Implication du contrôle exécutif dans le décodage en lecture. Comparaisons entre faibles et normolecteurs. Études chez l'enfant et l'adulte

Laetitia Boulc'H

▶ **To cite this version:**

Laetitia Boulc'H. Implication du contrôle exécutif dans le décodage en lecture. Comparaisons entre faibles et normolecteurs. Études chez l'enfant et l'adulte. Psychologie. Université d'Angers, 2008. Français. NNT : . tel-00441024

HAL Id: tel-00441024
https://theses.hal.science/tel-00441024

Submitted on 14 Dec 2009

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

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

Université d'Angers
UFR Lettres, Langues et Sciences Humaines

Année 2008
N° d'ordre : 941

Implication du contrôle exécutif dans le décodage en lecture. Comparaisons entre faibles et normolecteurs. Études chez l'enfant et l'adulte

Thèse de Doctorat

Pour obtenir le grade de
Docteur de l'Université d'Angers

Discipline : Psychologie
École Doctorale : Cognition, Éducation, Interaction

Présentée et soutenue publiquement
Le 26 novembre 2008
Á Angers
Par **Laëtitia BOULC'H**

Jury

Elisabeth DEMONT (rapporteur), Professeur en Psychologie, Université de Strasbourg
Agnès FLORIN (examinateur), Professeur en Psychologie, Université de Nantes
Daniel GAONAC'H (rapporteur), Professeur en Psychologie, Université de Poitiers
Hana GOTTESDIENER (examinateur), Professeur émérite en Psychologie, Université de Paris X
Paola PALLADINO (examinateur), Professeur en Psychologie, Université de Pavia, Italie

Directrice de thèse :
Annick WEIL-BARAIS, Professeur de Psychologie, Université d'Angers
Co-encadrants :
Christophe BOUJON, Maître de Conférences en Psychologie, Université d'Angers
Christine GAUX, Maître de Conférences en Psychologie, Université d'Angers

---

Laboratoire de Psychologie « Processus de Pensée et Interventions », EA 2646
MSH, 5bis Bd Lavoisier – 49045 Angers Cedex 01

Université d'Angers
UFR Lettres, Langues et Sciences Humaines

Année 2008
N° d'ordre : 941

IMPLICATION DU CONTROLE EXECUTIF DANS LE DECODAGE EN LECTURE. COMPARAISONS ENTRE FAIBLES ET NORMOLECTEURS. ÉTUDES CHEZ L'ENFANT ET L'ADULTE

Thèse de Doctorat

Pour obtenir le grade de
Docteur de l'Université d'Angers

Discipline : Psychologie
École Doctorale Cognition, Éducation, Interaction

Présentée et soutenue publiquement
Le 26 novembre 2008
Á Angers

Par **Laëtitia BOULC'H**

Jury

Elisabeth DEMONT (rapporteur), Professeur en Psychologie, Université de Strasbourg
Agnès FLORIN (examinateur), Professeur en Psychologie, Université de Nantes
Daniel GAONAC'H (rapporteur), Professeur en Psychologie, Université de Poitiers
Hana GOTTESDIENER (examinateur), Professeur émérite en Psychologie, Université de Paris X
Paola PALLADINO (examinateur), Professeur en Psychologie, Université de Pavia, Italie
Directrice de thèse :
Annick WEIL-BARAIS, Professeur en Psychologie, Université d'Angers
Co-encadrants :
Christophe BOUJON, Maître de Conférences en Psychologie, Université d'Angers
Christine GAUX, Maître de Conférences en Psychologie, Université d'Angers

---

Laboratoire de Psychologie « Processus de Pensée et Interventions », UPRES EA 2646
MSH, 5bis Bd Lavoisier – 49045 Angers Cedex 01

Remerciements

Merci à Annick Weil-Barais, qui a accepté de diriger cette thèse, pour ses conseils avisés, pour m'avoir fait profiter de son expérience et pour m'avoir permis de toucher à tout et de m'ouvrir à d'autres thématiques de recherche.

Cette thèse doit beaucoup à Christine Gaux et Christophe Boujon, mes co-directeurs de thèse, qui m'ont donné le goût de la recherche et qui m'ont fait profiter de leurs compétences scientifiques. Je les remercie pour leur ouverture d'esprit et pour tous les conseils et les encouragements qu'ils ont pu m'apporter.

Je remercie les membres du jury, Elisabeth Demont, Agnès Florin, Daniel Gaonac'h, Hana Gottesdiener et Paola Palladino qui ont accepté d'évaluer mon travail de thèse.

Je tiens à remercier tous les membres du laboratoire, Lydie Iralde pour sa gentillesse et les enseignements qu'elle a bien voulu me confier ; tous les doctorants et docteurs : Alexandra, Anastasia, Aurélie, Christelle, Florence, Laetitia, Ljubisa, Loïc, Marcella et Suha pour leur aide précieuse tant sur le plan scientifique qu'humain et pour la bonne humeur dans laquelle ce travail a été accompli.

Je remercie Vincent Bouvier pour m'avoir accueilli au sein de l'INH et pour m'avoir donné l'opportunité d'utiliser le dispositif de suivi oculaire. Merci également à Julien qui a été d'une aide précieuse pour la mise en place de cette expérience.

Cette thèse a bénéficié du soutien financier du programme de recherche « OUFOREP », qui m'a permis de terminer cette thèse dans de bonnes conditions.

Je remercie les élèves et les étudiants pour m'avoir accordé un peu de leur temps afin de participer aux différentes études de ce travail.

"*Last but not least*", j'exprime ma gratitude à mes proches pour leur attention constante et leur soutien indéfectible.

« Les lecteurs doivent gérer simultanément plusieurs dimensions au cours de la lecture. Or, les êtres humains, et cela d'autant plus qu'ils sont jeunes, ne peuvent mener à bien et parallèlement qu'un nombre très limité d'activités. (...) Il s'agit là non pas de la capacité générale d'apprentissage mais de la capacité à traiter des informations à un moment donné ».

Fayol (1999)

Table des matières

INTRODUCTION GENERALE 13

CHAPITRE 1 : APPRENTISSAGE DE LA LECTURE ET ORIGINE DES DIFFICULTES 21

.1 DES TRAITEMENTS MOTEURS, PERCEPTIFS AUX TRAITEMENTS PHONOLOGIQUES ET ORTHOGRAPHIQUES 21

.1.1 Aspects moteurs 22

.1.1.1 Contrôle oculo-cephalogyre 22

.1.1.2 Déplacements oculomoteurs 23

.1.2 Aspects perceptifs, visuels et linguistiques 25

.1.2.1 Procédure d'identification des lettres 25

.1.2.2 Procédures d'identification des mots 27

.1.2.3 Évolution des procédures analytiques 28

.2 DIFFICULTES EN LECTURE : DEFINITION ET ORIGINE 32

.2.1 Trouble dyslexique ou continuum de difficultés en lecture 33

.2.2 Hypothèses explicatives des difficultés en lecture chez l'enfant 37

.2.2.1 Hypothèses relatives aux déficits cognitifs 37

.2.2.1.1 Hypothèse d'un trouble phonologique spécifique 37

.2.2.2 Hypothèse d'un trouble de sélection attentionnelle 38

.2.2.2.1 Hypothèse d'un trouble visuel 41

.2.2.3 Hypothèse d'un trouble neuro-anatomique à l'origine des déficits 45

.2.2.4 Implication de la capacité de gestion des informations en MdT 46

.2.2.4.1 Hypothèse d'une faible capacité générale de la MdT 47

.2.2.4.2 Hypothèse d'un trouble spécifique : incidence des difficultés de traitement verbal sur le fonctionnement de la MdT 47

.2.2.4.3 Hypothèse d'un trouble du CE : incidence sur la régulation des traitements en MdT 51

CHAPITRE 2 : CARACTERISTIQUES ET ROLE DU CENTRE EXECUTIF DANS DIFFERENTES CONCEPTIONS DE MDT 57

.1 INTRODUCTION 57

.1.1 Organisation et composantes du modèle 57

.1.2 Fonctionnement des composantes autres que le CE 59

.1.3 Fonctions du Centre Exécutif 61

.2 LES MODELES D'ACTIVATION 64

.2.1 Le Modèle de Cowan 65

.2.1.1 Organisation et composantes du modèle 65

.2.1.2 Fonctionnement général 66

.2.1.3 Fonctionnement du Centre Exécutif 67

.2.2 Le modèle de Engle ... *68*
.2.2.1 Organisation des composantes ... 68
.2.2.2 Fonctionnement général ... 69
.2.2.3 Fonctionnement du centre exécutif ... 73
.3 CONCEPTION DE L'ESPACE DE TRAVAIL ET ROLE DU CE : COMPARAISON DES MODELES ... 74
.3.1 Spécificité vs généralité des processus mnésiques impliqués dans les difficultés d'apprentissage ... *74*
.3.2 Limites de la capacité de traitement ... *75*
.3.3 Notion de contrôle dans les différents modèles ... *79*

CHAPITRE 3 : LE CONTROLE EXECUTIF : DESCRIPTION, DEVELOPPEMENT CHEZ L'ENFANT ET IMPLICATIONS EN LECTURE ... 81

.1 DESCRIPTION DU CE ... 81
.1.1 Comment définir le CE ? ... *81*
.1.2 Contrôle exécutif unitaire ou multi-composantes ? ... *82*
.1.2.1 Les données en neurosciences ... 82
.1.2.2 Des composantes exécutives distinguables ... 83
.1.3 Descriptions des différentes composantes exécutives ... *86*
.1.3.1 Alternance ... 87
.1.3.2 Mise à jour ... 87
.1.3.3 Inhibition ... 88
.1.3.4 Une composante plus complexe : la planification ... 89
.2 DEVELOPPEMENT DU CE ... 90
.2.1 Les caractéristiques du développement du CE ... *91*
.2.1.1 Un développement précoce ... 91
.2.1.2 Un développement progressif ... 91
.2.1.3 Un contrôle hésitant et dépendant du contexte (3-4 ans) ... 92
.2.2 Un développement hétérogène ... *94*
.2.3 Les explications de ce développement ... *95*
.3 LE ROLE DU CE DANS LES APPRENTISSAGES ... 97
.3.1 Etudes comparatives confirmant les difficultés de CE ... *98*
.3.1.1 Contrôle exécutif et difficultés d'apprentissage autres que la lecture ... 98
.3.1.2 Dysfonctionnement du CE chez les enfants présentant des TDAH ... 100
.3.2 Contrôle exécutif et lecture ... *105*
.3.2.1 Performances indépendantes de la nature du matériel ... 106
.3.2.2 Importance des capacités d'inhibition et d'alternance dans la lecture ... 111

CONCLUSION DE LA PARTIE THEORIQUE ... 114

CHAPITRE 4 : CONTRIBUTION DU CONTROLE EXECUTIF, DE LA MDT ET DES TRAITEMENTS PHONOLOGIQUES DANS LE DECODAGE EN LECTURE. COMPARAISON ENTRE FAIBLES ET NORMOLECTEURS DE CE2 119

.1 INTRODUCTION 119
.2 METHODE 122
.2.1 Population 122
.2.2 Matériel 123
.2.2.1 Matériel utilisé pour les tâches de Conjonctions Illusoires 123
.2.2.2 Matériel utilisé pour les tâches de MdT 127
.2.3 Procédure 129
.3 RESULTATS 129
.3.1 Validité des épreuves de Conjonctions Illusoires 130
.3.2 Analyse 1 : influence d'un contrôle exécutif sur un traitement impliqué dans le décodage.. 131
.3.2.1 Analyse du pourcentage d'erreurs 132
.3.2.2 Analyse des temps de réponse 134
.3.3 Analyse 2 : implication de la capacité de stockage en MdT sur le niveau en lecture 137
.3.3.1 Effets principaux 137
.3.3.2 Effets du nombre d'items à traiter et à mémoriser 138
.3.4 Analyse 3 : coût de l'ajout d'un contrôle à une tâche de CI selon la nature verbale ou non verbale du matériel 141
.3.4.1 Analyse du pourcentage d'erreurs 142
.3.4.2 Analyse des temps de réponse 144
.3.4.3 Étude de la contribution spécifique du CE et de la MdT dans le décodage en lecture 146
.4 DISCUSSION 153

CHAPITRE 5 : ALTERNANCE ET DECODAGE EN LECTURE : APPROCHE TRANSVERSALE159

.1 METHODE 161
.1.1 Population 161
.1.2 Matériel 162
.1.2.1 Tâches linguistiques 163
.1.2.2 Tâches non linguistiques 166
.1.3 Procédure 168
.2 RESULTATS 169
.2.1 Validation des tâches utilisées : comparaison des performances obtenues par tous les enfants de CE1 et de CM1 169
.2.2 Implication du CE dans le décodage en lecture : épreuves préalables 173
.2.2.1 Comparaison : Faibles lecteurs de CE1 et Normolecteurs de CE1 173
.2.2.2 Comparaison : Faibles lecteurs de CM1 et Normolecteurs de CM1 174
.2.2.3 Comparaison : Faibles lecteurs de CM1 et normolecteurs de CE1 de même âge lexique 174
.2.3 Analyse du coût de l'alternance en fonction des temps de réponse 175
.2.3.1 Tâches verbales 175

.2.3.1.1 Tâche de catégorisation sémantique 175
.2.3.1.2 Détection des caractéristiques d'une lettre cible dans un mot 178
.2.3.2 Tâches non verbales 180
.2.3.2.1 Détection des caractéristiques d'un symbole 180
.2.3.2.2 Tâche portant sur le traitement de la forme des items 182
.2.3.2.3 Tâche spatiale 184
.2.4 Analyse du coût de l'alternance en fonction du pourcentage d'erreurs 187
.2.5 Étude de la contribution spécifique du CE et de la MdT dans le décodage en lecture 189
.2.5.1 Corrélations 190
.2.5.2 Analyses en Composantes Principales 194
.2.5.3 Analyses de régression 196
.2.5.4 Contribution spécifique des tâches d'alternance aux capacités de décodage après contrôle du niveau en vocabulaire, de MdT et de segmentation phonémique 197
.3 DISCUSSION 201

CHAPITRE 6 : IMPLICATION DE LA MDT ET DU CE DANS L'ACTIVITE DE LECTURE. ÉTUDE CHEZ L'ADULTE, AU MOYEN D'UN DISPOSITIF DE SUIVI OCULAIRE 205

.1 INTRODUCTION 205
.2 METHODE 207
.2.1 Population 207
.2.2 Matériel 209
.2.2.1 Condition contrôle 209
.2.2.2 Condition mise à jour 210
.2.2.3 Dispositif utilisé 212
.2.3 Procédure 212
.3 RESULTATS 213
.3.1 Épreuves de lecture et de MdT 213
.3.2 Validation des tâches utilisées et effet du niveau en lecture 213
.3.2.1 Tâche de mise à jour 213
.3.2.2 Effet du type de tâche (pro-saccades/anti-saccades ; contrôle/mise à jour) 214
.3.3 Effet du coût de la mise à jour 217
.4 DISCUSSION 218

DISCUSSION GENERALE 221

BIBLIOGRAPHIE 233

INDEX DES FIGURES 255

INDEX DES TABLEAUX 259

ANNEXES 262

LISTE DES ABREVIATIONS EMPLOYEES

APP	Appareillés sur l'âge lexique
AS	Anti-saccades
BE	Buffer Episodique
BP	Boucle Phonologique
CE	Contrôle Exécutif
CI	Conjonction Illusoire
CPF	Cortex Pré Frontal
CVSP	Calepin Visuo Spatial
DL	Difficultés en lecture
FA	Focus Attentionnel
FL	Faibles lecteurs
MCT	Mémoire (ou Magasin) à Court Terme
MdT	Mémoire de Travail
MgCT	Magasin à Court Terme
MgLT	Magasin à Long Terme
MgS	Magasin Sensoriel
MLT	Mémoire (ou Magasin) à Long Terme
NL	Normolecteurs
OVP	*Optimal Viewing Position* (position optimale du regard)
PS	Pro-saccades
RCT	Registre à Court Terme
SAS	Système Attentionnel Superviseur
TA	Troubles d'Apprentissage
TDAH	Trouble Déficitaire de l'Attention avec Hyperactivité
TR	Temps de Réponse
VA	Visuo-Attentionnel
WCST	*Wisconsin Card Sorting Test*

Introduction générale

En grandissant, l'enfant est capable d'exercer un contrôle de plus en plus important et efficace sur ses actions et ses représentations mentales. Il devient capable d'adapter son comportement ou de résoudre des problèmes complexes en inhibant des réponses dominantes ou en faisant face à l'intrusion d'éléments distracteurs susceptibles d'interférer avec l'activité en cours. Ces capacités de contrôle sont particulièrement importantes dans les apprentissages scolaires et particulièrement dans le domaine de la lecture. Apprendre à lire est une activité lentement maîtrisée et qui exige de la part de l'apprenti-lecteur une régulation importante de son activité. Cette régulation dépend notamment des capacités de CE qui augmentent progressivement avec l'âge.

Ce thème de l'apprentissage de la lecture est au cœur des préoccupations des pouvoirs publics et de l'éducation nationale. L'attention des différents professionnels des apprentissages a été attirée sur les troubles du langage du jeune enfant. On assiste à une médiatisation intensive mettant en avant le nombre important d'enfants touchés par ces difficultés et la nécessité de détecter ces troubles le plus tôt possible. Cette démarche s'appuie notamment sur l'apport des recherches et découvertes en psychologie. Parmi ces recherches, certaines tentent de mieux comprendre les mécanismes sous-jacents, fondamentaux, impliqués dans le décodage et la compréhension de texte chez l'apprenti-lecteur notamment. Ces travaux se centrent la plupart du temps sur l'influence des traitements linguistiques dans l'apprentissage de la lecture (Crain, Shankweiler, Macaruso, & Bar-Shhalom, 1990 ; Valdois, 2000) ; mais ils montrent aussi que l'apprentissage de la lecture est une activité complexe, cognitivement coûteuse et lentement maîtrisée par l'enfant. Partant de cette constatation, des travaux s'attachent à étudier l'influence des aspects plus généraux du fonctionnement cognitif et en particulier de la mémoire de travail : ils s'intéressent au stockage des informations issues des traitements et à leur gestion dynamique, en se fondant sur l'idée que l'apprentissage de la lecture nécessite des activités cognitives diverses et complexes qui mettent du temps à s'automatiser (Gathercole & Baddeley, 1993).

Dans le prolongement de ces études, la présente recherche se propose de renouveler cette question en étudiant le rôle du CE, système qui assure la régulation des traitements au cours de la lecture. Si cette question du rôle du CE a déjà été traitée antérieurement (Brosnan et al. 2002 ; Swanson, 1999), elle suscite de nouveau l'intérêt de chercheurs en

raison, d'une part de la tentative actuelle de définir ce concept, en lien notamment avec le développement des travaux sur le lobe frontal en neuropsychologie, et d'autre part du constat de difficultés attentionnelles et de régulation du comportement observées chez certains enfants.

Les désaccords actuels relatifs à la définition même du concept de CE, son développement chez l'enfant et les moyens de le mesurer, nous ont tout d'abord conduits à nous interroger sur la manière la plus adéquate et la plus précise de mesurer les capacités de CE et leur développement au cours de l'enfance. Si quelques études ont été menées sur le développement du CE chez les enfants dyslexiques ou en difficulté d'apprentissage dans le domaine arithmétique ou de la lecture, peu de données existent sur le développement de ces compétences chez les enfants ne présentant ni trouble, ni difficulté d'apprentissage particulier. Il s'agissait également de s'interroger sur le rôle joué par le CE dans l'activité de lecture. Cette question est délicate car plusieurs éléments interviennent dans cette activité et sont donc susceptibles d'engendrer des difficultés. La lecture est une activité complexe qui a conduit les chercheurs à formuler de nombreuses hypothèses pour expliquer les difficultés rencontrées lors de son apprentissage. Parmi les plus citées se trouve l'hypothèse d'un trouble de Mémoire de Travail. Mais, si les chercheurs s'accordent pour considérer que la Mémoire de travail est liée aux capacités de lecture, la nature de ce lien reste encore sujet à débat. Plus précisément, les travaux réalisés dans les champs de la mémoire et de l'attention retiennent trois facteurs principaux : 1/ les difficultés de lecture seraient liées à un fonctionnement incorrect de la Boucle Phonologique de la Mémoire de Travail. Les traitements phonologiques malaisés, imprécis et lents empêcheraient un fonctionnement correct de la boucle phonologique. Selon cette hypothèse, les difficultés des enfants devraient se manifester uniquement lorsque le matériel à mémoriser est verbal ; 2/ l'hypothèse d'un dysfonctionnement de la Mémoire de travail lié à des ressources insuffisantes ; 3/ l'hypothèse d'une gestion inadéquate des traitements en Mémoire de travail, causée par un dysfonctionnement au niveau du CE. *A priori*, les performances en lecture peuvent donc dépendre des capacités de CE, des capacités de la Mémoire de travail ou encore des capacités langagières et des traitements phonologiques. Si ces différents facteurs semblent avoir un effet sur ces performances, il s'agit de déterminer lequel est premier, et si son influence sur les capacités en lecture est directe ou indirecte. Ainsi, il est possible de considérer que les capacités de CE peuvent agir directement sur les capacités en lecture, ou indirectement, en modulant le fonctionnement de la Mémoire de travail et les

performances langagières. Mais, si la contribution du CE n'est pas primaire alors, un de ces deux derniers facteurs (ou les deux) est susceptible d'agir directement ; sans oublier qu'ils peuvent également s'influencer mutuellement. Enfin, un autre facteur pourrait intervenir et expliquer les difficultés en lecture, il s'agit des capacités d'accès à l'information en mémoire à long terme : si un lecteur est capable d'accéder rapidement aux informations, les traitements seront plus facilement exécutés car plus rapides et moins coûteux. En conséquence, les performances en lecture peuvent être déterminées par la demande attentionnelle exigée par la tâche (CE), l'expertise linguistique de l'individu, la vitesse du traitement de l'information (accès aux informations en Mémoire à Long Terme ou encore ses ressources disponibles en Mémoire de travail.

