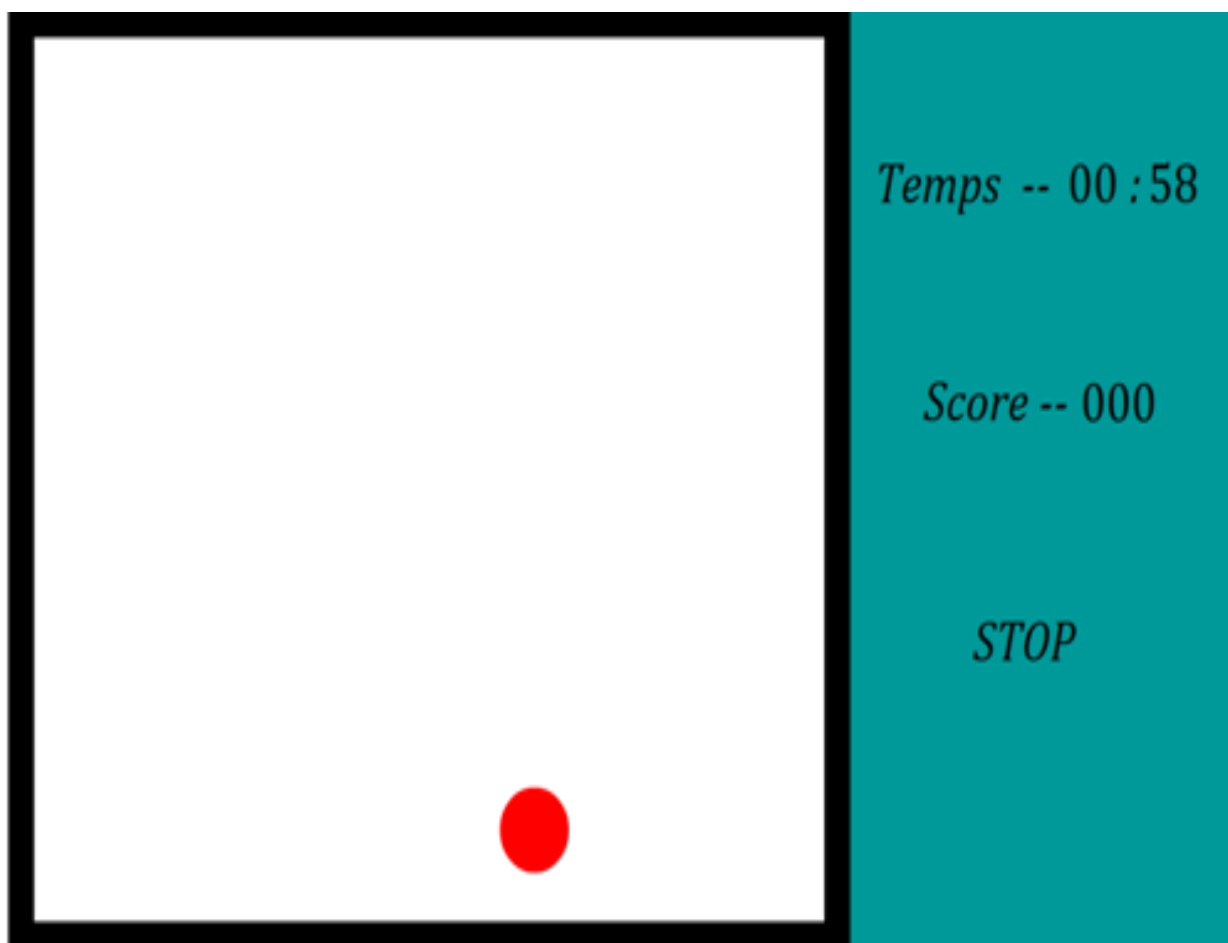


Annexe 9 : Liste des chiffres pour l'épreuve d'empan transposé

Empan	Essai 1	Essai 2	Essai 3
2	4 – 7	5 – 3	3 – 5
3	9 – 2 – 5	6 – 2 – 7	4 – 9 – 8
4	8 – 6 – 2 – 3	3 – 7 – 4 – 9	6 – 5 – 2 – 9
5	5 – 8 – 3 – 6 – 4	2 – 6 – 9 – 4 – 3	3 – 9 – 6 – 2 – 4
6	3 – 7 – 2 – 9 – 4 – 5	5 – 2 – 6 – 9 – 3 – 4	7 – 2 – 9 – 3 – 6 – 5
7	2 – 9 – 6 – 4 – 3 – 5 – 7	6 – 9 – 2 – 4 – 7 – 5 – 3	3 – 5 – 7 – 4 – 9 – 6 – 8

Annexe 10 : Epreuve de double tâche

Aperçu de la tâche de poursuite visuelle pour l'épreuve de double tâche.



Listes de chiffres à répéter pour l'épreuve de double tâche.

Empan 2

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

Empan 3

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

Empan 4

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

Empan 5

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

Empan 6

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

Empan 7

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

Annexe 11 : Fiche de passation

Fiche d'évaluation de la mémoire de travail

Nom : Date de l'examen :/...../.....
Prénom : Classe :
Date de naissance :/...../..... Ecole :
Age : Sexe :
Remarques :

I - Boucle phonologique

1. Stock phonologique

Répétition de chiffres

Je vais te dire des chiffres. Dès que j'ai fini, tu répètes exactement comme moi. Par exemple, si je te dis « 2 – 8 », tu répètes ..., « 5 – 7 » ... Bravo ! On commence.

Empan	Essai 1	Essai 2	Essai 3	Essai 1	Essai 2	Essai 3
				1	2	3
2	3 – 6	5 – 2	9 – 1			
3	4 – 7 – 2	3 – 1 – 8	9 – 3 – 6			
4	5 – 1 – 3 – 6	7 – 4 – 9 – 3	2 – 4 – 7 – 1			
5	8 – 6 – 3 – 4 – 1	5 – 8 – 3 – 6 – 9	7 – 4 – 1 – 3 – 2			
6	4 – 6 – 3 – 8 – 1 – 2	8 – 6 – 1 – 7 – 2 – 5	6 – 3 – 2 – 5 – 1 – 7			
7	6 – 9 – 2 – 3 – 5 – 1 – 4	2 – 4 – 7 – 3 – 6 – 1 – 9	5 – 7 – 4 – 1 – 9 – 6 – 3			

Note : .../7

Listes de mots phonologiquement proches et éloignés

Je vais te dire des mots. Dès que j'ai fini, tu répètes exactement comme moi. Par exemple, si je te dis « sel – dos », tu répètes..., « sou – boue » ... Bravo ! On commence.

- Mots phonologiquement proches

Empan	Essai 1	Essai 2	Essai 3	Essai 1	Essai 2	Essai 3
2	Chou – sou	Fou – loup	Sou – roue			
3	Fou – chou – roue	Cou – goût – joue	Joue – bout – chou			
4	Loup – bout – cou – goût	Sou – tout – fou – chou	Chou – loup – sou – cou			
5	Tout – sou – joue – fou – loup	Bout – roue – chou – sou goût	Goût – sou – roue – fou – tout			
6	Sou – joue – roue – cou – chou – bout	Loup – sou – roue – chou – fou – bout	Bout – cou – sou – fou – chou – gout			
7	Chou – goût – bout – fou – sou – joue – fou	Joue – cou – fou – chou – roue – loup – joue	Cou – loup – sou – joue – bout – roue – goût			