Parmi ces facteurs susceptibles d'avoir une influence sur les performances en lecture, nous nous sommes attachés dans ce travail à étudier plus particulièrement l'implication du CE. Jusqu'à présent, cette implication a surtout été étudiée dans le cadre de l'activité de compréhension en lecture. Pour notre part, nous avons étudié ce rôle dans le décodage en lecture chez l'apprenti-lecteur. A cet âge, une situation de lecture de phrase est aussi complexe qu'une situation de résolution de problème.
Etudier l'implication du CE nécessitait d'apporter des éléments de réponse aux trois questions suivantes : Comment mesurer le rôle du CE ? Le rôle du CE dans l'activité de lecture peut-il être mis en évidence chez les apprenti-lecteurs ? Et enfin, le CE est-il impliqué dans les difficultés des faibles lecteurs et à quel niveau de traitement ?

En rappelant les particularités de l'apprentissage de la lecture chez l'enfant, le premier chapitre théorique montre à quel point la lecture est une activité lentement maîtrisée qui implique la gestion de multiples traitements et procédures. Leur régulation incite à attribuer au CE un rôle actif. Or, une rapide revue des principales hypothèses concernant l'origine des difficultés en lecture, et en particulier de la dyslexie, montre que cette régulation, ce contrôle de l'activité sont peu fréquemment évoqués. L'origine des difficultés sévères en lecture est le plus souvent attribuée à de faibles capacités à réaliser certains traitements phonologiques (hypothèse phonologique). Dans une moindre mesure, elles sont imputées à des processus plus généraux tels que la mémoire de travail et plus récemment le CE (composant de la mémoire de travail ou contrôle attentionnel selon la conception théorique retenue). Cette hypothèse relative à l'implication du CE en lecture est tout d'abord présentée en référence à différentes conceptions théoriques. A ce jour, le

concept de CE n'est en effet pas unanimement défini. Cette inconstance théorique explique la diversité des mesures utilisées pour rendre compte de son fonctionnement et les divergences des résultats obtenus dans les études examinant les relations entre CE et lecture. Ce questionnement à propos de la définition du CE fait donc l'objet du second chapitre théorique. Il présente dans un premier temps, le CE dans le cadre des modèles de Mémoire de travail. En effet, selon le modèle de Mémoire de travail considéré, sa place, ses limites et ses fonctions ne sont pas les mêmes. Les modèles modulaires comme celui de Baddeley (1986, 2000) particularisent le stockage verbal et visuo-spatial du module de traitement et de contrôle de l'activité, et conçoivent la limitation du système en terme de contrainte structurale. Les modèles d'activation plus généraux, basés sur la notion d'activation, sont davantage susceptibles de rendre compte d'une hypothèse en termes de relation dynamique où l'attention tiendrait une place centrale dans la régulation des traitements (Cowan, 1995, Kane & Engle, 2004).

Enfin, dans un troisième chapitre théorique, les caractéristiques du CE sont décrites et les débats qui animent la communauté scientifique à propos de la définition même de CE sont présentés. L'une des questions cruciales pour le sujet qui nous intéresse est le caractère unitaire ou multiple du CE. Nous abordons ensuite la question de l'implication du CE en lecture en examinant comment cette question a été étudiée dans la littérature et quels sont les principaux résultats qui se dégagent des recherches les plus récentes. L'implication du CE en lecture est étudiée en comparant les performances d'enfants faibles et normolecteurs à des tâches mobilisant un CE. Elle est également étudiée en comparant ces enfants faibles lecteurs à des enfants présentant des niveaux de compétences différents dans d'autres domaines d'apprentissage (l'écriture, la résolution de problèmes arithmétiques) ou en les comparant à des enfants présentant un Trouble Déficitaire de l'Attention avec Hyperactivité. Ces dernières comparaisons permettent d'éclairer la relation observée entre les performances à des tâches impliquant un contrôle et la lecture. La synthèse et l'analyse des travaux relatifs aux liens entre CE et lecture permettent d'en souligner les limites, limites qui ont présidé à l'élaboration des études qui constituent cette recherche (chapitres 3 à 6).

Pour examiner l'implication du CE en décodage, la première étude (chapitre 3) a pour objectif de montrer que des faibles lecteurs de CE2 rencontrent des difficultés à exercer un CE par rapport à des enfants normolecteurs. Cette relation observée dans la littérature avec

des tâches exécutives complexes et hétéroclites, dont il est difficile parfois d'assurer qu'elles ne mobilisent pas d'autres aspects que le CE, a été testée ici avec des tâches exigeant des traitements de bas niveau (sur le plan des traitements à réaliser sur le matériel, par exemple donner la couleur) et pour lesquelles le CE sollicité a été contrôlé. La capacité de CE a été mesurée en demandant aux participants de réaliser une mise à jour d'informations ou une alternance entre deux types de traitement. De par sa nature intrinsèque, le contrôle s'exerce sur d'autres traitements. Ces traitements non exécutifs ont été choisis de telle manière qu'ils correspondent à des traitements mis en œuvre lors de l'activité de lecture. Le principe de cette tâche, utilisée dans toutes nos études, s'apparente à celui de la double tâche. La capacité à exercer un contrôle est mesurée par la différence entre une condition sans contrôle et une condition avec CE. Une augmentation des erreurs ou des temps permet de mesurer le coût associé à ce contrôle. L'étude de deux composantes exécutives (mise à jour, alternance) est conçue dans le but d'examiner si une composante plus que l'autre est défaillante chez les enfants faibles lecteurs et de répondre de cette façon à la question de l'unicité ou de la pluralité du CE.

Dans la première partie de cette étude, la tâche composite (CE et traitements non exécutifs) porte sur du matériel verbal afin de voir tout d'abord si les résultats relevés dans la littérature, avec des tâches exécutives verbales généralement complexes et/ou exigeantes au niveau de la mémorisation du matériel, pouvaient être répliqués avec des exigences moindres. Cette méthodologie ne permet pas de s'assurer que les difficultés des faibles lecteurs à réaliser ces tâches exécutives (avec alternance ou mise à jour) proviennent d'un déficit de contrôle. Le matériel étant uniquement verbal, les difficultés peuvent provenir de faibles capacités de traitement de ce type de matériel (capacités phonologiques). Pour distinguer ces deux effets, dans une seconde étude, les tâches ont été proposées avec du matériel verbal et non verbal (chapitre 4). Si les difficultés de lecture proviennent de traitements lents et imprécis du matériel verbal, les enfants faibles lecteurs devraient obtenir des performances plus faibles uniquement lorsque le matériel à mémoriser est verbal et non lorsque celui-ci est non verbal. Ces traitements lents perturberaient le fonctionnement de la Boucle Phonologique de la Mémoire de Travail et/ou la mise en place d'un contrôle.

Il faut noter que la présence des performances faibles dans les conditions verbales des tâches de CE ne signifie pas que les difficultés sont exclusivement linguistiques. Ces faibles performances peuvent également résulter de traitements linguistiques peu efficients combinés à des ressources limitées en Mémoire de travail. De la même façon, de faibles

performances dans les conditions verbales et non verbales des tâches de CE peuvent résulter d'un déficit du contrôle et/ou de ressources limitées en Mémoire de travail. Nous avons donc proposé les tâches dans des versions verbales et non verbales. Une tâche de mémorisation dans laquelle étaient manipulés le nombre d'éléments à mémoriser (stockage en Mémoire de travail) et le nombre d'éléments à traiter (contrôle) a également été présentée aux enfants afin d'étudier l'effet de la charge en Mémoire de travail. Cette tâche de mémorisation portait elle aussi sur du matériel verbal ou non verbal. Dans cette tâche variaient donc à la fois le coût de la tâche et la nature du matériel. L'augmentation de la charge d'éléments à mémoriser et à traiter devait permettre de déterminer d'une part si les faibles et normolecteurs possédaient des capacités générales de Mémoire de travail équivalentes, et d'autre part si ces capacités variaient en fonction de la nature du matériel et de la charge cognitive de la tâche.

Dans la seconde étude, la charge mnésique/attentionnelle a été testée directement dans la tâche mobilisant une composante de contrôle (chapitre 5). L'augmentation de la charge attentionnelle a été opérationnalisée en renforçant l'un des traitements non exécutif dans une tâche d'alternance exigeant deux types de traitements (par exemple, donner la couleur d'un mot *vs* dire à quelle catégorie sémantique les mots appartiennent). Le traitement a été renforcé en proposant à l'enfant un entraînement avant la réalisation de l'épreuve exécutive. De plus, dans cette étude, différents traitements non exécutifs (linguistiques, sémantiques, visuels, spatiaux dont le degré d'automatisation variait) ont été testés afin d'étudier l'impact de la complexité de ces traitements sur les tâches de CE (accès à l'information en mémoire à long terme, automatisation des traitements, complexité). A l'étude de ces effets de l'automatisation et de la charge attentionnelle sur la réalisation des tâches de CE, s'ajoutait également l'analyse de l'influence des capacités de contrôle en elles-mêmes. Les études développementales indiquent en effet que les capacités de contrôle diffèrent selon l'âge de l'enfant, c'est pourquoi l'étude a été réalisée auprès d'enfants de CE1 et CM1. Enfin, dans le but de dissocier l'effet de l'augmentation des capacités de CE et des ressources cognitives, la tâche de MdT utilisée dans l'étude précédente a également été présentée aux enfants.

Dans une dernière étude (chapitre 6), l'effet conjoint de la manipulation des charges attentionnelle et mnésique a de nouveau été étudié. L'effet délétère de l'augmentation de la charge attentionnelle a été examiné sur un traitement de bas niveau qui consistait à détecter

une cible apparaissant en périphérie du champ visuel. En demandant au participant de fixer le côté opposé à celui où s'affichait une cible à l'écran, le participant devait inhiber un déplacement difficile à réprimer. Un dispositif d'enregistrement des mouvements oculaires permettait de mesurer les erreurs de fixation et les temps de réaction oculaires. L'effet interférent de l'augmentation de la charge mnésique a quant à lui été testé dans une tâche de mémorisation d'objets. La technique d'enregistrement des mouvements oculaires étant complexe et les contraintes matérielles importantes, cette étude a été réalisée auprès de jeunes adultes.

En conclusion, nous discuterons les résultats obtenus et les confronterons aux différentes hypothèses émises pour expliquer les difficultés en lecture. Enfin, nous proposerons des perspectives de recherches qui émergent à la suite de ce travail.

La figure 1 reprend de manière synthétique les différentes parties de ce travail

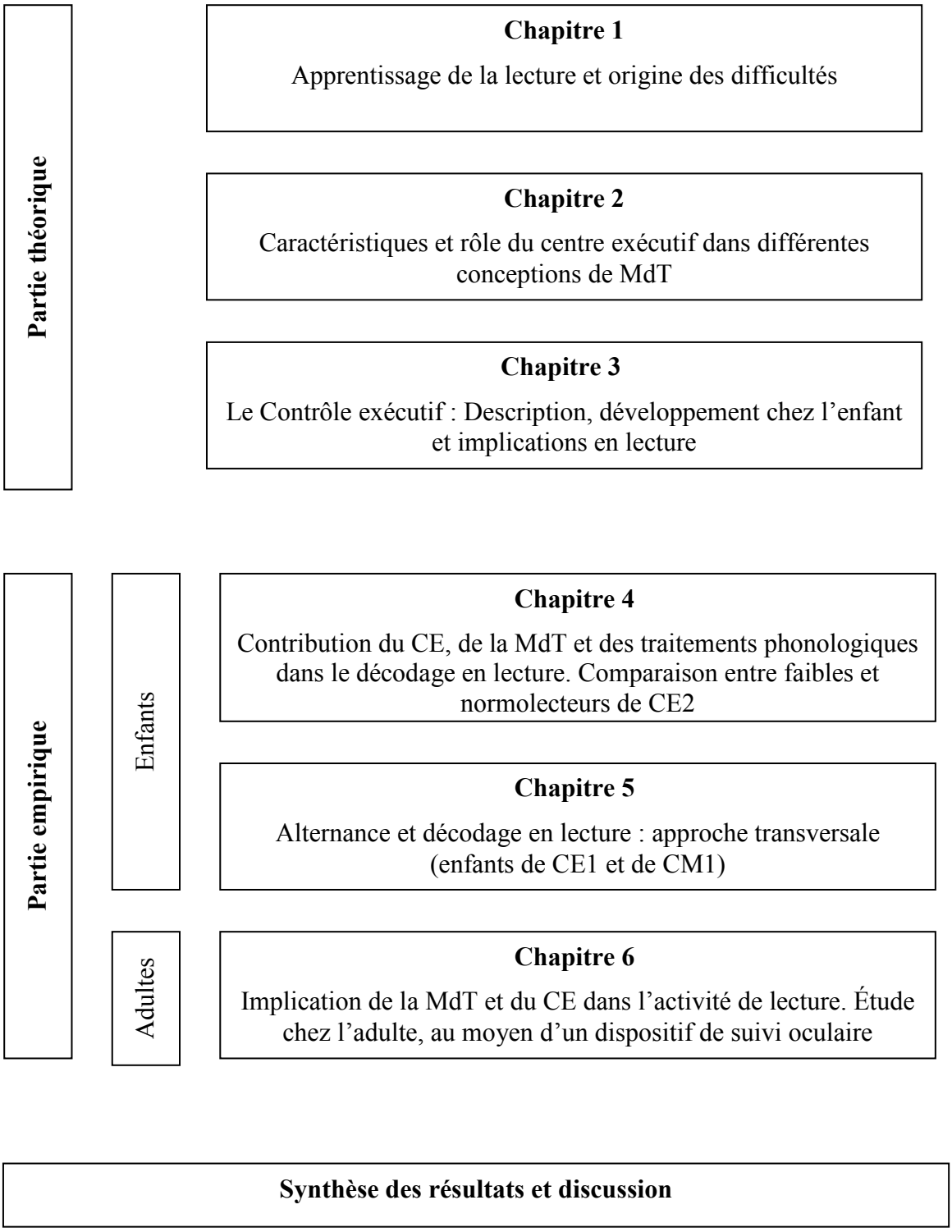


Figure 1 : Structure de la thèse

Chapitre 1 : Apprentissage de la lecture et origine des difficultés

Résumé :
Ce chapitre présente les traitements cognitifs à l'œuvre dans l'activité de lecture. Il décrit l'acquisition et l'automatisation progressive des procédures de reconnaissance des mots et leur importance relative en fonction de la période d'apprentissage. Il aborde ensuite la question des difficultés rencontrées par l'enfant lors de cet apprentissage et présente deux conceptions alternatives : l'une envisage les difficultés en lecture les plus sévères comme un trouble spécifique en lecture, qualifié de dyslexie, l'autre considère que ces difficultés les plus sévères correspondent au niveau le plus faible des compétences en lecture sur un continuum de difficultés suggérant que les troubles présents chez les uns pourraient également être présents chez les autres, à un moindre degré. Les différentes hypothèses explicatives des difficultés sont ensuite rappelées, et celles en termes de ressources cognitives mettant en avant le rôle de la Mémoire de Travail et du Contrôle Exécutif sont évoquées.

.1 Des traitements moteurs, perceptifs aux traitements phonologiques et orthographiques

La lecture est une activité complexe. La plupart des spécialistes du domaine suppose qu'elle possède deux versants : la reconnaissance des mots et la compréhension. Chacun de ces versants comporte une multiplicité de traitements plus ou moins spécifiques, qui s'exercent à différents niveaux. Par exemple, pour la reconnaissance des mots, ces traitements peuvent être de bas niveaux (extraction visuelle des caractéristiques graphiques des lettres composant le mot) ou de niveaux supérieurs (codage phonologique pour les mots nouveaux ou orthographique pour les mots connus). Cette multiplicité des traitements suppose l'intervention d'un système de contrôle de l'activité. Les deux versants de la lecture évoqués ne sont pas engagés de la même manière dans les difficultés en lecture : la plupart du temps, les difficultés de lecture ne proviennent pas de problèmes de compréhension, souvent similaires pour l'oral et l'écrit, mais d'une difficulté particulière à identifier les mots écrits (Gernsbacher, Varner, & Faust, 1990 ; Morais, 1994). Cette identification des mots est une étape essentielle pour la compréhension des mots écrits, il « n'existe pas de bon lecteur qui soit mauvais au niveau des procédures d'identification des mots » (Alegria, Leybaert, & Mousty, 1994, p. 107). La plupart des études indiquent

d'ailleurs que la majorité des faibles lecteurs présente un déficit spécifique au niveau de la reconnaissance des mots isolés (pour revue, voir Content, 1996 ; Ecalle & Magnan, 2002). Nous nous intéresserons plus particulièrement à ces procédures de reconnaissance des mots qu'elles soient perceptives, phonologiques ou orthographiques, en étudiant les aspects mnésiques, attentionnels et de régulation des traitements. Dans ce premier chapitre, nous décrirons la mise en place chez l'enfant des traitements à l'œuvre lors de l'identification des mots et leur implication dans les difficultés de lecture (pour une présentation exhaustive des mécanismes impliqués dans l'apprentissage de la lecture voir Colé & Valdois, 2007 ; Ecalle, 2000 ; Gaux, 2004 ; Morais, Pierre, & Kolinsky, 2003). Ce préalable sera utile pour comprendre comment concevoir le lien entre les mécanismes mnésiques, attentionnels ou de CE (CE) et l'apprentissage de la lecture.

.1.1 *Aspects moteurs*

Que l'activité de lecture soit conçue comme un phénomène ascendant (*bottom-up*), dans lequel les procédures d'identification précèdent les procédures supérieures de compréhension, ou comme un phénomène descendant (*top-down*) accordant la priorité au raisonnement et aux connaissances antérieures, une analyse visuelle de la trace écrite est essentielle pour identifier les mots : le lecteur pose les yeux sur le texte et les mots qui le composent. La lecture consiste dans un premier temps à déplacer son regard dans « l'espace de lecture » afin d'identifier le stimulus physique, le mot écrit. Cette identification visuelle fait intervenir le système oculomoteur. Les traitements oculomoteurs présentent un certain nombre de contraintes. Un lecteur ne peut traiter tous les mots d'un texte simultanément. Il extraie les informations progressivement, fixation par fixation, dans un déplacement de gauche à droite dans notre système alphabétique, puis réalise un changement de ligne oblique pour passer d'une ligne à l'autre. L'enfant intègre ces déplacements oculomoteurs afin de réaliser ces opérations perceptivo-cognitives de manière fluide. Ces déplacements oculomoteurs nécessitent une certaine expertise et des compétences dans la réalisation de cette opération perceptivo-cognitive que l'enfant apprend à maîtriser progressivement.

.1.1.1 Contrôle oculo-cephalogyre

Lors de l'apprentissage de la lecture, les enfants de 6-7 ans ne possèdent pas un schéma oculomoteur mature bien établi. Ils ne sont pas capables de s'appuyer uniquement sur la

mobilité oculaire pour réaliser les déplacements du regard à l'intérieur des lignes ou dans le retour au début de la ligne suivante. Ils ont recours à une mobilité extra-oculaire, en particulier céphalique (déplacement latéral de la tête).

La mobilité céphalique évolue avec l'âge de l'enfant. Elle lui permet d'obtenir de bonnes performances dans des tâches mettant en jeu une exploration visuelle ou une détection de cible. Rolls (1974, cité par Pauchard, 1988) a montré cette évolution en proposant à des enfants de 6;5 à 11;5 ans des tâches de pointage en vision normale et avec un prisme, dans lesquelles la tête des enfants était soit mobile soit fixe. Les enfants les plus jeunes (6;5 ans) commettent davantage d'erreurs (localisation erronée de la cible) lorsqu'ils ont la tête fixe que lorsqu'ils ont la tête libre. La mobilité céphalique constitue ainsi une source d'informations proprioceptives permettant un meilleur calibrage du regard. Dans l'activité de lecture, ces mouvements de rotation latérale de la tête permettent un calibrage de la distance à parcourir par le regard.

Les activités oculaire et céphalogyre se combinent, nécessitant de la part du lecteur une coordination oculo-céphalogyre. Le contrôle de la coordination oculo-céphalogyre augmente avec l'âge et varie en fonction du niveau en lecture, de la difficulté de la tâche, et des caractéristiques du texte (Gabersek & Salel, 1978 ; Netchine, Solomon, & Guihou, 1981 ; Roucoux, Culée, & Roucoux, 1983).

Netchine et al. (1981), par exemple, montrent que, dans une situation de lecture orale d'un texte présentant une excentricité de 40°, les déplacements céphaliques diminuent avec l'âge : à 7-8 ans les enfants présentent une participation céphalique de 23°, à 9-10 ans elle n'est plus que de 13° et chez l'adulte seulement de 4°. Les amplitudes de ces mouvements céphaliques augmentent avec la difficulté du texte. Cette augmentation se manifeste très tôt dans la lecture pour les CE1 et seulement vers la fin du texte pour les enfants de CM1. Enfin, même lorsque la consigne précise expressément de garder la tête immobile les enfants les plus jeunes (qui pensent appliquer correctement la consigne) ne parviennent pas à inhiber volontairement et durablement l'intervention des mouvements de rotation céphalique.

.1.1.2 Déplacements oculomoteurs

Les mesures oculaires recueillies lors de la lecture sont nombreuses (durée et nombre de fixation, taille de saccades). Elles sont supposées refléter des opérations mentales (procédures perceptives et cognitives) mises en jeu dans cette activité.

Lors de la lecture, le comportement oculaire est marqué par des invariants et des régularités. Les yeux se déplacent systématiquement le long des lignes du texte. Cependant, ce mouvement ne correspond pas seulement à un balayage continu le long des lignes du texte. Il comporte une succession de saccades, de fixations entrecoupées de pauses plus ou moins longues.

Les saccades correspondent à des mouvements brefs de l'œil (20 à 30 ms) dont la vitesse est extrêmement rapide (500° par sec). Elles permettent de parcourir le texte de gauche à droite, de revenir à la ligne et de faire éventuellement des régressions (retour en arrière). Un temps de préparation variant entre 150 et 175 ms est nécessaire pour les déclencher. A chaque déplacement (saccade) correspond une modification de l'attention (Fischer, 1986 ; Posner, 1980). Successivement, l'attention se désengage d'une première cible, se déplace vers la suivante et s'engage sur une nouvelle cible et ainsi de suite. Ces déplacements dépendent des caractéristiques externes (longueur, type de mot…) mais également des caractéristiques internes à chaque individu (vocabulaire, connaissances linguistiques préalables, taille du lexique mental…). Les fixations qui ont une durée de 200 à 300 ms environ (temps nécessaire pour identifier le mot fixé) constituent 90% du temps de lecture (Wolverton & Zola, 1983, cités par Rayner, Liversedge, & White, 2005). La taille des fixations est limitée par l'acuité visuelle réduite. La fovéa ne permet de percevoir que 7 lettres environ simultanément et avec précision. Le lecteur déplace donc continuellement son regard sur les mots pour capter une information claire.

L'attention doit se distribuer sur les différentes lettres de la séquence graphémique pour que le lecteur puisse les identifier et les traiter en parallèle au cours d'une seule fixation (Aghababian & Nazir, 2000 ; Ducrot et al. 2003 ; Nazir, Jacobs, & O'Regan, 1998). Pour être efficace, l'empan visuo-attentionnel doit être suffisamment large pour englober un nombre suffisant de lettres et que le regard soit correctement positionné dans le mot. De nombreuses études portant aussi bien sur la lecture de mots isolés (O'Regan, Lévy-Schoen, Pynte, & Brugaillere, 1984) que sur la lecture de textes (McConkie, Kerr, Redix, Zola, & Jacobs, 1989) montrent que les temps de reconnaissance ainsi que le nombre de fixations sont dépendants de la position du regard au sein des mots. La position optimale, appelée OVP (*Optimal Viewing Position),* se situe légèrement à gauche du centre du mot pour les écritures qui se lisent de gauche à droite. Ce point de regard optimal s'explique par le fait que le début du mot est plus informatif que la fin et que les normolecteurs identifient plus facilement les lettres qui se trouvent à droite. Cet effet d'OVP a été étudié par le biais de la

technique de la position de fixation du regard dans le mot. Elle consiste à présenter un mot très rapidement, pour s'assurer d'une unique fixation, puis à déplacer le mot par rapport au point de fixation de telle sorte que l'œil fixe chacune des lettres successivement. Cette technique permet de montrer par ailleurs que le traitement des lettres se fait de manière parallèle : la performance de reconnaissance du mot chute de part et d'autre de l'OVP et de manière asymétrique, en forme de « J renversé ». Cet effet qui apparaîtrait avant la fin de la première année d'apprentissage de la lecture indique que l'apprenti-lecteur utiliserait des stratégies visuelles proches de celles d'un lecteur adulte. Dans une étude longitudinale, Ducrot, Lété et Sana (2004) ont montré qu'avec des mots fréquents les enfants de CP obtiennent une courbe OVP similaire à celle des lecteurs experts dès le mois d'avril. Avec des mots rares, l'OVP est présent mais la courbe n'est pas asymétrique. La capacité à poser son regard sur l'OVP dépendrait donc de la fréquence d'exposition à l'écrit et de l'accroissement du lexique mental. L'effet OVP est valable pour tous les mots quelle que soit leur longueur (4 à 11 lettres) et leur familiarité (Ducrot & Pynte, 2002). Ainsi, avant la fin de la première année d'apprentissage de la lecture, l'apprenti-lecteur utilise des stratégies visuelles proches de celles d'un lecteur adulte lui permettant d'extraire en une seule fixation les informations de la séquence de graphèmes (plus petite unité distinctive de l'écriture) (Aghababian & Nazir, 2000 ; Ducrot, Lété, & Sana, 2004 ; Ducrot, Lété, Sprenger-Charolles, Pynte, & Billard, 2003).

Ces multiples traitements oculomoteurs sont contrôlés par l'enfant. Dans un premier temps, ce contrôle s'exerce sur la coordination de la tête et du cou puis, lorsque les mouvements céphalogyres ne sont plus utilisés, ce contrôle est mobilisé pour que le regard se déplace correctement sur la ligne de mot en mot et pour qu'il se pose directement à l'endroit le plus adéquat dans le mot (OVP). Conjointement à ces traitements oculomoteurs, des traitements perceptifs et analytiques sont mobilisés.

.1.2 *Aspects perceptifs, visuels et linguistiques*

.1.2.1 Procédure d'identification des lettres

La lecture nécessite en premier lieu une analyse visuelle spécifique. Celle-ci permet d'accéder au sens du mot en Mémoire à long terme (MLT) par l'intermédiaire du lexique (phonologique ou orthographique) ou, lorsque le mot lu est nouveau, d'élaborer les codes qui seront stockés en MLT.

Le traitement visuel perceptif de l'information physique du mot consiste en une analyse des traits graphiques et une identification des lettres. Bien que cette analyse élémentaire des lettres ne soit pas considérée comme indispensable par tous les spécialistes, la position théorique dominante considère que l'identité abstraite des lettres constitue l'unité de base de la reconnaissance des mots écrits. L'analyse des traits des lettres permet de retrouver en mémoire les représentations abstraites correspondantes et ceci indépendamment de leur taille et de leur forme (typographie) (Grainger & Jacobs, 1999 ; McClelland & Rumelhart, 1981). Ces représentations abstraites permettraient d'identifier les lettres indépendamment de leur taille et de leur forme. Certains chercheurs considèrent au contraire que la forme globale du mot constituée par l'ensemble des traits visuels permettrait une identification du mot. Cependant, cette analyse qui ne porterait que sur les propriétés physiques globales des mots ou sur une configuration visuelle spécifique du mot serait trop coûteuse pour les détracteurs de cette hypothèse (Allen, Wallace, & Webert, 1995 ; Healy & Cunningham, 1992). Une analyse qui ne porterait que sur les propriétés physiques des mots ne serait pas suffisante pour identifier tous les mots dans tous les contextes. L'apprenti-lecteur prend conscience que traiter des mots exige des analyses plus fines que de traiter des objets ou des images. Il assimile le concept de lettre afin d'identifier l'identité des lettres quelle que soit leur forme physique (voir figure 2). Cette reconnaissance dépend aussi de la discrimination des lettres symétriques présentant une forme, une orientation ou une position inversées (b, d, p, q). Pour identifier le mot, l'apprenti-lecteur tient également compte de l'ordre des lettres qui composent le mot. Le codage de la position des lettres permet de distinguer des mots contenant les mêmes lettres, tels que « lion » et « loin » (Evett & Humpreys, 1981).

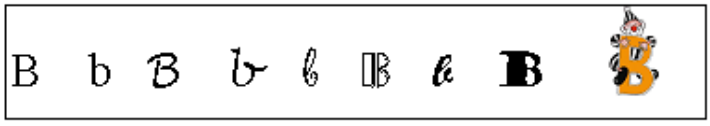


Figure 2 : nous sommes capables de reconnaître la lettre « B » dans toutes les circonstances, alors qu'elle peut revêtir des formes totalement différentes de la lettre « B ».

Dans une étude longitudinale, Magnan, Aimar et Léonard (1997, cités par Ecalle & Magnan, 2002) montrent l'importance de la maîtrise de l'ordre de lettres en observant que les capacités de traitement ordinal de l'information en grande section de maternelle (sur du matériel verbal et non verbal) prédisent les performances en lecture en CP.

Ces différentes capacités d'analyse se développent à mesure que l'apprenti-lecteur est confronté à un nombre croissant d'écrits. La reconnaissance de l'identité des lettres permet à l'enfant d'appliquer le principe alphabétique et de mettre en œuvre les règles de correspondance grapho-phonémique (ph se prononce /f/).

.1.2.2 Procédures d'identification des mots

L'identification des mots reste pour beaucoup de chercheurs une procédure qui joue un rôle dynamique majeur dans l'acquisition de la lecture, une sorte de « propulseur » des compétences en lecture (Morais, Alegria, & Content, 1987). Pour parvenir à identifier les mots, l'enfant acquiert différentes procédures.

Les modèles développementaux de l'acquisition de la lecture cherchent à décrire la dynamique de l'établissement chez l'enfant de procédures distinctes d'identification des mots. Ces modèles ont été élaborés à partir des conceptions du fonctionnement de l'adulte expert en lecture et de l'étude de l'évolution des procédés utilisés par l'enfant et des méthodes d'enseignement de la lecture.
La plupart des modèles proposés pour rendre compte des différents traitements à l'œuvre dans l'identification des mots chez l'adulte intègre l'idée d'une double procédure (modèles dits « à double voies ») pour spécifier les différents systèmes de traitement qui interviennent entre le moment où le sujet voit une suite de caractères et le moment où il prononce le mot. Selon le modèle, les traitements à l'œuvre dans les deux procédures (que nous décrirons plus loin) sont effectués de façon indépendante ou en interaction (modèles connexionnistes dans lesquels les traitements sont réalisés en parallèle : *Parallel Distributed Processing* : Harm & Seidenberg, 2004 ; McClelland & Rumelhart, 1981 ; Seidenberg & McClelland, 1989).

Selon le modèle de « la Double Voie en Cascade » de Coltheart, Rastle, Perry, Langdon, & Ziegler, (2001) et le modèle multitraces de Ans, Carbonnel, et Valdois (1998), il existe chez l'adulte deux façons d'obtenir l'information phonologique à partir de mots écrits : la voie d'adressage (procédure lexicale) et la voie d'assemblage (procédure sublexicale). Ces deux procédures se mettent progressivement en place chez l'enfant (parallèlement à d'autres procédures plus transitoires et moins courantes telle que l'analogie). Ainsi, dans le modèle connexionniste de Colé, Magnan, et Grainger (1999), les représentations phonologiques et orthographiques sont interconnectées. L'identification des mots

s'effectue grâce à l'activation irrépressible et simultanée de ces deux types d'informations, dès lors que les deux procédures sont acquises.

La procédure indirecte d'assemblage permet à l'individu de lire les mots inconnus, dont la séquence graphémique analysée ne correspond à aucune représentation orthographique en mémoire. Le lecteur procède à un assemblage des phonèmes (plus petite unité distinctive de la chaîne parlée) pour retrouver le code phonologique correspondant au mot en mémoire et accéder au sens du mot stocké dans le lexique mental par l'intermédiaire du code phonologique assemblé. Cette procédure d'assemblage, voie sub-lexicale, est particulièrement sollicitée chez l'apprenti-lecteur qui ne possède qu'un lexique orthographique réduit. Au départ, cette procédure est lente et laborieuse. Toute l'attention du lecteur est dirigée sur le décodage phonologique.
La procédure d'adressage est quant à elle directe et repose sur l'utilisation d'un code orthographique. Dans ce cas, l'identification des mots s'effectue via la représentation orthographique. La représentation orthographique correspondant à la suite orthographique perçue est recherchée en MLT et permet d'accéder au sens du mot et à sa prononciation en MLT. Cette voie cognitivement peu coûteuse est utilisée pour identifier les mots pour lesquels une représentation orthographique est présente dans le lexique mental.

.1.2.3 Évolution des procédures analytiques

Dans les langues alphabétiques comme celle de la langue française, les procédures analytiques de décodage (voie d'assemblage) tiennent une place prépondérante pour l'acquisition de la lecture. Pour obtenir le sens du mot, l'enfant recourt à une procédure grapho-phonémique qui consiste à convertir les graphèmes en phonèmes. L'analyse de la séquence des lettres porte ensuite sur des groupes de lettres plus larges, fréquents dans la langue, correspondant à des unités orthographiques et phonologiques (Sprenger-Charolles & Colé ; Sprenger-Charolles, Colé, Béchennec, & Kipffer-Piquard, 2005).

- ❖ Analyse grapho-phonémique

L'analyse grapho-phonémique est massivement utilisée en raison de la particularité de la langue française et de l'enseignement du principe alphabétique. La langue française est par essence alphabétique. Le système alphabétique permet une mise en relation entre les symboles écrits et des sous-composantes phonologiques très fines, les phonèmes. En langue française, 26 lettres sont utilisées en combinaison et ces lettres et regroupements de

lettres correspondent à un ou plusieurs phonèmes. Par exemple la lettre C peut correspondre aux phonèmes /s/ ou /k/. Les relations entre ce qui est écrit et ce qui est prononcé sont très régulières. Ces caractéristiques récurrentes de la langue expliquent le traitement essentiellement phonologique dès le début de l'apprentissage de la lecture et de l'écriture.

Les unités graphémiques sont ainsi fonctionnelles précocement dans l'apprentissage de la lecture. Sprenger-Charolles, Béchennec, et Lacert (1998) relèvent cette utilisation massive de la procédure alphabétique lors des deux premières années de l'école primaire, aussi bien en lecture à haute voix qu'en lecture silencieuse. En lecture de mots, apparaît un effet de la régularité des mots (les élèves lisent mieux les mots réguliers comme gâteau ou autobus, que les mots irréguliers comme baptême, agenda ou oignon) et une quasi absence d'effet de lexicalité et de fréquence (les mots ne sont pas mieux lus que les pseudo-mots et les mots fréquents ne sont pas mieux lus que les mots rares). En situation de choix de formes orthographiques de mots, les enfants font plus d'erreurs sur les intrus phonologiques (batau au lieu de bateau) que sur les intrus visuels (baleau au lieu de bateau). Par contre, les performances sont identiques entre les mots et les pseudo-mots. Ces différents résultats signifient qu'à cet âge, les enfants ont principalement recours à une procédure alphabétique pour décoder les mots. L'utilisation de la procédure de reconnaissance orthographique est limitée, elle ne permet généralement pas de reconnaître des mots familiers ou de détecter des erreurs orthographiques de type phonologique. La procédure alphabétique est donc un préalable au développement du lexique-orthographique. Dans cette procédure, l'apprenti-lecteur utilise tout d'abord les phonèmes puis progressivement et plus fréquemment des unités phonologiques plus larges, telles que l'attaque, la rime ou la syllabe. Pour ce faire, il utilise les représentations orthographiques et phonologiques sublexicales de ces unités qui sont mémorisées progressivement. Casalis (2005) a montré la prédominance au début de l'apprentissage de la lecture de l'analyse des phonèmes en proposant à 16 normolecteurs de 7;5 ans et de 10;2 ans une tâche de lecture de mots. Dans cette tâche étaient manipulées la longueur des mots (3,5 lettres *vs* 7,5 lettres) et la durée de présentation (100 ms *vs* 250 ms). Les résultats montrent notamment que les enfants plus jeunes lisent plus difficilement les mots longs et les mots présentés rapidement : 69% des mots sont lus correctement pour une durée de 100 ms contre 83% lorsque la durée est de 250 ms. Selon l'auteur, ces effets de longueur et de temps de présentation indiquent aussi que l'exploration visuelle du stimulus et la capacité à transformer des graphèmes en phonèmes ne sont pas encore

automatisées chez l'apprenti-lecteur en première année d'apprentissage ; il décode séquentiellement les graphèmes. Lorsqu'ils sont trop nombreux ou lorsque le mot est présenté trop rapidement, les enfants n'arrivent pas identifier le mot.

- ❖ Analyse d'unités orthographiques plus larges

Ce n'est que dans un second temps que l'analyse d'unités orthographiques plus larges, tout d'abord ponctuelle, se développe. Elle porte tout d'abord sur quelques unités remarquées par l'enfant (par exemple 'ien' dans « Bien » écrit dans la marge du cahier de l'enfant), puis s'élargit ensuite à d'autres unités et devient plus fréquente, si bien que s'installe une procédure ortho-phonologique. Une progression de l'analyse du graphème vers la syllabe est démontrée par le biais de différents paradigmes comme les tâches de détection de cible à l'initial d'un mot ou de conjonction illusoire.

Colé et al. (1999) indiquent l'existence de ce traitement syllabique en proposant à des enfants de CP et de CE1 une tâche de détection de cibles au début de mots. Les enfants doivent décider si une cible visuelle composée de 2 ou 3 lettres est présente à l'initiale du mot apparaissant immédiatement après. Deux conditions expérimentales sont utilisées : une condition congruente avec compatibilité syllabique entre la cible et la structure initiale du mot (ex : SO–SOLEIL ou SOL-SOLDAT) et une condition non congruente avec incompatibilité syllabique (ex : SOL-SOLEIL ou SO-SOLDAT). Les résultats indiquent que la sensibilité à la compatibilité syllabique entre la cible et la syllabe initiale du mot n'apparaît qu'au dernier trimestre de CP uniquement pour les bons lecteurs. Ceci confirme que les enfants en fin de CP commencent à développer une procédure de recodage phonologique basée sur la syllabe (résultats corroborés par Rativeau, Zagar, Jourdain, & Colé, 1997). Les enfants de CE1 ont également recours à un traitement syllabique phonologique pour traiter l'ensemble des mots de la tâche.

Cette utilisation progressive de la syllabe est démontrée également avec le paradigme de conjonction illusoire. Dans ce paradigme, une lettre puis un mot écrit en deux couleurs apparaît sur un écran. L'individu doit repérer la lettre cible dans le mot et donner sa couleur. Le lecteur qui utilise les syllabes de manière automatique est perturbé lorsque la couleur de la lettre cible ne correspond pas à la couleur de la syllabe à laquelle la lettre cible appartient. Le risque de commettre une erreur de détection de la couleur de la lettre est plus élevé si celle-ci ne correspond pas à la couleur de la syllabe à laquelle elle appartient. Ainsi, la couleur de la lettre « L » est plus fréquemment détectée correctement dans « **GRE**LOT » que dans « **GREL**OT » où les individus commettent l'erreur de dire

que la lettre est noire. Ces erreurs seraient la conséquence de l'influence des processus *top-down* d'analyse en syllabes du mot. Ces erreurs se produisent car la sélection attentionnelle de la couleur de la lettre cible dans le mot est perturbée par des temps de présentation très courts. La couleur perçue de la lettre n'est pas donnée en réponse car le traitement de l'unité syllabique domine.

L'utilisation de ce paradigme chez des enfants de CP, CE2 et CM1 (Ballaz, Marendaz, & Valdois, 1999) montre que les erreurs de conjonction illusoire sont plus nombreuses au CE2 et au CM2 qu'au CE1 où elles sont absentes. Ceci dénote un traitement progressif de la syllabe en tant qu'unité visuelle. L'étude réalisée par Doignon et Zagar (2006) chez des enfants de 7 ans, 8;1 ans, 10;6 ans et 11;2 ans, montre que l'utilisation de la syllabe apparaît dès la fin de la première année d'apprentissage de la lecture. Une étude de Valdois (2001) indique que l'effet de conjonction illusoire est différé chez les enfants en difficulté de lecture. Il apparaît respectivement en troisième et cinquième année d'apprentissage de la lecture chez des enfants dyslexiques et des faibles lecteurs alors qu'il se manifeste en 1er année chez les normolecteurs. La procédure de segmentation des mots en syllabes se met ainsi en place après le traitement de conversion des graphèmes en phonèmes. Elle s'installe progressivement à partir de la fin de la première année d'apprentissage de la lecture.

De l'ensemble des travaux cités, il ressort que pour identifier un mot, l'apprenti-lecteur utilise progressivement deux procédures : le décodage graphèmes/phonèmes et la procédure ortho-phonologique portant sur les syllabes des mots. Ce passage d'un traitement à l'autre se fait progressivement. L'enfant ne délaisserait pas subitement le traitement grapho-phonémique pour adopter une procédure grapho-syllabique. Pendant quelques temps et plus particulièrement à la fin du CE1, ces deux procédures coexisteraient et l'enfant mobiliserait l'une ou l'autre en fonction de la tâche et du mot à traiter.

Nous pouvons en effet considérer qu'au début de l'apprentissage de la lecture, l'enfant réalise ces traitements de façon délibérée et ceci tant qu'ils ne sont pas automatisés. La conversion des graphèmes en phonèmes s'effectue sous le contrôle de l'attention. Le contrôle s'exerce ici à différents niveaux : balayage gauche-droite des lettres, utilisation des graphèmes plutôt que des lettres, gestion des informations stockées pour permettre l'assemblage des phonèmes (qui donnera le code phonologique du mot). Cette procédure d'assemblage utilisée fréquemment dans le cadre d'un enseignement du principe alphabétique, devient progressivement plus aisée et rapide et par conséquent nécessite moins de contrôle. Elle est automatiquement mise en œuvre et peut donc pour cette raison

être mobilisée au détriment de la procédure syllabique qui s'installe plus tardivement. Cette automatisation peut rendre nécessaire l'inhibition de cette procédure grapho-phonémique dominante lorsque celle-ci n'est pas appropriée (mot irrégulier) où lorsqu'une procédure syllabique pourrait être utilisée. Par exemple, si la procédure d'assemblage échoue parce que le mot est irrégulier et que l'enfant ne retrouve pas sa signification, celui-ci utilise une autre procédure (deviner le mot en se servant du contexte ou utiliser l'adressage). De façon similaire, il peut être nécessaire d'inhiber la procédure d'assemblage pour permettre à la procédure syllabique de se mettre en place.
Selon le contexte extérieur (procédure étudiée, but de la lecture) et les propres compétences de l'enfant (facilité d'utilisation de telle ou telle procédure, lexique écrit, vocabulaire), celui-ci « navigue » entre plusieurs procédures. Comme nous le développerons plus loin, ces choix et cette régulation des traitements impliquent selon nous, un CE (CE).