Note : .../7

- Liste de mots phonologiquement éloignés

Empan	Essai 1	Essai 2	Essai 3	Essai 1	Essai 2	Essai 3
2	rue – sel	dos – pas	clé – but			
3	fer – pot – vie	mot – rat– pic	son – mie – bec			
4	vue – col – âne – mer	clé – mât – vol – bus	nid – blé – âne – jeu			
5	ton – fil – gaz – fée – pin	lot – feu – cri – nom – sud	loi – riz – fou – sol – âge			
6	mur – cil – sol – lac – nez – lin	cou – pré – riz – oie – vin - eau	jus – pré – ski – dos – gaz –nom			
7	roi – pie – œil – âge – eau – duc – mai	bol – thé – gaz – pli – œuf – don – lin	île – coq – pas – nez – roi – lin - bus			

Note : .../7

Score MPP< MPE : 1

Score MPP > MPE : 0

2. Boucle articulatoire

Répétition de mots courts et longs (sans suppression articulatoire)

Je vais te dire des mots. D'abord, il y aura des petits mots. Ensuite, il y aura des grands mots. Dès que j'ai fini tu répètes exactement comme moi. Par exemple, si je te dis « force – ciel », tu répètes ..., « tournesol – conviction »... Bravo ! On commence.

➤ Liste de mots courts unisyllabiques (sans suppression articulatoire)

Empan	Essai 1	Essai 2	Essai 3	Essai 1	Essai 2	Essai 3
2	foule – pain	glace – ciel	film – jambe			
3	vache – pomme – bois	beurre – joue – femme	port – soir – cœur			
4	dent – gare – fille – bouc	larme – soupe – oncle – nuit	neige – vache – parc – glace			
5	voile – lampe – sœur – vase – herbe	poule – doigt – chêne – robe – fruit	livre – gare – lion – sang – trou			
6	front – lait – score – verre – fleur – pêche	plage – voix – cœur – pluie – garde – bœuf	ciel – pain – aile – ville – front – doigt			
7	tronc – rire – camp – balle – train – carte – lion	bain – ours – aile – poche – champ – tête – dame	puits – lune – vase – poil – bois – four – dent			

Note : .../7

➤ Liste de mots longs trisyllabiques (sans suppression articulatoire)

Empan	Essai 1	Essai 2	Essai 3	Essai 1	Essai 2	Essai 3
2	camarade - médecin	escargot - couverture	promenade - aventure			
3	araignée - champignon - escalier	numéro - paysan - chocolat	journaliste - escargot - déjeuner			
4	véhicule - pantalon - capitaine - éléphant	promenade - océan - papillon - vêtement	nourriture - parapluie - camarade - araignée			
5	parapluie - nourriture - océan - magasin - jardinier	maladie - professeur - compagnon - document - escalier	vêtement - horizon - numéro - chocolat - instrument			
6	cinéma - écureuil - chocolat - vêtement - horizon - dictionnaire	crocodile - médecin - accident - pantalon - véhicule - téléphone	compagnon - paysan - maladie - jardinier - aventure - escargot			
7	instrument - cheminée - alphabet - hirondelle - couverture - paysage - téléphone	capitaine - magasin - cinéma - directeur - écureuil - champignon - dictionnaire	paysage - océan - camarade - nourriture - ennemi - accident - journaliste			

Note : .../7 MC > ML : 1 MC < ML : 0

Répétition de mots courts et longs (avec suppression articulatoire)

Je vais te dire des mots. Comme précédemment, il y aura des petits mots et ensuite des grands mots. Or, pendant que je te dirai les mots, tu prononceras « ta ta ta ta ta ». Dès que j'ai fini de dire les mots, tu répètes exactement comme moi. Par exemple, si je dis « force – ciel », tu prononces en même temps ... (« ta ta ta ta ») et ensuite tu répètes..., « tournesol – conviction » ... Bravo ! On commence.