➡ Les différentes procédures d'acquisition de la lecture présentées ci-dessus reflètent l'évolution des traitements visuels, moteurs et linguistiques caractéristiques d'un développement typique. Cependant, comme pour tout apprentissage, des difficultés peuvent se présenter. Elles peuvent être transitoires ou de longue durée, être plus ou moins sévères en fonction des enfants et relever selon les auteurs d'un retard dans l'apprentissage (décalage et ajournement de l'apprentissage) ou d'un trouble spécifique empêchant l'enfant de progresser. Cette distinction renvoie à la catégorisation retard simple/dyslexie. Elle n'est pas partagée par tous comme nous le verrons dans la partie qui suit. Bien que notre recherche ne porte pas sur les enfants dyslexiques il nous paraît crucial d'aborder cette question car de nombreuses études montrant l'implication du CE dans les difficultés de lecture ont été conduites dans le cadre de travaux en neuropsychologie portant sur des enfants dyslexiques.

.2 Difficultés en lecture : définition et origine

Les études montrent qu'environ 15% des enfants de collège sont en difficulté d'apprentissage de la lecture (Germain & Mazel – Observatoire National de la Lecture, 2007 ; Martinez, 2003 ; Vianello & Monica, 1995 cités par Valdois, Bosse, Ans et al., 2003) et que parmi eux, seuls 5% sont désignés comme étant dyslexiques (Chiland 1988 ; Chiland 1990 ; Fijalkow, 1999 ; Sprenger-Charolles & Colé, 2003). Précisons que ces chiffres fluctuent, car les critères de diagnostic de la dyslexie varient. Dans cette partie

nous nous interrogerons sur les facteurs discriminants susceptibles de distinguer les enfants dyslexiques des autres faibles lecteurs et présenterons ensuite les hypothèses relatives à l'origine des difficultés en lecture.

.2.1 *Trouble dyslexique ou continuum de difficultés en lecture*

La théorie conceptuelle traditionnelle de type "catégoriel" considère qu'il est important de distinguer parmi les enfants faibles lecteurs, ceux qui présentent de simples difficultés de lecture (« *poor readers* » caractérisés par un retard de développement) et ceux qui présentent un trouble cognitif (dyslexie aussi appelée « *reading disability* » ou « retard spécifique de lecture »). Cette théorie se base sur l'idée que parmi les enfants qui ont des difficultés de lecture, certains seulement (environ 5%) présentent un trouble spécifique et durable affectant l'identification des mots écrits. Ces enfants ne présenteraient pas un retard en lecture mais un trouble, qualifié de dyslexie.

La dyslexie du développement est en général définie comme un trouble persistant et massif de l'apprentissage de la lecture, quantifié par un retard en lecture de plus de 18 mois. Ce trouble apparaîtrait en l'absence de difficultés intellectuelles, de déficits sensoriels, de lésions neurologiques et de carences éducatives (Observatoire national de la lecture, 1998). La dyslexie est de moins en moins considérée comme un trouble général de la lecture (touchant aussi bien les capacités d'identification que de compréhension) mais plutôt comme un trouble spécifique de l'identification du mot écrit (Colé & Valdois, 2007 ; Demont & Gombert, 2004 ; Florin, 2003 ; Sprenger-Charolles & Colé, 2003). Généralement, différents types de dyslexies sont distingués. La plus répandue serait la dyslexie phonologique qui se caractérise par une atteinte sélective de la procédure analytique de lecture. Les enfants présentant ce type de dyslexie éprouvent des difficultés à associer une graphie à un son. La lecture de mots nouveaux et de pseudo-mots pose donc problème (nombreuses erreurs et déchiffrage lent) alors que la capacité à lire des mots familiers (réguliers ou irréguliers) est intacte. A l'inverse, la dyslexie de surface se caractériserait par un dysfonctionnement de la procédure lexicale de lecture. Les enfants présentant ce type de dyslexie n'ont pas de difficultés pour associer une graphie à un son mais ne mémorisent pas ou peu l'orthographe des mots entiers, ils ont donc des difficultés pour lire des mots irréguliers alors que la lecture des mots réguliers et des pseudo-mots est préservée. Ce type de dyslexie est très rarement observé seul. Enfin, à ces deux types de dyslexie s'ajouteraient les dyslexies dites « mixtes » qui correspondent à la combinaison

des deux premiers types de dyslexie. Dans ce profil, les performances en lecture sont globalement très faibles quelle que soit la nature des items proposés (mots, réguliers, irréguliers ou pseudo-mots).

Cette catégorisation évite également de faire l'amalgame entre dyslexie et hyperactivité, d'entretenir des confusions entre aphasie, dysphasie et dyslexie ou de confondre erreurs normales d'apprentissage et véritable déficit en lecture : avoir des difficultés à se rappeler l'orthographe de certains mots ou inverser le sens d'une lettre ne fait pas d'un lecteur un dyslexique (à quelconque degré que ce soit).

Dans un sens, cette définition de la dyslexie apporte des critères diagnostics précis et permet l'utilisation de techniques éducatives ainsi qu'une prise en charge adaptée aux difficultés particulières des dyslexiques et des faibles lecteurs. Dans le cadre de recherches expérimentales, cette théorie permet d'utiliser des critères stricts de constitution des groupes. Elle évite des failles méthodologiques dans le choix de la population et de donner des conclusions disparates voire opposées.

Plusieurs arguments sont en faveur de cette théorie de type "catégoriel". Les difficultés des enfants qui présentent un retard simple persévèrent moins dans le temps, leurs causes sont multifactorielles (déficience mentale, environnement, Trouble Déficitaire del'Attention avec Hyperactivité) et essentiellement environnementales (familiales, scolaires). A l'inverse, les difficultés des enfants présentant un trouble dyslexique[1] sont spécifiques parce qu'elles se manifestent par une impossibilité à acquérir certains traitements cognitifs spécifiques à la lecture. Un autre argument se fonde sur les recherches qui montrent que, à l'inverse de la dyslexie, un retard simple peut être corrigé. Vellutino, Scanlon et al. (1996) montrent par exemple que grâce à une pédagogie adaptée (travail sur le sens de l'écrit, motivation, etc.) un faible lecteur peut améliorer ses performances. Selon Ehri et al. (2001), un travail métaphonologique ciblé permettrait à ces faibles lecteurs d'apprendre à manipuler et identifier différentes unités phonologiques.

La théorie de type catégoriel s'oppose à la théorie du continuum selon laquelle la dyslexie n'est pas une catégorie à part mais correspond au niveau le plus important des difficultés

[1] Pour simplifier, nous emploierons le terme « d'enfants dyslexiques ou dyslexique » dans la suite du texte à la place « d'enfants présentant un trouble dyslexique ».

de lecture (Rodgers, 1983 ; Shaywitz, Escobar, Shaywitz, Fletcher, & Makuch, 1992 ; Silva, McGee, & Williams, 1985 ; Van der Wissel & Zegers, 1985). Dans cette approche, la dyslexie ne constitue pas une entité à part et biologiquement déterminée, mais se situe à l'extrémité d'une courbe continue de distribution normale des capacités en lecture au sein de la population générale. Au centre de ce continuum se situe la majorité des lecteurs, d'un niveau intermédiaire. A une des extrémités de la courbe se situent les troubles les plus sévères, à l'autre extrémité le niveau plus élevé en lecture. Cette perspective ne détermine pas de démarcation franche entre les différents troubles en lecture, c'est-à-dire entre dyslexie ou simple retard. Ils ne se distinguent entre eux que par leur degré de sévérité. En outre, il est difficile de situer le point critique qui détermine qui est normolecteur et qui ne l'est pas. Shaywitz, Escobar et al. (1992) considèrent que, de ce point de vue, les difficultés en lecture peuvent être métaphoriquement rapprochées de problèmes comme l'hypertension ou l'obésité. Positionner « ce point de coupe » est tout à fait arbitraire. Des enfants présentant un niveau en lecture faible mais juste après me point de coupe, bien que non étiquetés comme dyslexiques, partageront beaucoup de traits et de troubles communs avec ceux dont le score les situe de l'autre côté de ce point de coupe. De plus, lorsque la capacité en lecture est mesurée, les résultats peuvent varier quelque peu d'un essai à un autre. Ces fluctuations peuvent faire basculer un lecteur d'un côté ou de l'autre de cette délimitation et lui faire changer de statut. Selon cette théorie du continuum, les mêmes facteurs biologique, cognitif, socio-éducatif sont sensés influencer les différences de capacité entre lecteurs tout au long de ce continuum.

D'autres arguments en faveur de cette théorie du continuum sont avancés. D'une part, les enfants dyslexiques présentent souvent une variété de troubles autres que phonologiques et les remédiations phonologiques proposées ne sont pas toujours efficaces ou en tout cas pas au même degré. D'autre part, l'hypothèse d'une origine héréditaire de la dyslexie est invalidée (Gillerot, 1998) par les travaux montrant que les proportions de garçons et de filles dyslexiques seraient beaucoup plus semblables que ce qui a été mentionné dans les études préalables selon lesquelles la dyslexie toucherait majoritairement les garçons (Flynn & Rahbar, 1994 ; Shaywitz, Shaywitz, Fletcher, & Escobar, 1990 ; Wadsworth, DeFries, Stevenson, Gilger, & Pennington,1992).

Les études comparant des groupes de dyslexiques et de faibles lecteurs avec un simple retard et qui trouvent peu de différences significatives entre eux (Fletcher et al.1994 ; Stanovich & Siegel, 1994) constituent également un argument en faveur de la théorie du

continuum. Par exemple, les faibles lecteurs ont, comme les dyslexiques, des difficultés à retrouver certaines informations verbales (phonologiques) telles que des noms en mémoire à long terme (Gathercole, Alloway, Willis, & Adams, 2006 ; Katz, 1986 ; Rucklidge & Tannock, 2002 ; Swan & Goswami, 1997). Les faibles lecteurs ont également des difficultés en Mémoire de Travail (MdT) (Baddeley, 1986 ; Bayliss, Jarrold, Gunn, & Baddeley, 2003 ; Gathercole & Baddeley, 1993) ou encore des difficultés oculomotrices. Ceux-ci n'utiliseraient pas les informations du code phonologique d'une saccade à l'autre (Chace, Rayner, & Arnold, 2005). Ils bénéficieraient de moins d'informations phonologiques préalables que les bons lecteurs car ils disposent de moins de ressources[2]. Ils ne peuvent pas traiter à la fois le mot en cours et intégrer les informations phonologiques du mot suivant en parafovéa (périphérie de la zone de la rétine où la vision des détails est la plus précise).

Ces travaux suggèrent que la frontière peut être mince entre dyslexie et retard en lecture. « *Il est quelquefois difficile de distinguer entre un écart pathologique et un écart qui ne l'est pas : nous n'avons pas de référence suffisamment précise sur ce qui constitue des conduites langagières normales à un âge donnée, simplement parce qu'il existe des variations interindividuelles importantes dans l'utilisation du langage et dans son rythme d'acquisition* » (Florin, 1999). Ainsi, dans la synthèse relative aux causes possibles des difficultés en lecture qui suit, nous nous appuierons sur des études portant aussi bien sur des participants dyslexiques que sur des faibles lecteurs. D'ailleurs, dans de nombreux articles en langue anglaise, le terme « *reading disabilities* » n'est pas toujours défini. Il est difficile de déterminer à quelle(s) difficulté(s) en lecture il renvoie. Notre propos n'est pas d'amalgamer retard en lecture et dyslexie ni de mettre à l'épreuve ces deux conceptions alternatives des difficultés en lecture. Les études que nous avons réalisées ne portent d'ailleurs que sur des enfants ne présentant au plus qu'un retard de 12 mois en lecture. L'objectif de notre recherche est d'étudier dans quelle mesure le CE évolue en interaction avec l'expertise en lecture et comment son implication varie en fonction du niveau en lecture. Si de plus faibles performances de CE sont relevées chez les faibles lecteurs, un

[2] Ce terme de « ressources » est utilisé aussi bien dans les modèles structuraux que d'activation. Pour ôter toute confusion, précisons que cette expression que nous emploierons tout au long de ce travail n'est pas à prendre au sens strict de « quantité mesurable » stockée dans un réservoir à capacité limitée. Elle doit être considérée ici comme une ressource mnésique ou attentionnelle qu'un individu peut allouer à une tâche (ou qu'une tâche peut solliciter). Ces limites ne sont pas forcément structurales, elles peuvent également être définies en terme de contraintes temporelles.

déficit du CE ne pourra pas exclusivement être associé à la dyslexie, ni relever d'un trouble pré-frontal comme cela est évoqué dans certaines recherches. Cette recherche contribuera ainsi à enrichir la question de la spécificité et la nature des troubles dyslexiques.

➡ Comme nous l'avons détaillé plus haut, les étapes de l'apprentissage de la lecture sont nombreuses, longues à mettre en place et complexes à établir solidement. Les difficultés en lecture peuvent avoir des origines multiples et revêtir des formes différentes comme le montre la partie subséquente.

.2.2 Hypothèses explicatives des difficultés en lecture chez l'enfant

La synthèse qui suit présente dans une première partie les hypothèses les plus classiques avancées pour expliquer les difficultés comportementales des enfants ayant des difficultés en lecture. L'hypothèse d'un trouble plus général affectant les ressources cognitives en MdT, qui sous-tend plus directement cette recherche, sera développée dans la troisième partie de ce chapitre.

.2.2.1 Hypothèses relatives aux déficits cognitifs

.2.2.1.1 Hypothèse d'un trouble phonologique spécifique

Comme expliqué plus haut, l'identification du mot par assemblage implique une conversion des graphèmes en phonèmes qui nécessite une compétence phonologique et des capacités phonémiques. L'hypothèse phonologique postule que les enfants dyslexiques manifestent un trouble des représentations mentales des sons de la parole ou phonèmes (Vellutino, Fletcher, Snowling, & Scanlon, 2004). Ce déficit les empêcherait de décoder correctement et rapidement les mots, surtout lorsqu'ils sont nouveaux et peu familiers, ou de répéter et lire des pseudo-mots (pour une synthèse sur cette question voir : Alegria & Mousty, 2004 ; Ramus, 2002 ; Sprenger-Charolles & Colé, 2003).

Cette hypothèse phonologique s'appuie sur les conclusions d'études qui montrent que les individus dyslexiques obtiennent des performances plus faibles que les normolecteurs dans la plupart des tâches de conscience phonologique et en particulier phonémique qui consiste à segmenter les phonèmes entendus dans un mot ou encore manipuler les phonèmes en supprimant le phonème initial ou final d'un mot (ex pour « camion » : « amion » ou « cami »). Les individus dyslexiques échouent tout particulièrement lorsque les mots ont

une structure phonologique complexe (Bruck & Treiman, 1990) ce qui corrobore les difficultés particulières d'extraction des phonèmes compris dans les clusters du type /fl/ et /sp/ présents particulièrement dans la langue anglaise.

Ces déficits d'ordre phonologique sont d'autant plus marqués que la langue utilisée est opaque c'est-à-dire que les relations grapho-phonémiques sont peu transparentes (Seymour, Aro, & Erskine, 2003). La langue française est relativement transparente, elle permet aux individus dyslexiques de réaliser des correspondances grapho-phonémiques, mais cette procédure reste coûteuse, car non automatisée. Ce coût se matérialise par la lenteur en lecture de pseudo-mots (Grainger, Bouttevin, Truc, Bastien, & Ziegler, 2003 ; Sprenger-Charolles, Colé, Lacert, & Serniclaes, 2000).

Le déficit phonologique a aussi des répercussions sur le stockage des informations phonologiques et orthographiques. La lenteur de l'assemblage a des répercussions sur le maintien de l'information déjà traitée en MdT. En effet, les enfants dyslexiques ont un score plus faible aux tâches d'empans verbaux. Le déficit phonologique s'accompagne également de troubles comme une altération de la Boucle Phonologique (BP) et de l'accès au lexique. Un déficit de la BP entraverait la mémorisation du résultat de l'opération de décodage et l'accès au mot entier dans le lexique interne ou l'intégration de mots nouveaux ensuite stockés dans le lexique (Mann & Liberman, 1984 ; Scarborough, 1998). Les difficultés d'accès au lexique sont soulignées par de nombreuses études qui montrent que les dyslexiques sont moins rapides que les individus de même âge chronologique ou lexical dans des tâches de fluence verbale ou de dénomination rapide d'images et de chiffres qui nécessitent l'accès et l'activation de représentations phonologiques en mémoire (Wolf & Bowers, 1999 ; Wolf et al., 2002).

Plusieurs explications sont proposées pour expliquer son origine : attentionnelle, auditive visuelle, motricité, etc.

.2.2.2 Hypothèse d'un trouble de sélection attentionnelle

Cette hypothèse du rôle de l'attention dans les difficultés de lecture repose sur l'observation d'une co-occurrence entre troubles de lecture et d'attention. Les enfants dyslexiques peuvent éprouver des déficits attentionnels. Certaines études indiquent que 15% des enfants dyslexiques ont aussi des troubles déficitaires de l'attention avec hyperactivité (TDAH) et qu'inversement près de 36% des enfants avec un TDAH présenteraient un trouble dyslexique (Shaywitz, Fletcher, & Shaywitz, 1994). Il s'agit de

déterminer comment expliquer cette comorbidité et à quels moments l'attention intervient dans la lecture.

Au cours de cette activité, l'attention doit alternativement se focaliser puis se déplacer sur les mots. Moores (2003) montre que les performances de dyslexiques sont affectées lorsqu'ils doivent traiter des cibles qui alternent continuellement. Les auteurs montrent que les capacités à alterner l'attention sont préservées et que le problème proviendrait d'un déficit d'automatisation des procédures de décodage et d'une faible capacité attentionnelle générale. Puisque les dyslexiques ont des difficultés à automatiser les procédures de décodage, ils mobilisent davantage de ressources attentionnelles pour réaliser correctement les tâches complexes comme la lecture (Fawcett & Nicolson, 1990, 2000).

D'autres mécanismes attentionnels seraient déficitaires. Ils concerneraient la sélection attentionnelle, c'est-à-dire la capacité à orienter volontairement et automatiquement l'attention et à inhiber les informations périphériques, non pertinentes (Hugdahl & Heiervang, 2003). Pour identifier les lettres constituant les mots, le lecteur encode la position de chacune d'elles. Dans cette situation, la lecture est à rapprocher d'une situation de recherche visuelle ou il s'agit de diriger le faisceau attentionnel sur chaque lettre successivement. Du point de vue de la compréhension, ces troubles de sélection attentionnelle empêcheraient les dyslexiques de porter leur attention et de mémoriser efficacement les éléments les plus importants et les plus informatifs d'un texte (Reynolds, Shepard, Kreek, Lapan, & Goetz, 1990).

Pour Casco et Prunetti (1996) et Marendaz, Valdois, et Walch (1996) les difficultés de certains dyslexiques proviennent du déficit de mécanismes attentionnels permettant cette recherche visuelle.

De plus, la mobilisation de l'attention lors du traitement des mots et des phrases en lecture permettrait au lecteur de fixer un mot tout en portant sélectivement son attention sur les lettres et les mots situés autour du point de fixation dans la région fovéale. Des éléments périphériques non pertinents pour la lecture sont également perçus et ils sont donc filtrés. Ce filtrage attentionnel permet d'atténuer l'importance de ces éléments non immédiatement pertinents et ainsi de se concentrer sur les mots à traiter. Ce filtrage ne serait pas efficace chez certains dyslexiques qui ont tendance à porter leur attention en dehors de la fovéa (Buchholz & Aimola Davies, 2005 ; Lorusso et al., 2004). Facoetti, Paganoni, et Lorusso (2000) prouvent que les enfants de 9-10 ans dyslexiques n'arrivent pas à contrôler la distribution de l'attention et ne parviennent pas à restreindre le faisceau attentionnel en vision périphérique. Par rapport aux normolecteurs de même âge

chronologique, ils présentent une distribution anormale de l'attention de part et d'autre du point de fixation, avec une réduction de l'attention à la gauche et une sensibilité accrue à la distraction à droite.

Reynolds et al. (1990) étudient également la capacité de bons et faibles lecteurs à mobiliser des stratégies d'attention sélective lors de la lecture de texte mais adoptent une démarche différente. Ils proposent à des étudiants de lire un texte découpé en segments contenant une information importante. Les participants doivent mémoriser les informations contenues dans ces textes afin de répondre aux questions posées entre chaque segment de texte. Les auteurs montrent que tous les lecteurs sont capables d'identifier et de focaliser leur attention sur les éléments importants du texte. Mais si les bons lecteurs apprennent et rappellent plus d'informations importantes que les faibles lecteurs, c'est parce qu'ils possèdent des connaissances métacognitives sur la manière et le moment le plus opportun d'utiliser les stratégies d'attention sélective. Dans une seconde expérience, les auteurs précisent que pour expliquer les différences entre lecteurs, mesurer la quantité d'attention focalisée sur les différentes catégories d'informations (temps, mouvements oculaires etc.) ne suffit pas et qu'il faut s'intéresser au type d'attention mobilisé. Ils se fondent sur les suggestions de Jacoby (1983) qui indique que le lecteur peut mobiliser deux types d'attention qualitativement différentes : l'attention perceptive qui permet le décodage et l'attention conceptuelle qui permet l'obtention de la signification du texte. Selon Jacoby une lecture efficace (c'est-à-dire une lecture permettant l'apprentissage et le rappel des informations les plus pertinentes) nécessite que la part d'attention conceptuelle soit plus élevée que la part d'attention perceptive allouée à la tâche. Dans cette seconde expérience, les auteurs montrent que les faibles lecteurs sont plus performants que les bon lecteurs aux tâches d'attention perceptive (lire des mots rencontrés dans un texte précédant et qui apparaissent très rapidement durant environ 35 ms) alors qu'ils obtiennent des performances plus faibles que les bons lecteurs aux tâches d'attention conceptuelle (reconnaître, parmi une liste de mots, ceux rencontrés dans un texte lus précédemment). Le *ratio* attention perceptive / attention conceptuelle est trop élevé chez les faibles lecteurs, ce qui expliquerait leur difficulté à se rappeler des informations pertinentes présentes dans un texte.

A un autre niveau, Valdois (2005) considère qu'une distribution non adéquate de l'attention engendrerait des difficultés d'identification des mots car certaines lettres du mot apparaîtraient comme plus saillantes (par exemple : MAisoN). De plus, les lettres apparaissant comme saillantes dans un mot ne seraient pas systématiquement les mêmes,

ce qui rendrait difficile, voire impossible, la mémorisation d'une représentation stable du mot. De ce fait, la mise en place de la procédure lexicale de lecture serait perturbée, ce qui expliquerait la lenteur en lecture de mots réguliers et les erreurs de régularisation lors de la lecture de mots irréguliers.

.2.2.2.1 Hypothèse d'un trouble visuel

Nous avons vu que la lecture met en jeu des traitement visuels et oculomoteurs, c'est pourquoi l'hypothèse d'un déficit visuel a été évoquée très tôt par les chercheurs (Morgan, 1896). Plusieurs types d'hypothèses sont proposés.

- Hypothèse d'un trouble oculomoteur

L'hypothèse d'un dysfonctionnement oculomoteur chez les enfants dyslexiques est testée depuis plus de 50 ans (Launay, 1952 ; Lesèvre, 1968). L'étude des mouvements oculaires volontaires et réflexes chez certains enfants dyslexiques indique que, par rapport à des normolecteurs de même âge chronologique, les fixations des enfants dyslexiques sont plus longues, leurs saccades plus petites, le nombre de régressions plus élevé et les saccades expresses plus nombreuses (Badcock & Lovegrove, 1981 ; Fischer, Biscaldi, & Otto, 1993 ; Pavlidis 1981 ; Tinker, 1958).

Un point polémique concerne l'interprétation de ces mouvements oculaires incorrects observés chez les dyslexiques pendant la lecture d'un texte. Ils peuvent être interprétés comme une conséquence de leurs difficultés en lecture (De Luca, Di Pacea, Judicaa, Spinelli, & Zoccolottia, 1999) ou comme la cause de la dyslexie, dans le sens ou les mouvements oculaires erratiques gêneraient la reconnaissance des mots (Biscaldi, Gezeck, & Stuhr, 1999 ; Eden, VanMeter, Rumsey, & Zeffiro, 1996).

Fukushima, Tanakab, Williams, et Fukushima (2005) suggèrent que les mouvements anormaux des yeux observés chez les dyslexiques peuvent être la conséquence d'un dysfonctionnement cérébral ou d'un retard de développement et pas simplement la cause de difficultés en lecture. Ils proposent à des enfants de 7-15 ans dyslexiques, des tâches de suivi oculaire (poser les yeux le plus rapidement possible sur une cible visuelle apparaissant soudainement à droite ou à gauche d'un point de fixation), d'anti-saccades (regarder à l'opposé d'une cible visuelle apparaissant soudainement à droite ou à gauche d'un point de fixation) et de guidage de mémoire (lorsque la cible visuelle apparaît, le participant doit continuer à fixer le point central de fixation ; lorsque celui-ci disparaît il doit alors poser ses yeux à l'endroit ou la cible visuelle était positionnée). Les auteurs indiquent que les enfants en difficulté de lecture obtiennent des temps de latence plus longs

à la tâche d'anti-saccades et plus particulièrement à droite qu'à gauche du point de fixation ; de plus grandes difficultés à réaliser la tâche de suivi oculaire avec des écarts plus importants et enfin, un nombre d'erreurs plus important à la tâche de guidage de mémoire. De même, plusieurs études s'appuyant sur des tâches non verbales soutiennent cette explication causale. Biscaldi, Gezeck, et Stuhr (1999) montrent que dans une tâche où il s'agit de déplacer alternativement son regard vers des stimuli présentés en périphérie, les dyslexiques présentent un nombre élevé de saccades expresses. Avec des tâches de poursuite oculaire de cibles séquentielles se déplaçant de gauche à droite, Pavlidis (1981) montre que les dyslexiques ont les mêmes désordres oculomoteurs que lors de tâches de lecture. Biscaldi, Fischer, Hartnegg, et Gutjahr (2000) démontrent quant à eux, une difficulté à supprimer des saccades réflexes vers la cible dans les tâches de « *memory-guided saccade* », ce qui suggère que les dyslexiques auraient des difficultés à contrôler volontairement les saccades oculaires.

En revanche, Sparrow (2005) tente de déterminer si les mouvements oculaires atypiques peuvent être la cause directe des difficultés en lecture des dyslexiques ou s'il s'agit de difficultés de représentations phonologiques. De jeunes adultes dyslexiques doivent lire deux textes différents dont les caractéristiques linguistiques varient : fréquence, longueur, régularité phonologique et prédictibilité des mots (le mot peut-il être prédit à partir du contexte précédent). Il suppose que si les groupes se différencient sur les mesures oculaires qui sont influencées par des indices tardifs (durée regard : addition de toutes les refixations intra-mots), alors les difficultés des dyslexiques reflètent des déficits de représentations phonologiques ou de capacités d'accès au lexique. Par contre, s'ils se différencient sur l'ensemble des indices précoces (durée de première fixation, de fixation unique) et tardifs cela signifie que les dyslexiques souffrent d'un déficit oculomoteur global. Les résultats obtenus confirment l'hypothèse d'un dysfonctionnement phonologique puisque l'effet de régularité s'observe uniquement chez les dyslexiques. La fréquence et la longueur produisent le même effet sur les performances en lecture des deux groupes mais il est plus marqué chez les dyslexiques. Ceci confirme les difficultés d'accès au lexique mis en avant dans la théorie phonologique. Par contre, les deux groupes ne se différencient pas sur les indices précoces. L'auteur en conclu que les dyslexiques présentent un trouble des mouvements oculaires mais que ceux-ci « ne sont que le résultat de leurs difficultés en lecture et non une cause » (p. 208).

- Hypothèse d'un trouble de l'empan visuo-attentionnel

Certains lecteurs sont incapables d'extraire et de traiter un nombre suffisant d'éléments lors d'une fixation par exemple. Cette difficulté est actuellement expliquée sous l'angle d'une hypothèse d'un dysfonctionnement visuo-attentionnel (voir notamment les études de Valdois).

L'idée centrale est que lire consiste à porter son attention sur les différents mots et à les sélectionner individuellement l'un après l'autre pour pouvoir les identifier correctement. Les traitements s'exercent ensuite sur les différentes parties constituant les mots. A ce niveau de traitement, le lecteur porte son attention sur l'ensemble des lettres pour qu'elles puissent être traitées en même temps et que le mot soit reconnu. Ainsi, les dyslexiques auraient un trouble de l'empan visuo-attentionnel (VA) qui limiterait le nombre des éléments pouvant être traités en parallèle au cours d'une seule fixation.

Cette explication en terme d'empan VA s'appuie principalement sur le modèle multitraces de lecture de Ans et al. (1998). Ce modèle qui intègre les mécanismes attentionnels postule qu'il existe deux procédures de lecture, l'une globale et l'autre analytique. Dans la procédure globale, la fenêtre visuo-attentionnelle s'étend à l'ensemble du mot tandis que dans le mode analytique la fenêtre visuo-attentionnelle se rétrécit pour concentrer l'attention successivement sur les différentes parties du mot. La dyslexie phonologique proviendrait d'un dysfonctionnement du traitement phonologique, alors que la dyslexie de surface serait la conséquence d'une réduction de l'empan VA. Les deux formes de dyslexie se différencient dans un premier temps sur le plan phonologique. Dans la procédure globale, le mot est traité globalement et l'accès à ses caractéristiques phonologiques est immédiat. Dans le mode analytique, l'accès aux caractéristiques phonologiques est progressif puisque le mot est décodé, les différents phonèmes vont être produits un à un puis seront maintenus en MCT pour pouvoir être assemblés à la fin du traitement. Ces deux procédures diffèrent quant à la taille de la fenêtre VA qui permet d'extraire les informations orthographiques. La mémorisation de la forme orthographique d'un mot entier dans le lexique orthographique nécessite un traitement simultané de l'ensemble des lettres du mot ; de ce fait, la réduction de l'empan VA gênerait l'extraction et l'analyse de l'information orthographique et serait à l'origine des difficultés présentent dans la dyslexie de surface.

Plusieurs études montrent ainsi que les dyslexiques ont plus de difficultés à traiter les derniers éléments d'un item que les premiers (Ans et al., 1998 ; Valdois, 2003, Valdois, Bosse, & Tainturier, 2004). Ils traitent moins de lettres à chaque fixation et sont incapables

d'adapter leur empan visuel en fonction des demandes de la tâche. Cet empan visuo-attentionnel réduit engendre un plus grand nombre de fixations à droite et une lecture plus analytique du texte (Prado, Dubois, & Valdois, 2007).

Cette hypothèse est également confirmée par les travaux de Rayner, Murphy, Henderson, et Pollatsek (1989) en utilisant le paradigme de fenêtre mobile qui permet de contrôler le nombre de mots que le sujet est susceptible de traiter lorsqu'il lit. Ils montrent que, pour les normolecteurs, la vitesse de lecture augmente normalement avec la taille de la fenêtre : plus les lecteurs disposent de mots plus ils sont rapides. Par contre, les enfants dyslexiques obtiennent une performance optimale avec des fenêtres plus réduites. Ils ne réussissent pas à focaliser leur attention autour du point de fixation lorsqu'ils utilisent une fenêtre plus large où une partie de l'information parafovéale est traitée.

Bosse, Tainturier, et Valdois (2007) confortent l'hypothèse de troubles visuels, dissociés des troubles phonologiques. Elles proposent des tâches de report global et de report partiel de séquences de lettres à des enfants dyslexiques de 11 ans francophones et anglophones. La tâche de report global consiste à présenter pendant 200 ms une séquence non prononçable de cinq consonnes (par exemple, R-H-S-D-M). L'enfant doit rappeler immédiatement cette suite de lettres. L'épreuve de report partiel suit le même principe si ce n'est qu'une barre verticale apparaît à l'emplacement d'une des lettres après la disparition des cinq lettres. L'enfant doit alors rappeler la lettre présente à l'emplacement indiqué. Les performances des enfants dyslexiques sont comparées à celles d'enfants témoins normolecteurs de même âge réel et d'enfants de même niveau de lecture. Les résultats obtenus valident la présence d'un trouble visuo-attentionnel, associé ou non à un trouble phonologique chez les plupart des enfants dyslexiques. Plus précisément, les résultats indiquent que la performance en lecture est fortement corrélée non seulement avec des compétences phonologiques, mais aussi avec les mesures d'empan VA. L'empan VA, tout comme les habiletés phonologiques, rend compte d'une part importante de la variance unique en lecture. De plus, la proportion d'enfants dyslexiques présentant un trouble visuo-attentionnel serait au moins aussi élevée que la proportion d'enfants démontrant un trouble phonologique. Plus de 60% des dyslexiques présentent un trouble unique soit visuo-attentionnel soit phonologique ; 20% ne présentent aucun des deux types de ces troubles et peu d'enfants présentent les deux types de déficits simultanément. Ces données suggèrent qu'un déficit visuo-attentionnel serait une alternative probable aux troubles spécifiquement phonologique pour expliquer les déficits cognitifs de certains dyslexiques.

L'ensemble des recherches évoquées met en exergue les aspects purement visuo-perceptifs et attentionnels de ce trouble et propose une hypothèse alternative à l'explication phonologique des troubles en lecture.

.2.2.3 Hypothèse d'un trouble neuro-anatomique à l'origine des déficits

Des explications neuro-anatomiques ou neuro-fonctionnelles sont également avancées pour expliquer les difficultés comportementales observées dans les hypothèses présentées précédemment.

Une hypothèse souvent discutée est celle d'un déficit du traitement visuel causé par une anomalie des voies neuronales de type magnocellulaire qui entrainerait des difficultés au niveau du traitement des informations mouvantes et changeantes (Cornelissen, Richardson, Mason, Fowler, & Stein, 1995 ; Visser, Boden, & Giaschi, 2004), du traitement du contraste et de la stabilisation du regard (Eden, Stein, Wood, & Wood, 1994). Ce dysfonctionnement expliquerait les erreurs telles que des confusions entre des lettres symétriques (p-q) ou visuellement similaires (m-n) ou une difficulté à percevoir les mots dans leur globalité.

Selon certains auteurs, le déficit magnocellulaire en vision et le déficit auditif ne seraient que l'expression d'un même trouble général du traitement temporel des informations rapides. Les troubles visuels (issus du dysfonctionnement de la voie magnocellulaire) et les troubles phonologiques (consécutifs aux connexions défectueuses dans l'hémisphère gauche) seraient tous les deux issus d'un déficit de la résolution temporelle des informations auditives. Les individus présentant un trouble dyslexique auraient une perception erronée de la durée d'événements et n'arriveraient pas à discriminer les sons brefs constitutifs de la parole humaine (Habib, 2000 ; Veuillet, Magnan, & Ecalle, 2004).

Une hypothèse d'un trouble cérébelleux postule que le cervelet, qui s'active lors du contrôle, de la régulation motrice, de l'organisation temporelle des activités complexes et de l'automatisation des procédures, serait impliqué dans les difficultés phonologiques et orthographiques des dyslexiques (Fawcett & Nicolson, 1999 ; Nicolson & Fawcett, 1999).

Enfin, des hypothèses neuro-anatomiques suggèrent des malformations de type dysplasies (disposition anarchique au sein des couches cellulaires), ectopies (amas de milliers de neurones en position aberrante à peine à un millimètre de la surface du cortex) et des troubles de transfert d'informations entre les deux hémisphères (Habib, 2002) ou au niveau des connexions fonctionnelles entre les aires du langage (Paulesu et al., 2001).

.2.2.4 Implication de la capacité de gestion des informations en MdT

Considérant que la lecture est une activité complexe et cognitivement coûteuse, surtout dans les premières années d'apprentissage, des chercheurs ont étudié le rôle de la MdT et du CE dans les difficultés en lecture et plus particulièrement au niveau de la compréhension du message écrit.

De nombreuses recherches confirment le rôle de la MdT dans les apprentissages en général (Gathercole, Alloway, Kirkwood et al., 2008) et son implication dans les difficultés d'apprentissage de la lecture en particulier (Montgomery, 2003). Ainsi, plusieurs études montrent que les faibles lecteurs obtiennent des performances inférieures à celles des normolecteurs dans les tâches de MdT ou indiquent des corrélations significatives entre des tâches de MdT et l'efficience en lecture des enfants (Demont & Botzung, 2003 ; Roebers & Schneider, 2005). Plus spécifiquement, au niveau de la compréhension écrite, les comparaisons entre enfants possédant différents niveaux de compréhension montrent que les faibles compreneurs sont moins performants dans différentes habiletés dépendantes des capacités mnésiques et qui peuvent affecter la construction d'une représentation cohérente de la signification du texte (Oakhill, Hartt, & Samols, 2005). Ainsi, ces faibles compreneurs ont des difficultés à mettre en relation les phrases afin d'établir une cohérence locale et à intégrer de nouvelles informations dans la représentation existante pour établir une signification globale (Cain & Oakhill, 1999 ; Cain, Oakhill, Barnes, & Bryant, 2001). De même, ils n'arriveraient pas à réaliser des inférences (Oakhill, 1984) et à utiliser les indices contextuels pour interpréter le texte (Nation & Snowling, 1998). Ces difficultés ne seraient pas la conséquence d'une mémoire à court terme défaillante, les capacités de stockage passif ne corrèlent pas avec les performances aux tâches de compréhension (De Beni & Palladino, 2000 ; Oakhill, Yuill, & Parkin 1986 ; Swanson & Berninger, 1995 ; Yuill, Oakhill, & Parkin, 1989), mais d'une difficulté à réaliser des tâches qui exigent le stockage et le traitement d'informations linguistiques ou numériques (de Beni, Palladino, Pazzaglia, & Cornoldi, 1998 ; Seigneuric, Ehrlich, Oakhill, & Yuill, 2000 ; Swanson & Berninger, 1995). Leather et Henry (1994) montrent par exemple, que la tâche d'empan complexe de MdT « *listening span* », qui consiste à juger l'exactitude de phrase entendues tout en mémorisant le dernier mot de chaque phrase, explique la variance unique dans le niveau de compréhension en lecture plus que des mesures de stockage à court terme comme l'empan de mot.

Reste à déterminer la nature de ce trouble de MdT. « Dans le cas de la lecture, l'efficacité peut tenir à l'accroissement des ressources cognitives mais aussi à la libération partielle de

certaines d'entre elles du fait de l'automatisation de certains traitements qui peuvent rester particulièrement coûteux pour certains enfants » (Gaonac'h, 2005, p. 49). Ainsi, plusieurs hypothèses divergentes sont apportées, la première s'exprime en terme de faible capacité de MdT, la seconde en terme de trouble verbal spécifique et une troisième plus récente, en termes de trouble général de CE.

.2.2.4.1 Hypothèse d'une faible capacité générale de la MdT

Certains auteurs postulent que les difficultés des faibles lecteurs proviendraient d'abord d'un déficit au niveau de la capacité de la MdT ou des ressources attentionnelles (quantité d'activation) de la MdT, qui ne leur permettrait pas de compenser la charge liée à la lenteur d'identification des mots (Bayliss, Jarrold, Baddeley, & Leigh, 2005). Cette insuffisance compromettrait le maintien du but de la tâche, des informations traitées, des résultats intermédiaires de l'activité de lecture ainsi que leur intégration avec des informations antérieures. Cette hypothèse s'appuie notamment sur le modèle de capacité générale décrit par Turner et Engle (1989). Selon ces auteurs, il existe une capacité générale de mémoire de travail qui permet le stockage et le traitement simultané des informations. Elle serait indépendante du domaine et ne serait pas affectée par les variations dans l'efficacité du traitement. Engle et ses collègues constatent ainsi que les empans aux tâches d' « *operation span* » et aux tâches d'empan complexe numérique corrèlent avec le niveau de compréhension en lecture. Cet effet persiste même lorsque les temps de traitement sont retirés de l'analyse (Conway & Engle, 1994 ; Engle, Cantor, & Carullo, 1992). Ce dernier résultat suggère que l'empan complexe ne dépend pas uniquement de l'efficacité des traitements ; la capacité à réaliser une activité complexe dépendrait des ressources « d'activation générale » (communes à l'ensemble des activités cognitives). Selon cette hypothèse, l'amélioration des performances de l'apprenti-lecteur dépendrait de l'accroissement des ressources cognitives avec l'âge.

.2.2.4.2 Hypothèse d'un trouble spécifique : incidence des difficultés de traitement verbal sur le fonctionnement de la MdT

Cette hypothèse interprète le lien entre faibles performances aux tâches de MdT et difficultés en lecture comme un déficit des faibles lecteurs à maintenir une représentation phonologique des éléments traités en attendant de pouvoir les intégrer dans une représentation plus globale du texte qui lui donnera sens. L'hypothèse d'un trouble spécifique s'appuie sur l'idée que l'apprenti-lecteur n'est pas capable d'identifier, de

stocker et de manipuler explicitement et simultanément les composantes phonologiques des unités linguistiques. Elle s'appuie également sur de nombreuses recherches (qui se fondent sur le modèle de MdT proposé par Baddeley, 1986) démontrant que la BP de la MdT est fortement impliquée dans l'activité de lecture. Ces études mettent en exergue l'incidence du matériel verbal (*vs*. non verbal) sur les performances des lecteurs d'âge lexique différent.

Cette hypothèse suppose que l'efficience en décodage aurait un effet sur la possibilité de stockage. Elle repose sur le postulat d'un partage des ressources entre le traitement et le stockage (*resource-sharing hypothesis* ; Baddeley & Hitch, 1974 ; Daneman & Carpenter, 1983). En partant du principe que la MdT possède une capacité limitée (Baddeley, 2000), les traitements de décodage qui ne sont pas suffisamment maîtrisés et automatisés mobiliseraient une grande partie des ressources qui ne seraient alors plus disponibles pour les opérations de stockage (Conway, Kane, & Engle, 2003 ; Kane & Engle, 2002 ; Towse, Hitch, & Hutton, 1998). Du point de vue du modèle d'activation de Cowan (1995), la diminution des ressources empêcherait le déplacement du focus attentionnel sur de nouveaux items à mémoriser. Il deviendrait alors difficile pour le lecteur de réactiver et de maintenir les éléments nécessaires au décodage et à la compréhension d'un mot ou d'une phrase.