➤ **Liste de mots courts unisyllabiques (avec suppression articulatoire)**

Empan	Essai 1	Essai 2	Essai 3	Essai 1	Essai 2	Essai 3
2	vache – dent	Neige – beurre	Ville – rire			
3	Foule – lait – plume	Larme – camp – verre	Pain – front – lune			
4	Gare – voix – soupe – reine	Ciel – doigt – roue – banc	Voile – poule – joue – glace			
5	Oncle – balle – lion – puits – vase	Fleur – lampe – pomme – jambe – train	Sœur – ours – poche – carte – doigt			
6	Page – fille – singé – trou – bois – herbe	Pluie – garde – cœur – parc – robe – chêne	Champ – dame – livre – soir – port – arme			
7	Bœuf – aile – poche – score – front – ville – femme	Dame – ours – pêche – nuit – trou – dent – piste	Plage – boule – fleur – sang – roue – lait – four			

Note : .../7

➤ Liste de mots longs trisyllabiques (avec suppression articulatoire)

Empan	Essai 1	Essai 2	Essai 3	Essai 1	Essai 2	Essai 3
2	Eléphant – horizon	Pantalon – capitaine	Cinéma – professeur			
3	Parapluie – directeur – cheminée	Maladie – araignée – camarade	Nourriture – pantalon – journaliste			
4	Chocolat – alphabet – couverture – compagnon	Nourriture – professeur – numéro – escargot	Horizon – dictionnaire – téléphone – crocodile			
5	Document – écureuil – déjeuner – paysan – cinéma	Champignon – paysage – téléphone – directeur – crocodile	Médecin – véhicule – escalier – araignée – camarade			
6	Jardinier – escalier – ennemi – océan – instrument – papillon	Chocolat – parapluie – hirondelle – aventure – compagnon – accident	chocolat – magasin – déjeuner – promenade – écureuil - document			
7	Promenade – dictionnaire – médecin – aventure – magasin – véhicule – escargot	Cheminée – alphabet – cinéma – vêtement – ennemi – éléphant – capitaine	Océan – paysan – maladie – compagnon – numéro – papillon – instrument			

Note: .../7

Score MCSS + MLSS:

MCSS + MLSS > MCAS + MLAS: 1

Score MCAS + MLAS :

MCSS + MLSS < MCAS + MLAS : 0

3. Stock phonologique et boucle articulatoire (capacité à apprendre du vocabulaire nouveau)

Logatomes

Je vais te dire des mots bizarres. Ces mots ne veulent rien dire. Dès que j'ai fini, tu vas répéter exactement comme moi. Par exemple, si je te dis « buka » tu répètes ... « vouzo »... Bravo ! On commence.

Empan	Essai 1	Essai 2	Essai 3	Essai 1	Essai 2	Essai 3
2	pan – fu	di – ké	gou – si			
3	meu – zé – da	go – fi – man	bo – za – lin			
4	no – ba – gu – ti	fon – reu – zo – kin	veu – da – sé – no			
5	su – chin – ko – ni – reu	pan – fi – ga – go – zu	fo – ké – ji – ma – su			
6	go – na – vé – bu – di – fon	su – lin – peu – ma – zan – ton	mu – din – ki – zon – té – da			
7	ké – pan – zou – ti – fu – beu – jo	fon – go – ta – zé – man – du – kin	pan – jo – neu – ri – bé – fon – chu			

Note : .../7

II - Calepin visuo-spatial

Grille de localisations

Regarde cette grille. Tu vois, il y a plusieurs cases et un pion. Je vais déplacer le pion d'une case à l'autre. Dès que j'ai fini, tu fais exactement comme moi. Par exemple, si je fais (7 -8), tu fais... (4 - 2)... Bravo ! On commence.

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

Note : .../7

Patterns visuels

Je vais te montrer un quadrillage sur l'écran de l'ordinateur. Certaines cases sont noires et d'autres sont blanches. Le quadrillage apparaît quelques secondes sur l'écran. Je vais te donner une grille vierge sur laquelle tu mettras des croix à la place des cases noires lorsque le quadrillage aura disparu de l'écran. Nous allons faire un exemple (grille de 4 cases → empan de 2).