Daneman et Carpenter (1980) considèrent que, dans le cadre de l'activité de lecture, la capacité de MdT dépend de l'efficacité des traitements et des caractéristiques du matériel employé dans la tâche. Elles sont les premières à démontrer l'effet de la charge cognitive imposée par la lecture de phrases sur la MdT, en utilisant une tâche d'empan en lecture chez des adultes. Elles comparent les performances des faibles et bons lecteurs à traiter et à stocker les informations nécessaires à la compréhension d'un texte ; performances mesurées par le biais de la tâche de *Reading Span.* L'épreuve consiste à traiter des phrases présentées. Les participants doivent lire une série de phrases en jugeant l'exactitude de l'information pour certaines d'entre elles. Simultanément ils doivent mémoriser le dernier mot de chaque phrase afin de les rappeler à la fin de la série (séries de 2 à 6 phrases). Selon Daneman et Carpenter (1980), plus les individus sont performants en lecture, plus ils traitent rapidement les phrases et plus la quantité de stockage restant disponible en MdT est importante et permet de stocker temporairement des informations. Elles observent que les performances à la tâche de *Reading span* sont corrélées aux scores obtenus aux épreuves de compréhension et de lecture, autrement dit, que la capacité des participants à rappeler le

dernier mot des phrases varie en fonction de l'efficience des procédures d'identification des mots. De ce point de vue, l'automatisation des différentes procédures de décodage serait essentielle pour permettre à l'apprenti-lecteur de libérer des ressources cognitives qui pourraient alors être dévolues aux activités de stockage de l'information. Les différences individuelles de capacité en MdT seraient déterminées par des différences individuelles dans les habiletés spécifiques verbales de lecture. De ce point de vue, la MdT est dépendante du contenu (*content-dependant*).

Différents travaux montrent que la BP jouerait un rôle central dans le décodage en lecture. Lors d'une lecture par assemblage, elle permettrait de maintenir temporairement en mémoire les formes sonores d'un mot avant de pouvoir toutes les assembler.
Dans un premier temps, certains auteurs mettent en avant le lien entre le développement de compétences en lecture et les capacités de maintien du matériel verbal en MdT (Ellis Weismer et al, 2000 cités par Montgomery, 2003 ; Palladino & Cornoldi, 2004 ; Shankweiler et al., 1995). Ces difficultés de mémorisation proviendraient d'une utilisation non adéquate du code phonologique dans la BP ou d'une incapacité à répéter mentalement l'information verbale stockée dans la BP. Ainsi, Gathercole et Baddeley (1993) montrent que les performances en mémoire immédiate verbale (répétition de pseudo-mots) à 4 ans sont corrélées avec le niveau de vocabulaire entre 4 et 5 ans. En 1993, ces mêmes auteurs montrent que les enfants d'âge préscolaire qui répètent la plus longue série de pseudo-mots, sont ceux qui apprennent le mieux des mots inconnus et qui affichent, un an plus tard, le niveau d'acquisition scolaire le plus élevé.
Cette difficulté à maintenir une information verbale en MdT est corroborée par le faible effet de similarité phonologique observé chez les faibles lecteurs, ce qui laisse supposer que la répétition mentale et l'utilisation du codage phonologique ne sont pas suffisamment efficaces chez eux. Mark, Shankweiler, Liberman, et Fowler (1977) comparent la mémorisation de listes composées de mots présentant des rimes identiques à des listes de mots sans rime commune. Ils montrent que les faibles lecteurs ont un moins bon accès au code phonologique et qu'une plus grande similarité ne constitue pas (ou peu) de gêne lors de la mémorisation d'une liste de mots. De la même manière, Kibby, Marks, Morgan, et Long (2004) évaluent les performances d'enfants faibles lecteurs et normolecteurs de 9 à 13 ans à des tâches mesurant les capacités de la BP, du CVSP et du CE. Les capacités de la BP sont mesurées grâce à une tâche d'empan de mots où les expérimentateurs font varier : la longueur de la liste (3, 5, or 7 mots), le coût de la tâche (nul, modéré ou élevé), la

longueur des mots (une ou trois syllabes) et la similarité phonologique (mots phonologiquement similaires ou non). Les capacités du CVSP sont mesurées grâce à une tâche d'empan visuo-spatial où les participants doivent rappeler la position de points sur un écran. La longueur, le coût et la similarité du matériel sont manipulés. Le CE est mesuré par l'intermédiaire d'une double tâche : tâche de MdT verbale ou visuelle plus tâche motrice qui consiste à taper une phrase sur un clavier informatique avec la main non dominante, un son retentit lorsqu'une erreur est commise. En condition de charge nulle, la tâche de MdT est présentée seule ; en charge modérée, les participants doivent réaliser les deux tâches simultanément ; en condition de charge élevée, les participants doivent réaliser les deux tâches ; cependant, un signal sonore (diffèrent de celui signifiant une erreur) peut retentir, qui oblige alors l'enfant à taper son texte à l'envers. Enfin, une tâche mesurant la vitesse d'articulation est présentée dans laquelle il s'agit de répéter un mot dix fois le plus vite possible. Les résultats démontrent que les faibles lecteurs obtiennent des performances similaires à celles des normolecteurs aux tâches visuo-spatiales, de CE et de vitesse d'articulation mais qu'ils présentent une détérioration des performances aux tâches de traitement phonologique, avec toutefois un mécanisme de répétition subvocale qui fonctionne normalement. Kibby et al. (2004) montrent que l'effet de similitude phonologique est présent chez tous les lecteurs lorsque les listes sont courtes, mais confirment, comme dans les études précédentes, que cet effet diminue chez les faibles lecteurs lorsque la longueur de la liste augmente.

L'implication d'une composante verbale de la MdT dans le décodage en lecture est également étudiée par le biais d'études réalisées auprès de dyslexiques. Katz, Shankweiler, et Liberman (1981) comparent les performances d'enfants dyslexiques à celles d'enfants bons lecteurs de même âge chronologique à deux tâches de mémoire, l'une nécessitant de mémoriser visuellement des objets communs (condition verbale), l'autre des figures abstraites (condition non verbale). Les résultats obtenus indiquent que la première épreuve permet de discriminer les deux groupes de lecteurs mais pas la seconde. Les enfants dyslexiques notamment échouent aux tâches d'empan de mots phonologiquement proches. Cependant, ils obtiennent des performances plus proches de celles du groupe contrôle de même âge aux tâches d'empan de pseudo-mots et de chiffres qui sont moins sensibles aux traitements phonologiques de la BP. Des conclusions similaires sont apportées par plusieurs études (Seigneuric et al., 2000 ; Swanson, Ashbaker, & Lee, 1996 ; Swanson &

Berninger, 1995). Elles semblent confirmer que les performances des faibles lecteurs ne diffèrent de celles des normolecteurs que lorsque la tâche porte sur un matériel verbal et non lorsque la tâche exige des traitements visuo-spatiaux.
Les enfants et adolescents dyslexiques auraient un empan verbal réduit ainsi que des difficultés à apprendre des mots nouveaux et à prononcer des mots peu fréquents ou des non mots (Rack, Snowling, & Olson, 1992 ; Shankweiler, 1999).

La composante phonologique de la MdT serait également importante dans la compréhension de texte (Alegria & Mousty, 2004 ; Bowey, Cain, & Ryan, 1992 ; Conway & Engle, 1994 ; Hansen & Bowey, 1994 ; Seigneuric et al., 2000). En effet, si le lecteur rencontre un mot nouveau dont la signification lui est inconnue, la BP lui permet de stocker temporairement ce mot en attendant de pouvoir lui attribuer une signification à partir du contexte. Dans le cas de phrases longues, la BP améliore la compréhension en maintenant en mémoire les premiers éléments de la phrase jusqu'à ce qu'une représentation sémantique soit constituée. Une capacité en MdT limitée entraînerait une perte d'informations et une moindre compréhension du texte. Elle empêcherait également l'intégration textuelle d'informations essentielles comme le traitement des pronoms (Seigneuric & Megherbib, 2008). De même, les enfants possédant un bon empan verbal de MdT posséderaient également une meilleure compréhension des textes, une bonne capacité à faire des inférences et à intégrer les informations (Perfetti & Goldman, 1976).

Ces études tendent donc à interpréter les difficultés en lecture comme la conséquence d'une MdT verbale non suffisamment efficace (d'où un déficit de traitement verbal en mémoire) : les faibles lecteurs-compreneurs auraient des troubles qui resteraient confinés aux aspects verbaux de la mémoire alors que les aspects visuo-spatiaux et de CE seraient intacts (Gould & Glencross, 1990 ; Nation, Adams, Bower-Crane, & Snowling, 1999 ; Swanson & Berninger, 1995).

.2.2.4.3 Hypothèse d'un trouble du CE : incidence sur la régulation des traitements en MdT

Cependant, certaines recherches sont en contradiction avec ces études (Cain, Oakhill, & Bryant, 2000). Elles démontrent que la BP mais également le centre exécutif sont des prédicteurs importants des changements en lecture liés à l'âge (Swanson & Howell, 2001)

et que les capacités de CE sont souvent plus à même d'expliquer les difficultés en lecture que la distinction entre traitements verbaux et non verbaux (Bosse et al., 2007 ; Facoetti, Lorusso, Paganoni, Umiltà, & Mascetti, 2003). Depuis le début des années 90, une explication en terme de CE s'impose (Gernsbacher & Faust, 1991 ; Gernsbacher & Faust ; Gernsbacher et al. 1990). Cette hypothèse amène à considérer le fonctionnement global de la mémoire, indépendamment des traitements phonologiques spécifiques mis en jeu dans la lecture. Les faibles lecteurs souffriraient non pas d'un déficit spécifique d'autorépétition, mais d'un trouble général touchant le contrôle de l'activité et l'utilisation de l'autorépétition de la BP notamment. Ils auraient des difficultés à passer facilement et rapidement des opérations de traitement à celles de stockage et inversement. Comme le signalent Swanson et Siegel (2001, p.1 ; notre traduction) « *La BP n'est pas le seul déficit de MdT expliquant les difficultés dans la réalisation d'activités complexes (comme la compréhension écrite). (...) Dans les situations exigeant de fortes demandes de traitement (par exemple le maintien des informations appropriées face à la distraction ou l'interférence), les enfants en difficultés d'apprentissage obtiennent des performances plus faibles que les enfants de même âge chronologique.*». La procédure de compréhension est particulièrement difficile à mettre en œuvre. Elle fait intervenir le stockage temporaire et la mise à jour des informations « *on-line* ». Pour saisir la signification globale du texte, le lecteur réalise des inférences et met en lien les informations lues avec ses connaissances en MLT. La complexité évidente de cette procédure de compréhension a tout naturellement conduit les chercheurs à s'intéresser au rôle de la MdT et du contrôle dans cette dimension de la lecture (son implication dans le décodage en lecture ne fut étudiée que plus tard : se reporter au chapitre 3).

Ainsi, Swanson (1999) propose une étude visant à déterminer les liens entre les deux composantes essentielles de la mémoire de travail (le centre exécutif et la BP) et les troubles de la compréhension en lecture chez les enfants dyslexiques de 11-12 ans. Il teste les modèles défendus notamment par Crain et al. (1990), qui postulent que la BP joue un rôle plus important que le centre exécutif dans la compréhension de texte. Selon ces auteurs, les difficultés des faibles lecteurs s'expliqueraient par un déficit au niveau de la BP, qui créerait un barrage empêchant les informations textuelles d'accéder à un niveau supérieur d'analyse. Le centre exécutif n'a ici qu'un rôle de stockage et de « passeur », il ne sert qu'à relayer les informations d'un bas niveau d'analyse (analyse phonologique) vers des processus de traitement (analyse des mots) qui vont permettre d'extraire du sens.

La précision et la vitesse avec laquelle les informations y accèdent seraient corrélées avec le niveau de compréhension des enfants dyslexiques ou faibles lecteurs. Ainsi, selon cette conception, la relation entre compréhension en lecture et centre exécutif dépendrait nécessairement de la BP. Une conception opposée met en avant le rôle primordial du centre exécutif dans la compréhension de texte : parce que des études montrent que les bons lecteurs possèdent une capacité de MdT[3] plus élevée que les faibles lecteurs, certains auteurs en ont conclu que les bons lecteurs possèdent des processus exécutifs plus performants leur permettant de mieux comprendre ce qu'ils lisent ; or, selon Swanson, cette forte capacité en MdT n'indique pas que l'activité de lecture soit entièrement et spécifiquement sous la dépendance de la MdT. Afin de tester ces deux modèles contradictoires, Swanson constitue des groupes de lecteurs en se fondant sur leurs performances en décodage, reconnaissance et compréhension en lecture. Il compare ainsi les performances de sujets dyslexiques, des sujets de même niveau de lecture et de même âge chronologique dans des tâches de fonctions exécutives (empan de phrase, empan visuo-spatial, *counting span*), de mémoire à long terme (choix orthographique, choix sémantique, vocabulaire) et de BP (détection de phonèmes, lecture de chiffres, choix phonologique, répétition de pseudo-mots). Les résultats obtenus indiquent que par rapport aux sujets de même âge chronologique, les dyslexiques ont en général des performances moindres au niveau de la BP, du centre exécutif, et de la mémoire à long terme et que par rapport aux sujets de même niveau de lecture, les enfants dyslexiques obtiennent des performances supérieures aux tâches de fonctions exécutives. Les résultats des analyses de régressions hiérarchiques montrent que la BP contribue significativement à la compréhension en lecture, mais que le centre exécutif joue un rôle tout aussi prépondérant. Aucun de ces deux facteurs ne semble être statistiquement plus capital pour prédire et expliquer les troubles de la compréhension en lecture. De plus, il semblerait que la MLT et la BP modifient toutes les deux, et dans les mêmes proportions, l'influence des processus exécutifs sur la compréhension en lecture. Des processus autres, relatifs aux processus exécutifs et dépassant la contribution de ces deux systèmes, pourraient également prédire les différences de compréhension en lecture. Cependant, si les mauvais lecteurs souffrent bien d'une défaillance du centre exécutif, ces troubles semblent ne pas être spécifiques aux problèmes de compréhension en lecture.

[3] Ici la MdT est entendu comme un système intégrant un centre exécutif.

Par la suite, Swanson & Ashbaker (2000) corroborent cette hypothèse en proposant à des dyslexiques âgés de 15 ans et à des lecteurs de même âge chronologique ou de même niveau en lecture, des tâches de vitesse d'articulation (lire une liste de mots le plus rapidement possible), des tâches de MCT et de MdT. Les tâches de MCT comprennent des tâches de mémoire immédiate de chiffes et de mots, une tâche de « Tri Simple » et une tâche de « Tri simple + localisation ». Dans la tâche de tri simple, l'expérimentateur présente à l'enfant des cartes (de 2 à 10) sur lesquelles sont imprimées des formes abstraites. L'enfant doit mémoriser la position de chaque carte, pour les replacer ensuite dans le même ordre. La tâche de « Tri simple + localisation » obéit au même principe mais exige en plus de se remémorer l'emplacement de formes (« * » et « - ») positionnées sur certaines des cartes. Les tâches de MdT sont constituées de deux tâches verbales : le « *Sentence Span* » de Daneman et Carpenter (1980) et une tâche d' « *Auditory Digit-Sequencing* » qui consiste à rappeler dans l'ordre les informations numériques présentées dans une série de propositions orales. Deux tâches visuelle et spatiale sont également présentées où l'enfant doit rappeler la position de séquences de points sur une matrice ou la direction d'items sur une carte. Les auteurs montrent que les performances aux tâches de MdT et de compréhension en lecture sont indépendantes de la contribution de la MCT et de la vitesse d'articulation de la BP. Ces résultats corroborent l'idée que les difficultés de compréhension des dyslexiques sont indépendantes des capacités de la BP et qu'elles reflètent davantage un déficit du CE.

D'autres recherches étudient le rôle d'une composante exécutive particulière dans la compréhension écrite. Elles montrent que les faibles compreneurs ont des difficultés à contrôler efficacement l'information activée, soulignant ainsi le lien entre lecture et la composante exécutive de mise à jour (Carreti, Cornoldi, DeBeni, & Romano, 2005 ; De Beni & Pazzaglia, 2001 ; Palladino, Cornoldi, De Beni, & Pazzaglia, 2001 ; Passolunghi, Cornoldi, & De Liberto, 1999). Des études plus nombreuses confirment surtout la présence de mécanismes inhibiteurs déficients, qui rendent les faibles compreneurs moins capables d'éliminer les informations qui ne sont plus appropriées en MdT (Barnes, Faulkner, Wilkinson, & Dennis, 2004 ; de Beni et al., 1998 ; Gernsbacher, 1993). Ainsi, Gernsbacher et Faust (1991) montrent que la composante exécutive d'inhibition joue un rôle essentiel dans l'accès aux significations de mots et est à la base de différences de compréhension en lecture chez l'adulte. Comme nous l'avons mentionné plus haut, lorsqu'un individu entend ou lit un mot, celui-ci active en MLT un certain nombre d'informations et de significations

potentielles. Les contraintes lexicales, sémantiques, syntaxiques (etc.) vont moduler l'activation de ces différentes informations jusqu'à ce que la signification la plus pertinente soit la plus fortement activée. Cette signification sera alors accessible au lecteur qui l'incorporera dans sa structure mentale. Or, les faibles compreneurs inhiberaient plus difficilement les significations non pertinentes d'homonymes (par exemple le mot « pique » est ambigu car il peut désigner une carte à jouer et un outil), les homophones incorrects (par exemple mètre et maître), les éléments fortement typiques d'une scène visuelle automatiquement activés même lorsqu'ils sont absents de la scène et l'inhibition de mots superposés sur des images ou inversement. Les auteurs montrent que lorsque les participants lisent une phrase du type : « Il a creusé avec le pique », puis le mot test ambigu « as » et qu'ils doivent juger si ce mot est compatible avec la signification de la phrase précédente, alors, les faibles compreneurs font plus d'erreurs et ont besoin de davantage de temps pour rejeter ce mot test « as » (comparativement à une situation non ambigüe où le mot cible est sans rapport (ex « pelle »). La différence dans la suppression des significations inappropriées des mots ambigus entre bons et faibles compreneurs sera d'autant plus importante que le délai entre la phrase et le mot cible sera court.
De même, Merrill, Sperber, et McCauley (1981) montrent, en utilisant une tâche Stroop modifiée, qu'à 10 ans les bons compreneurs suppriment plus efficacement les significations non pertinentes des mots que les faibles compreneurs de même âge. Yuill et al. (1989) indiquent que les faibles décodeurs-compreneurs de 8-9 ans conservent en mémoire ces informations distractrices et inutiles. Cain (2006) rejoint cette conclusion en démontrant que dans une tâche de complètement de phrases, des faibles compreneurs de 9-10 ans présentent des difficultés à inhiber les informations non pertinentes qui ont été présentées quelques instants auparavant dans une tâche de MdT. Pour De Beni et Palladino, (2000), ces enfants ont tendance à se rappeler des informations qui sont sans rapport avec le sujet principal d'un passage qu'ils ont lu et présentent un plus grand nombre d'intrusions lors de tâches de rappel.

Une conséquence parallèle à ce déficit de CE général atteignant la composante d'inhibition est la perte plus rapide de l'accès aux informations récemment traitées (Gernsbacher et al., 1990). Comprendre un texte nécessite de mettre en place en MdT des structures, de les créer et de les modifier au fil du texte pour aboutir à une compréhension globale du texte. Dans ces structures mentales, les informations appropriées voient leur activation augmenter alors que celle des informations non pertinentes est supprimée. Il s'agit donc

d'amorcer régulièrement de nouvelles structures ; ce faisant, les informations de la première structure deviennent plus difficilement accessibles (phénomène présent quel que soit le niveau en lecture des individus). Selon les auteurs, les faibles compreneurs perdent l'accès aux informations récemment comprises car ils changent trop fréquemment et de manière intempestive de structures. Puisqu'ils suppriment moins efficacement les informations non pertinentes, les faibles lecteurs-compreneurs ont tendance à construire de nouvelles structures.

➡ En résumé, malgré le nombre de travaux portant sur le lien entre MdT et lecture, aucun ne permet de trancher en faveur de l'une ou l'autre des hypothèses antagonistes présentées (Savage, Lavers, & Pillay, 2007). Plusieurs explications à cela : les modèles de mémoire de référence ne sont pas toujours les mêmes d'une étude à l'autre ; les méthodologies utilisées diffèrent (une ou plusieurs tâches de MdT ou mesurant des traitements cognitifs complexes portant sur un matériel verbal, numérique, ou non verbal…) ; les critères de sélection de la population divergent (faibles lecteurs ou dyslexiques, QI variable : minimum de 80 ou 85 ou non contrôlé). Enfin, la définition des différents concepts et notamment celui de CE ne fait pas l'objet d'un consensus entre chercheurs (nous reviendrons sur ces aspects dans la partie qui suit).

Chapitre 2 : Caractéristiques et rôle du centre exécutif dans différentes conceptions de MdT

Résumé :
Ce chapitre précise comment le centre exécutif, en tant que système permettant la mise en œuvre d'un contrôle lors de la réalisation de tâches cognitives complexes, est conçu dans différents modèles de mémoire de travail (structuraux ou d'activation). Son rôle, sa capacité et ses limites ne sont pas définis de la même manière en fonction des modèles considérés. Ainsi, le modèle modulaire de Baddeley (1986, 2000) particularise le stockage verbal et visuo-spatial du module de traitement et du contrôle de l'activité. La MdT est conçue comme structurale. A l'inverse, les modèles d'activation de Cowan (1995) ou de Kane et Engle (2004) sont plus généraux et sont basés sur la notion d'activation et d'inhibition.

.1 Introduction

« Les mécanismes de contrôle cognitif entretiennent avec ce qu'il est convenu d'appeler la mémoire de travail des relations privilégiées » (Camus, 1996, p. 99). La MdT est un gestionnaire qui permet à l'individu de s'adapter à toutes les situations même les plus complexes, en maintenant disponibles toutes les informations pertinentes, en adaptant et réajustant les différents plans d'action. Aussi dans ce chapitre, pour comprendre le rôle du CE nous nous appuierons sur les modèles de MdT[4] qui constituent les conceptions de référence de la plupart des travaux développementaux portant sur les relations entre MdT et lecture ou CE et lecture. Nous nous intéresserons aux raisons qui peuvent expliquer les limites de ces traitements temporaires. Ces limites sont nombreuses, elles peuvent dépendre de la charge imposée par la nature du matériel traité (traitements plus ou moins automatisés, complexes, rapides), de la régulation des traitements et/ou de la sélection des informations assurés par l'instance appelée centre exécutif.

.1.1 *Organisation et composantes du modèle*

Suite aux premiers modèles proposés par Baddeley et Hitch (1974) puis Baddeley (1986), Baddeley propose en 2000, un modèle à composantes multiples clairement définies. La

[4] Tous les modèles présentés dans ce chapitre ne sont pas appelés « Mémoire de Travail » par les auteurs. Mais pour simplifier, nous emploierons ce terme pour désigner un espace de travail dans lequel les traitements en cours sont assurés.

rétention temporaire et la manipulation de l'information, lors de différentes activités cognitives, reposent sur le fonctionnement coordonné d'un ensemble de sous-composantes : un centre exécutif qui coordonne trois sous-systèmes : la Boucle Phonologique (BP), le Calepin Visuo-Spatial (CVSP) et le *Buffer* Episodique (BE) (figure 3).

Le centre exécutif ne possède pas de fonction de stockage mais une fonction attentionnelle. Il a pour mission de gérer la sélection, la coordination et l'exécution des activités et le contrôle de l'attention. La BP est responsable de la manipulation d'informations reposant sur le langage. Le CVSP est une composante spécialisée dans le traitement de l'information visuelle et spatiale, jouant un rôle fondamental dans l'orientation spatiale et dans la planification des tâches spatiales. Le BE (aussi appelée mémoire tampon, *episodic buffer* ou *back-up store*) est une instance de stockage supplémentaire. Il permet d'intégrer des informations de formes différentes (phonologiques, visuelles, etc.) et/ou issues de différents systèmes (entre la BP et le CVSP ou entre la MdT et la MLT). Ce buffer permet par exemple, de décoder un mot grâce à l'activation de connaissances anciennes (connaissance des correspondances grapho-phonétiques) présentes en MLT.

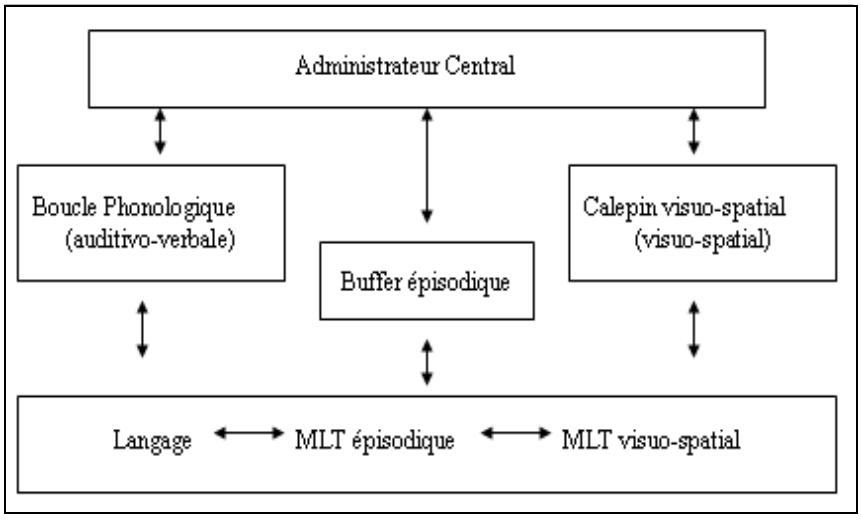


Figure 3 : Modèle de MdT de Baddeley (2000)

Ces quatre composantes de la MdT telles qu'elles sont définies sont présentées plus en détails dans les parties suivantes. Nous nous attacherons à détailler leur statut ainsi que les différentes études qui précisent leur rôle au sein de la MdT.

.1.2 *Fonctionnement des composantes autres que le CE*

❖ La Boucle Phonologique

La Boucle Phonologique est sans aucun doute la composante du modèle qui a été le plus largement étudiée. Elle est composée de deux éléments : le réservoir phonologique qui permet de maintenir sous forme de sons les informations verbales et le processus de contrôle (ou répertoire articulatoire) qui joue un rôle plus actif en prenant en charge le traitement des informations et leur auto-répétition et permet l'enregistrement du code phonologique dans le réservoir phonologique. L'existence de cette boucle est démontrée par plusieurs effets :

- l'effet de similarité phonologique : Baddeley (1966, cité par Baddeley, 1990) montre qu'il est plus difficile de se souvenir d'une suite de lettres présentant des caractéristiques articulatoires semblables. La liste PGTVCD est plus difficile que la liste RHXWYZ. Le stockage passif des items entendus puis leur rappel nécessitent une distinction parmi les traces en mémoire : plus les traces sont similaires, plus elles sont difficiles à distinguer et plus le rappel est difficile et risque de conduire à des erreurs. Ces études appuient l'idée selon laquelle les informations entrant dans la boucle sont phonologiquement encodées (Conrad & Hull, 1964).
- l'effet d'écoute inattentive (Colle & Welsh, 1976) : le rappel sériel de mots présentés visuellement ou auditivement est altéré par la présentation simultanée d'un matériel auditivo-verbal. Les distracteurs pénètrent dans la BP l'encombrent inutilement et troublent la mémorisation et le traitement des informations verbales.
- l'effet de longueur des mots : plus la durée de prononciation des mots présentés est longue, plus l'empan de mémoire immédiate est faible. Le rappel immédiat de mots longs comme ALLUMETTE-ORDINATEUR-TELEVISION est moins bon que celui de mots courts comme BUS–MAIN–RAT. Les mots contenant plus de syllabes prennent davantage de temps pour être récapitulés par la procédure de répétition subvocale (Baddeley, Grant, Wight, & Thomson, 1975).
- l'effet de suppression articulatoire : lorsqu'un individu doit réaliser une tâche initiale sollicitant en partie la BP, tout en répétant rapidement et à voix haute une syllabe, un mot ou une série de chiffres, les performances de mémoire à court terme s'en trouvent diminuées. La répétition itérative d'un son non pertinent charge artificiellement la boucle et empêche la réalisation de la tâche initiale (Baddeley & Hitch, 1974). Cette tâche interférente fait disparaître l'effet de longueur de mot (Colle & Welsh, 1989).

La BP permet donc le traitement du langage en fournissant un système de soutien qui fonctionne en temps réel et joue notamment un rôle important dans l'apprentissage de la lecture. Elle contribue à l'activité de lecture dans la mesure où elle permet au lecteur de se souvenir des règles de conversion graphème-phonème, de se rappeler des sons et des syllabes qu'il vient de lire pour pouvoir décoder. Gathercole et Baddeley (1990) montrent que des enfants en difficulté de lecture, avec une intelligence, une audition et une vitesse d'articulation normale, sont particulièrement gênés lors de tâches qui nécessitent de répéter des non mots peu familiers. Ces résultats indiquent que la BP est un pré-requis cognitif qui permet le développement et l'acquisition du vocabulaire à long terme. Une altération de son développement aurait des conséquences néfastes sur l'apprentissage et la compréhension de la lecture. « *La boucle phonologique apparaît donc comme étant une composante importante pour l'apprentissage de la parole, de la lecture et de la compréhension du langage* » (Baddeley, 1990, p.109).

- Le Calepin Visuo-Spatial

Le CVSP quant à lui, est impliqué dans le maintien à court terme et la manipulation des informations visuelles et spatiales et des images mentales (Logie, 1986 ; Logie & Pearson, 1997). Son fonctionnement repose sur un système de stockage visuel passif et une procédure de récapitulation spatiale. Son existence, séparée de la BP est établie sur la base du paradigme de double tâche (Baddeley & Hitch, 1994) comme par exemple les tâches de poursuite oculaire (*tracking pursuit)* et de suppression articulatoire. Puisque deux tâches de nature différente peuvent être effectuées en même temps, sans provoquer d'effets négatifs sur les performances de l'une ou de l'autre, alors des traitements différents seraient mis en jeu (Baddeley, Grant et al., 1975 ; Hegarty, Shah, & Miyake, 2000 ; Logie, 1986).

Deux effets expérimentaux rendent compte de la structure fonctionnelle du CVSP : l'effet de similitude visuelle qui correspond au fait que plus des images sont visuellement dissociables, plus leur mémorisation est simple (Bourdin, 2007 ; Duncan & Humphreys, 1989 ; Hitch, Woodin, & Baker, 1988) et la distinction entre composantes spatiale et visuelle. Sur ce dernier point, des études indiquent que certaines tâches de mémorisation visuo-spatiales sont plus sensibles à des perturbations spatiales qu'à des perturbations visuelles (Della Sala, Gray, Baddeley, Allamano, & Wilson, 1999 ; Hecker & Mapperson, 1997). Par exemple, Smith et al. (1995) montrent aux participants des paires de formes

visuelles non significatives suivies par la présentation d'une forme seule. Dans la tâche visuelle, les participants doivent déterminer si la cible apparaissant seule est identique à l'une des deux formes présentées juste avant. Dans la tâche spatiale, les participants doivent dire si la forme apparaissant seule est positionnée au même endroit que l'une des deux cibles apparues auparavant. Les résultats obtenus soulignent que la tâche visuelle est davantage affectée par la similarité des formes et la tâche spatiale par la similarité de la position.

La BP et le CVSP ne sont donc que des modules de stockage spécialisés fonctionnant indépendamment. A ces modules de stockage s'ajoute le BE.

❖ Le Buffer Episodique

Ce buffer constitue un système diversifié, consacré au stockage temporaire d'informations amodales et à l'intégration au sein d'une représentation épisodique unitaire des informations de nature multidimensionnelle (sémantique, verbale, visuelle, spatiale, phonétique, conceptuelle…), provenant de la BP, du CVSP et de la mémoire à long terme. Le BE est épisodique dans le sens où les informations traitées sont situées dans le temps et l'espace, reliées aux expériences passées. La capacité du BE est plus importante que celles des systèmes esclaves, mais cette particularité de fournir un accès simultané à des informations différemment codées conduit à réaliser des traitements très coûteux qui limitent donc la capacité de cette structure. Enfin, le BE est placé sous le contrôle du centre exécutif qui peut rendre son contenu conscient, manipulable et modifiable.
Le buffer, tout comme la BP et le CVSP, est sous la dépendance constante du centre exécutif.

.1.3 *Fonctions du Centre Exécutif*

❖ Caractéristiques du Centre Exécutif

Le centre exécutif est un des constituants de la MdT. Il est, selon Baddeley (2000), la composante principale de son modèle de MdT. Il la définit comme un contrôleur attentionnel responsable de la régulation, du contrôle des actions appropriées et de l'inhibition des actions inappropriées. Son fonctionnement est très proche du Système Attentionnel de Supervision (SAS) du modèle de Norman et Shallice (1984) qui permet de modifier l'exécution routinière des comportements appris, afin de s'adapter aux

circonstances nouvelles. Le modèle de Norman et Shallice, fondé sur des observations de la vie quotidienne, conçoit la sélection d'une action comme une compétition. Les actions sont liées à des unités de contrôle de schémas qui sont alimentés par le système perceptif. Les unités se trouvent au centre de ce système et possèdent des entrées de différentes sources, notamment les entrées perceptives. Ces entrées extérieures peuvent permettre à elles seules d'activer les unités de contrôle de schémas, mais la plupart du temps, plusieurs entrées déclenchent les actions. Pour superviser toutes les unités de contrôle de schémas qui peuvent s'activer simultanément, Norman et Shallice proposent une procédure de contrôle par sélection. Deux types de sélection sont présentés : le gestionnaire de priorités et le système attentionnel de suppression. Le gestionnaire de priorités est semi–automatique et plutôt passif. Il permet d'inhiber la séquence d'actions la moins pertinente. Si deux ou plusieurs schémas sont activés en même temps, ils peuvent être en concurrence l'un avec l'autre (il est impossible de regarder attentivement deux choses à la fois par exemple). Le gestionnaire de priorités va alors inhiber les programmes d'actions non prioritaires, ce qui va permettre la réalisation des actions appropriées uniquement. Il prend en compte un ensemble de règles à l'intérieur du système qui peuvent être déclenchées automatiquement. Le SAS, quant à lui, est assimilé à l'intervention de la volonté du sujet car il va mettre en avant certaines unités de contrôle de schémas pour favoriser certains buts plutôt que d'autres. Il permet interrompre un comportement ou inhiber certains comportements habituels afin de s'adapter aux situations nouvelles, et notamment lorsque la situation exige planification ou prise de décision, lorsqu'il faut corriger une erreur ou résoudre un conflit, lorsque les associations entre l'entrée et les unités de contrôle de schémas sont récentes et peu maîtrisées et enfin lorsque la situation met en jeu des actions cruciales, dangereuses ou difficiles ou qu'elle est différente de celles habituellement rencontrées.

Le centre exécutif n'est pas un module de stockage, il n'a pas de capacité limitée. Il est « amodal » et s'appuie sur la BP, le CVSP et la BP qui permettent le maintien à court terme des informations.

- ❖ Rôle du Centre Exécutif

Baddeley attribue quatre fonctions distinctes au centre exécutif : il permet de coordonner en même temps deux actions, de rompre les stratégies de rappel, de sélectionner un stimulus en inhibant l'effet distracteur des autres et de récupérer et manipuler les informations en MLT.

- La capacité à coordonner deux actions

Le centre exécutif coordonne les deux systèmes esclaves et l'exécution de tâches réalisées simultanément. Cette fonction de coordination est classiquement évaluée au moyen du paradigme de la double tâche. Ce paradigme consiste à combiner deux types de tâches, par exemple une épreuve de poursuite visuomotrice et une épreuve d'empan de chiffres. D'abord présentées seules, les tâches sont ensuite combinées. Le niveau de difficulté des tâches concurrentes peut être manipulé (augmentation du nombre d'items à traiter ou à mémoriser) pour évaluer l'effet de l'une sur les performances de l'autre. Cette fonction de coordination a été étudiée par le biais de recherches portant sur des patients Alzheimer. Baddeley, Logie, Bressi, Della Sala, et Spinnler (1986) montrent que, par rapport à des adultes sains plus jeunes ou plus vieux, les patients Alzheimer obtiennent des performances plus faibles dans des situations nécessitant de coordonner des traitements verbaux et visuo-spatiaux : une tâche de *tracking pursuit* (suivre avec son doigt un point lumineux se déplaçant sur l'écran) associée à une tâche de mémorisation d'items verbaux (intervention de la BP). Le centre exécutif joue donc un rôle de coordination entre les traitements de la BP et du CSVP, mais également entre les opérations de traitement et de stockage (Logie, Cocchini, Della Sala, & Baddeley, 2004).

- La capacité de rompre les stratégies de rappel et les automatismes

La capacité à rompre les automatismes est évaluée au moyen de tâches comme la génération aléatoire. La tâche de génération aléatoire permet d'évaluer l'inhibition de schémas stéréotypés : les participants doivent générer des séquences de nombres ou de lettres de manière aussi aléatoire que possible et inhiber des séquences alphabétiques ou des sigles prototypiques (CGT, SVP ou RATP par exemple).

En général, plus la génération est rapide, moins les suites de nombres ou de lettres produites sont aléatoires. La tentation est grande d'activer automatiquement les séquences prototypiques préexistantes en MLT. Lorsque la vitesse de production est trop élevée, les mécanismes de contrôle, coûteux à mettre en œuvre, sont plus difficilement mobilisables parce que plus lents. Il devient alors difficile de produire des réponses non associées aux items précédents. Lorsque cette tâche de génération aléatoire est associée par exemple, à une tâche interférente d'empan de chiffres ou de fluence verbale, les performances obtenues à la tâche de génération aléatoire sont également altérées (Baddeley, 1996).

- L'attention sélective

Il est impossible de traiter simultanément et de façon élaborée toutes les informations de notre environnement. L'attention sélective, envisagée comme un zoom attentionnel, permet de focaliser l'attention sur une cible précise et pertinente et va alors permettre de résister aux distracteurs, en les inhibant activement. Activée de manière automatique ou contrôlée, l'attention sélective se caractérise par un double mouvement d'amplification des informations cibles et une inhibition des informations non pertinentes. Cette fonction assurée par le centre exécutif permet d'aboutir à une meilleure clarté de l'information. La maîtrise de ce type d'attention nécessite une gestion efficiente des interférences.
Comme nous le détaillerons plus loin, cette capacité à inhiber les distracteurs pour permettre un meilleur traitement de l'information sera le pivot des conceptions d'Engle et de ses collaborateurs, relatives au fonctionnement de la MdT.

- La capacité à récupérer et manipuler les informations en MLT

Toute activité de résolution de problème et de compréhension, requiert un va-et-vient entre l'information nouvelle et les informations déjà intégrées. L'information doit circuler entre la MdT et la MLT. Le centre exécutif assume cette fonction. Plus précisément, cette quatrième fonction correspond à l'activation provisoire d'informations issues de la MLT.

A côté du modèle structural de mémoire de Baddeley qui s'appuie sur une dimension spatio-temporelle, se situent les modèles d'activation qui reposent sur une dimension énergétique (Barrouillet, 1996). Parmi les plus cités se trouvent le modèle de Cowan (1995) et celui d'Engle et collaborateurs (Cantor, Engle, & Hamilton, 1991 ; Conway & Engle, 1994 ; Engle, 1996; Engle, Cantor et al., 1992 ; Engle, Conway, Tuholski, & Shisler, 1995 ; Engle & Kane, 2004 ; Turner & Engle, 1989 ; Rosen & Engle, 1997).

.2 Les modèles d'activation

Dans ces modèles, l'information est répartie et traitée en parallèle dans le réseau. Cette information est représentée comme un pattern d'activation. Parmi ces modèles connexionnistes figurent ceux de Anderson (1983), Cowan (1995) ou encore Engle et Kane (2004). Plutôt que d'être considérée comme une entité à part dans le système cognitif général, la MdT est, pour ces auteurs, une zone activée de la MLT.

.2.1 *Le Modèle de Cowan*

Le modèle de Cowan (1995) a comme objectif de décrire les contraintes réciproques de l'attention et de la mémoire dans le système de traitement de l'information. Ce modèle est une représentation dynamique du système de traitement de l'information. Il est constitué d'un petit nombre de composantes. Sa conception unitaire sous-tend que ces différents mécanismes constituent un tout, fonctionnant sur les mêmes principes dynamiques et partageant les mêmes caractéristiques de détérioration avec le temps. De même, Cowan considère que la MCT et la MLT font partie d'un même ensemble, et non pas de plusieurs modules différents. Il n'y a pas spécifiquement de différences structurelles, mais uniquement des différences fonctionnelles qui permettent de rendre compte des différents fonctionnements.

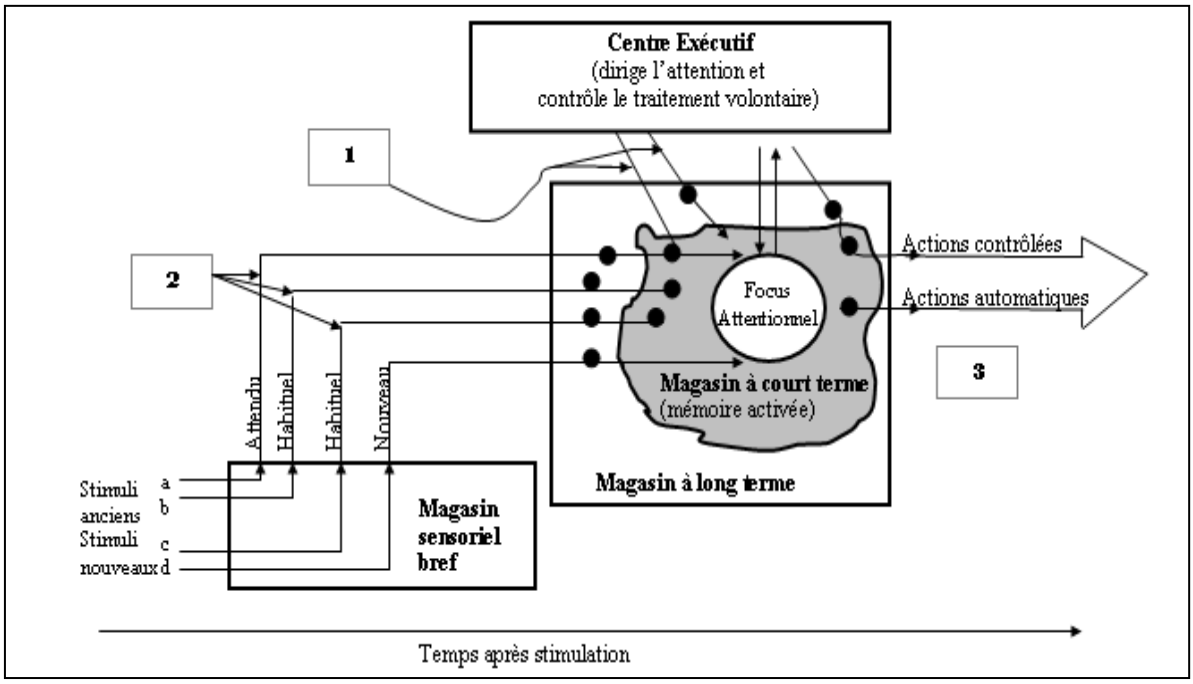
.2.1.1 Organisation et composantes du modèle

Cowan (1995) décompose la MdT en plusieurs « magasins » (*stores*) : le Magasin Sensoriel (MgS), le Magasin à Court Terme (MgCT), le Magasin à Long Terme (MgLT) et un Centre Exécutif (figure 4).