Score : .../14

III - Administrateur central

Epreuve d'empan transposé

Je vais te dire des chiffres. Dès que j'ai fini, tu répètes la série en enlevant 1 à chaque chiffre. Par exemple, si je dis « 3 – 5 », tu répètes..., « 8 -4 »... Bravo ! On commence.

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

Note : .../7

Double tâche

Je vais te dire des chiffres encore une fois. Tu vas les répéter exactement comme moi le plus vite possible. Par exemple si je dis « 2 -8 » tu répètes... Bravo ! On commence.

Règle d'arrêt à 1 minute quelles que soient les erreurs.

Puis :

Regarde l'écran de l'ordinateur. Tu vas cliquer sur « Start » quand je te le dirai. Tu vas alors voir un point rouge apparaître sur l'écran. Tu cliques dessus. Il va alors apparaître à un autre endroit de l'écran. Tu cliques alors dessus à nouveau et ainsi de suite jusqu'à ce que je te dise « stop ». Tu vas le plus vite possible.

Règle d'arrêt à 1 minute.

Puis :

Maintenant ça va être plus difficile. Tu vas faire les deux en même temps, le plus vite possible ; je vais te dire des chiffres comme tout à l'heure. Tu vas les répéter exactement comme moi En même temps, tu vas cliquer sur les points qui apparaissent sur l'écran. Jusqu'à ce que je te dise « stop ».

Score chiffres :

Score épreuve visuelle :

Score chiffres en double-tâche :

Score épreuve visuelle en double-tâche :

Baisse des scores : 1

Absence de baisse ou augmentation des scores : 0

Total scores BP :/56

Total scores CVS :...../21

Total scores CE :...../7

Résumé :

De nombreuses recherches montrent que la mémoire de travail joue un rôle clé dans le développement et les apprentissages de l'enfant. Ainsi, il est important de pouvoir l'évaluer dans la pratique orthophonique.

Dans le cadre de notre recherche, nous avons poursuivi le travail effectué par Cynthia Luong qui avait créé en 2009, un protocole d'évaluation de la mémoire de travail afin de pallier le manque d'outils complets permettant de tester cette fonction. Ce protocole, à destination des enfants scolarisés en cycle 3, permet en effet de tester les trois composantes de la mémoire de travail : la boucle phonologique, le calepin visuo-spatial et le centre exécutif. Nous l'avons donc remanié et avons effectué un étalonnage sur 150 enfants scolarisés en CE2, CM1, CM2.

L'analyse statistique des résultats a permis de révéler des différences au sein des groupes et d'établir ainsi les normes sur chaque épreuve.

La normalisation du test a pour but de fournir aux praticiens un outil utilisable en orthophonie.

Le protocole s'avère utilisable et mérite d'être validé auprès d'une population pathologique en comparant les résultats de cette dernière avec la population témoin.

Mots clés : mémoire de travail, orthophonie, évaluation, normalisation, enfants de cycle 3.

Summary :

Many studies show that working memory plays a key role in the children's development and learning. Thus, it is important to be able to evaluate this function in the speech therapy practice.

As part of our research, we continued the work done by Cynthia Luong who created an evaluation of working memory protocol in 2009, in order to overcome the lack of complete tools necessary to test this function. This protocol, for children enrolled in cycle 3, makes it possible to test the three components of working memory: the phonological loop, the visuo-spatial sketchpad and the central executive. So we redesigned it and carried out a calibration on 150 school children in CE2, CM1 and CM2.

Statistical analysis of the results revealed differences among groups and thus allowed us to establish standards for each test.

Standardization of the test is intended to provide practitioners with a useful tool for speech therapy.

The protocol proves to be useful and is worth being validated with a pathological population by comparing the results of the latter with the sample population.

Key-words : working memory, speech-therapy, evaluation, standardization, children

Nombre de pages : 161

Nombre de références bibliographiques : 68