Le traitement de l'information passe par trois phases : le codage, le maintien et la récupération. Dans un premier temps, les informations extraites de l'environnement transitent par le Magasin Sensoriel (MgS). Ce MgS peut conserver une grande quantité d'informations mais pendant un laps de temps extrêmement court de quelques millisecondes. Se produit alors une opération de codage pendant laquelle ces informations activent dans le Magasin à Long Terme (MgLT) un réseau qui converge sur un ensemble de traits et de catégories sémantiques. Ainsi, les procédures de reconnaissance et de codage surviennent avant de pénétrer dans le Magasin à Court Terme.

Dans un second temps, les informations suffisamment activées dans le MgLT entrent dans le MgCT. Une partie active du MgCT est placée dans le Focus Attentionnel (FA). Pour Cowan (1995), le MgCT n'est pas un système autonome indépendant du MgLT. Le MgCT et le FA font partie d'un même ensemble mais se distinguent sur la base des différences d'activation. Les informations placées sous le focus attentionnel sont accessibles immédiatement, contrairement aux autres informations activées du MgCT qui ne se trouvent pas sous le focus, pour lesquelles la récupération sera possible mais demandera

plus de temps. C'est la somme de tous les éléments du MgLT se trouvant dans un état intensifié d'activation qui constitue le MgCT. Il n'y a donc pas de transfert d'un magasin à l'autre mais simplement une modification dans l'état d'activation des connaissances du MgLT. Ces informations doivent être maintenues suffisamment longtemps pour que la tâche soit réalisée correctement. Leur maintien nécessite que l'information soit activée en continu et suffisamment fortement pour qu'elle reste dans le FA.



1 : L'attention peut être dirigée vers les stimuli ou vers les représentations dans le MgLT
2 : Pour les stimuli anciens, le filtre n'est pas nécessaire. Ils ne font pas appel à l'attention. Certains peuvent entrer dans le FA par le biais d'une intention volontaire
3 : Le stockage à court terme des caractéristiques codées se fait automatiquement. Un traitement attentif résulte en un encodage plus élaboré
● Nœud activé qui peut diffuser l'activation à d'autres nœuds.

Figure 4 : Représentation du modèle de Cowan (1995, notre traduction).

Enfin, la récupération correspond à l'entrée d'informations dans le FA. Il s'agit soit de la récupération d'informations présentes à ce moment-là dans le MgCT, soit d'informations issues du stock de représentations et d'éléments du MLT.

.2.1.2 Fonctionnement général

Comme nous pouvons le constater, la notion d'activation constitue un aspect central dans le modèle de Cowan. Chaque élément du MgLT est caractérisé par son seuil d'activation. Des informations internes et externes modifient ce niveau d'activation. Chaque élément dont le seuil d'activation est dépassé devient conscient, c'est-à-dire qu'il entre dans le

focus de l'attention et qu'il devient disponible pour le traitement.

Précisons que l'activation ne se réfère pas directement à l'activité neurale. Cowan la définit comme "*l'état provisoire des représentations en mémoire qui permettraient à ces représentations d'avoir un effet d'amorçage sur des stimuli apparaissant ensuite*" (Cowan, 1993, p. 102). La notion d'activation peut être rapprochée de celle de ressources cognitives : l'une et l'autre possèdent un potentiel limité qui varie en fonction du nombre et de la complexité des tâches à réaliser ou des éléments à traiter (Anderson, Reder, & Lebiere, 1996). Par exemple, un apprenti-lecteur aura d'autant plus de mal à comprendre un texte que les phrases seront longues et le vocabulaire complexe. Avec le temps, le lecteur deviendra expert, ce qui conduira à une augmentation du potentiel général d'activation dans son réseau de connaissances et lui permettra ensuite de disposer de ressources cognitives plus importantes pour mettre en œuvre et gérer efficacement les traitements complexes liés à l'activité de compréhension de ce type de texte.

.2.1.3 Fonctionnement du Centre Exécutif

Dans le modèle de Cowan, le centre exécutif est une partie active de le MgLT. Il est décrit comme une composante constituée d'un ensemble de processus de contrôle distincts. Le centre exécutif est chargé de réactiver les informations en les sélectionnant et en les plaçant continuellement dans le FA (activation attentionnelle volontaire). L'attention volontaire est dirigée vers les stimuli extérieurs, ou vers l'intérieur, c'est-à-dire vers le MgLT. Le centre exécutif sélectionne délibérément ce dont l'individu a besoin et au moment où il en a besoin. Cette attention volontaire permet de centrer l'attention sur une sélection d'éléments et ainsi d'augmenter leur niveau d'activation. Mais elle permet également le phénomène inverse : l'attention peut ignorer certains éléments faisant alors baisser leur activation au-dessous du seuil d'activation. Elle correspond à l'inhibition.

Les informations peuvent également accéder au FA par le biais des appels d'attention non volontaires provenant du stimulus (orientation attentionnelle du système : activation automatique). Les stimuli nouveaux, particulièrement importants, étranges ou inattendus, conduisent à des réponses d'orientations et peuvent activer automatiquement des informations dans le MgLT. La règle étant que pour activer automatiquement un concept, il doit dépasser le seuil d'activation pour pénétrer dans le FA. Si les informations correspondent à des informations auxquelles l'individu est habitué, elles seront activées mais resteront à l'extérieur de la conscience.

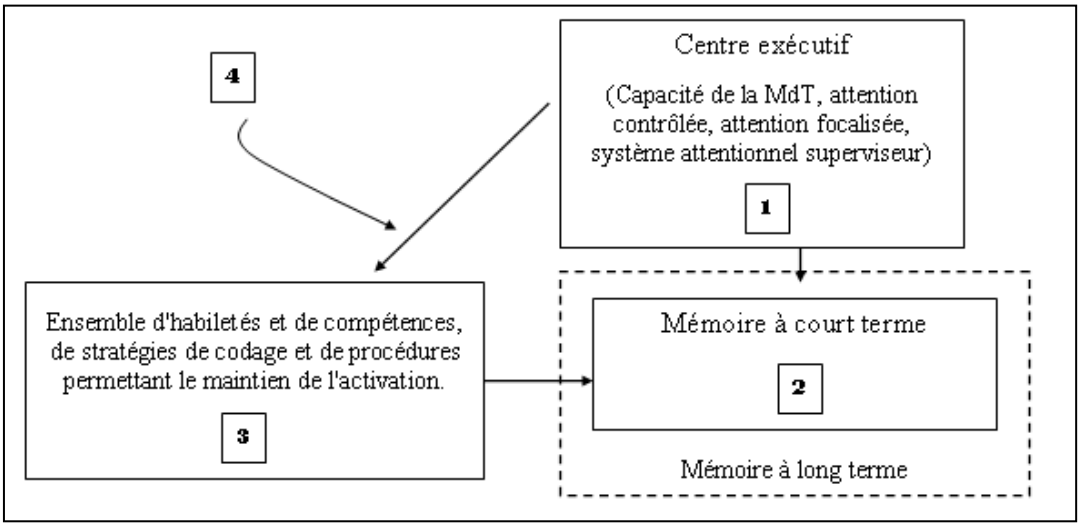
Enfin, selon Cowan, le centre exécutif permettrait de réaliser deux tâches concurrentes conjointement.

.2.2 Le modèle de Engle

Engle et Kane (2004) attribuent un rôle majeur aux capacités attentionnelles dans leur « Théorie des deux facteurs du contrôle cognitif ». Dans ce modèle, la capacité de MdT correspond à l'attention utilisable en mémoire et à la capacité à contrôler l'attention et à gérer des situations ou des éléments nonpertinents (Engle, 2001). Selon cette perspective la MdT correspond à la fois aux éléments activés de la MLT, aux ressources qui vont permettre la mise en œuvre et le maintien de cette activation, ainsi qu'aux processus attentionnels (comparables au système de contrôle attentionnel ou SAS de Norman & Shallice, 1984).

.2.2.1 Organisation des composantes

D'après le modèle de Kane et Engle (2004), le système MdT comprend trois composantes (figure 5). La première composante est la MCT. Elle correspond aux représentations de natures diverses suffisamment activées en MLT. Le niveau d'activation de ces traces varie constamment avec la durée, à cause des interférences et/ou parce que les deux autres composantes du système le modulent. La deuxième composante du système est un ensemble d'habiletés, de stratégies de codage de procédures qui permettent le maintien de l'activation des représentations en MCT. Ces habiletés et ces stratégies s'appliquent à des informations de natures différentes (visuelle, phonologique, spatiale, auditive…). Certaines peuvent être automatiquement déclenchées par des stimuli internes ou externes, tandis que d'autres sont davantage contrôlées donc plus coûteuses, selon la tâche à réaliser et les caractéristiques individuelles de chaque sujet. La troisième composante du modèle est le centre exécutif. Il correspond à la capacité de MdT, aux notions d'attention contrôlée, et d'attention focalisée.



1 : a- Réalise l'activation par la récupération contrôlée
b- Maintien l'activation des représentations des stimuli, des productions de réponse, ou des abstractions de but
c- Inhibe les distracteurs

2 : a- Traces activées au-dessus du seuil, avec la perte due au déclin ou à l'interférence
b- Certaines traces reçoivent une nouvelle activation et deviennent le centre de l'attention
c- Les traces correspondent à une partie de la mémoire à long terme.

3 : a- Elles peuvent être phonologiques, visuelles, spatiales, motrices, auditives …
b- Elles exigent plus ou moins d'attention en fonction de la tâche et du sujet

4 : L'amplitude de cette liaison est déterminée par les caractéristiques des procédures permettant la mise en œuvre et le maintien de l'activation (routinières ou exigeant de l'attention). Ainsi, on suppose que pour des adultes intelligents, instruits, coder et répéter un chiffre dans une tâche de *digit span* exigerait moins d'attention que pour des enfants de 4 ans.

Figure 5 : « Théorie des deux facteurs du contrôle cognitif », Engle et Kane en 2004

.2.2.2 Fonctionnement général

Dans leur modèle, Engle & Kane (2004) considèrent que la capacité de MdT reflète l'attention exécutive, c'est-à-dire la capacité de garder des informations appropriées dans un état actif et facilement recouvrable face à l'interférence. Cette conception s'appuie sur une série d'études qui ont montré la place centrale des capacités d'activation en mémoire à long terme (Cantor et al., 1991 ; Engle, Cantor et al., 1992 ; Turner & Engle, 1989), et du contrôle attentionnel (Conway & Engle, 1994 ; Engle, 1996 ; Engle, Conway et al., 1995 ; Rosen & Engle, 1997).

- ❖ Rôle primordial des capacités d'activation

Les différences individuelles dans les performances aux tâches complexes proviendraient de la quantité d'activation disponible, variable d'un individu à l'autre. Ces différences inter-individuelles sont étudiées par Cantor et Engle (1993) en comparant les performances

obtenues par des individus possédant un faible ou un fort empan à une tâche produisant un « *fan effect* » (Anderson, 1974). Le *fan effect* est la conséquence de la diffusion de l'activation dans le réseau : plus le nombre de faits relatifs à un concept est important, plus l'activation s'étend et se diffuse. Dans ce cas, la quantité d'activation qui peut être attribuée à chaque concept est moins élevée et par conséquent, le temps nécessaire pour récupérer un fait concernant ce concept sera plus long et le nombre d'erreurs sera plus important. Ce paradigme de *fan effect* consiste tout d'abord à présenter aux participants des séries de phrases simples du type « L'avocat est dans le parc », « L'avocat est dans l'église » ou « Le pompier est dans le parc », qu'ils doivent mémoriser. Le nombre de phrases qui partagent le même concept diffère, car le nombre de lieux dans lesquels un personnage se trouve et/ou le nombre de personnages amenés à visiter un même lieu, varient. Après cette phase d'apprentissage, la phase test consiste à présenter aux participants des phrases et à leur demander si elles étaient présentes ou non dans la phase préliminaire. Les résultats obtenus soutiennent l'existence des différences individuelles dans la quantité d'activation qui peut être mobilisée pour activer les concepts appropriés puisque les individus possédant un faible empan sont plus sensibles au *fan effect* et ont plus de difficultés à regrouper thématiquement les concepts que ceux possédant un fort empan.

D'après la conception d'Engle, la réussite dans la réalisation d'une tâche dépendra donc des ressources « d'activation générale » c'est-à-dire communes à l'ensemble des activités cognitives dont chaque individu dispose pour maintenir le but de la tâche et les résultats intermédiaires. Mais cette réussite sera indépendante de la nature du matériel utilisé dans la tâche. Si le seuil d'activation des différentes unités est suffisamment élevé, la quantité d'activation disponible conditionnera le type de traitements menés dans la réalisation de tâches en MdT et dirigera l'alternance ou le partage de l'attention entre le traitement (par exemple, le décodage des unités constituant un mot) et le stockage (par exemple, le maintien en mémoire des unités sonores traduites afin de les assembler pour reconstituer le mot dans son ensemble).

Cependant, cette tâche de « *fan effect* » conduit à une forte compétition entre les réponses et l'effet observé chez les individus possédant un faible empan peut aussi être attribué à une difficulté à résister à l'interférence de réponses concurrentes non pertinentes. Les individus possédant un faible empan surchargeraient leur MdT d'informations non pertinentes, ce qui les gênerait pour mettre en œuvre les traitements nécessaires à la

réalisation de la tâche. Dans cette perspective, les ressources attentionnelles sont nécessaires pour inhiber les événements distracteurs et les informations sans rapport avec les buts de la tâche en cours.

❖ Importance du contrôle attentionnel et des capacités d'inhibition

Conway et Engle (1994) ont évalué le temps nécessaire pour activer une série d'informations ou pour activer une association entre une série cible et un item de la série en fonction du niveau d'empan. En s'inspirant d'une expérience de Wickens, Moody et Dow (1981, cité par Conway & Engle, 1994), les auteurs proposent quatre types de tâches à des participants possédant un empan fort ou faible (empan déterminé à partir de la tâche « *operation-word span* »). Chacune est composée de séries de 2, 4, 6 ou 8 lettres (expériences 1 et 3) ou de séries de 2, 4, 6, 8, 10 ou 12 mots (expériences 2 et ou 4). Chaque mot ou lettre apparait une seule fois (expériences 3 et 4) ou peut être répété deux fois, dans deux séries différentes (expériences 1 et 2). Les participants doivent mémoriser toutes les séries d'items avant de réaliser la phase test de reconnaissance. Cette phase test consiste à présenter un chiffre désignant la série concernée (ex « 2 » pour la série « V-N ») et une lettre. Le participant doit indiquer par appui sur une touche, si cette lettre fait effectivement partie de la série indiquée. Conway et Engle font varier le délai d'apparition des items de telle sorte que la moitié des essais de cette phase test soit destinée à tester la mémoire primaire et l'autre moitié, la mémoire secondaire. La mémoire primaire correspond à un système capable de retenir un petit nombre d'informations, dont l'individu a conscience, elle peut s'apparenter à la MdT. La mémoire secondaire contient un nombre illimité d'informations mais qui ne sont pas accessibles directement à la conscience et qui vont donc nécessiter un effort pour être retrouvées. Pour tester la mémoire primaire, le nombre désignant une des séries mémorisées est présenté une seconde avant que l'item à reconnaître n'apparaisse. Les participants connaissent donc au préalable la série mémorisée sur laquelle ils vont être testés. Quand l'item apparaît, cette série est déjà activée et se trouve présente et accessible en mémoire primaire. Pour tester la mémoire secondaire, le chiffre correspondant à la série mémorisée est présenté en même temps que l'item à reconnaître. La série sur laquelle les participants vont être interrogés n'est pas connue à l'avance et n'est pas activée en mémoire. Les résultats obtenus indiquent que le temps nécessaire pour récupérer des informations de la mémoire secondaire à la mémoire primaire est indépendant de la taille de la série sauf pour les séries les plus courtes (contenant deux items). Le temps pour récupérer des informations en mémoire secondaire

est identique quelle que soit la taille de l'empan des participants. La seule différence entre ces deux groupes concerne le temps nécessaire pour rechercher activement une série en mémoire primaire lorsque les mêmes éléments apparaissent dans des séries différentes (expériences 1 et 2). Dans ce cas uniquement, les individus possédant un fort empan s'avèrent plus rapides que les individus possédant un faible empan. Cette étude suggère que les différences inter-individuelles au niveau de ressources cognitives peuvent s'expliquer par des différences dans la capacité à inhiber les informations intrusives, activées automatiquement par diffusion ou parce que très saillantes dans la situation, mais qui ne sont pas ou plus appropriées pour réaliser la tâche.

Par la suite Engle, Conway et al. (1995) montrent que les différences individuelles proviennent des processus attentionnels généraux plutôt que de processus d'inhibition à proprement parler. Si l'inhibition est le résultat d'un contrôle attentionnel, alors sa mise en œuvre doit être plus difficile lorsque le sujet est engagé dans une tâche coûteuse qui mobilise son attention. La mise en œuvre de processus d'inhibition nécessiterait des ressources attentionnelles, mais tous les individus ne disposant pas *a priori* de la même quantité de ressources, des différences inter-individuelles devraient être observées.
Cette hypothèse a été prouvée par le biais du paradigme d'amorçage négatif. Ce paradigme désigne le fait qu'un traitement est altéré lorsqu'il s'agit de reconnaître une cible qui a été présentée comme le distracteur dans l'essai précédent. L'expérience de Engle, Conway et al. (1995) consiste à mesurer l'effet d'amorçage négatif en fonction de la charge en MdT. Les sujets doivent réaliser une tâche de dénomination de lettres tout en réalisant simultanément une tâche de rappel. Les auteurs augmentent la charge mnésique tout au long de la tâche d'amorçage négatif (le nombre de mots à rappeler variant de 0 à 4). Les résultats indiquent que l'effet d'amorçage diminue à mesure que la charge mentale augmente, il disparaît même dès que 3 mots ou plus doivent être maintenus en mémoire. Ce résultat semble indiquer que les ressources attentionnelles sont nécessaires pour mobiliser l'inhibition puisque lorsque la charge mentale est élevée, c'est-à-dire lorsque les ressources attentionnelles allouées à la tâche de mémorisation sont importantes, les ressources disponibles pour inhiber les informations non pertinentes ne sont plus suffisantes. Des observations identiques sont rapportées par Conway, Tuholski, Shisler, et Engle (1999) qui montrent que ces conclusions sont valables quelle que soit la nature du matériel utilisé, verbale ou non verbale.
Les résultats de Rosen et Engle (1997) dans des expériences de fluence suggèrent de la

même façon le rôle de l'inhibition, particulièrement chez les individus à faibles empan, qui se révèlent être plus sensibles au « rééchantillonnage d'exemplaires » (tendance à répéter des mots déjà donnés pour compléter la liste). Finalement, il semblerait que contrairement aux individus possédant un empan faible, les individus possédant un empan fort disposent d'une quantité de ressources leur permettant de mettre en œuvre une inhibition, aussi bien dans le codage, la répétition que la récupération (Kane & Engle, 2000). L'étude de ces processus attentionnels est approfondie au moyen d'épreuves qui ne sont pas des épreuves de mémoire en tant que telle, mais des épreuves d'attention sélective ou des tâches d'anti-saccades (Kane, Bleckley, Conway, & Engle, 2001) et de Stroop Couleur (Kane & Engle, 2003).

Ces travaux conduisent Engle et Kane (2004) à proposer que la capacité de la MdT reflète la capacité d'activation, qui permet le maintien de but, ainsi que l'attention exécutive, qui permet la résolution de conflits. Le bon fonctionnement du système serait géré par le centre exécutif.

.2.2.3 Fonctionnement du centre exécutif

Le fonctionnement du système dépend de deux facteurs pris en charge par le centre exécutif. Premièrement, le centre exécutif agit pour maintenir activés en mémoire les buts de la tâche. Deuxièmement, il intervient lorsque les procédures et comportements habituels sont insuffisants, inadaptées ou indisponibles, c'est-à-dire lorsque la réponse automatiquement apportée par le système est incorrecte et ne permet pas de réaliser l'activité en cours. En effet, même lorsque les buts de la tâche sont présents en mémoire, il peut y avoir un conflit entre les réponses réflexes puissantes et la réponse attendue. Par exemple, dans les tâches d'anti-saccades qui nécessitent de regarder à l'opposé d'un point qui apparaît sur un écran, maintenir la consigne en mémoire (regarder à l'opposé du point) n'est pas suffisant pour réaliser la tâche correctement. Le centre exécutif va donc gérer la concurrence entre des réponses appropriées à la tâche et des réponses puissantes mais non pertinentes. Il va résoudre le conflit en inhibant les distracteurs qui capturent automatiquement l'attention. L'attention exécutive est ainsi au contrôle cognitif.

.3 Conception de l'espace de travail et rôle du CE : Comparaison des modèles

Selon le modèle de référence, les explications des différences inter-individuelles en MdT et la façon dont la MdT contrôle la réalisation de tâches cognitives complexes, divergent. En résumé, trois points fondamentaux distinguent les modèles structuraux des modèles d'activation : la spécificité ou la généralité des processus mnésiques (qui influencent la nature des informations et des traitements réalisés), les limites de la MdT et le contrôle en MdT (place de l'attention).

.3.1 *Spécificité vs généralité des processus mnésiques impliqués dans les difficultés d'apprentissage*

Entre les partisans des différences structurelles et ceux des différences fonctionnelles, émerge une question centrale : les performances dans des tâches cognitives complexes sont-elles ou non dépendantes de la nature du matériel et des traitements spécifiques mis en jeu ? Le CE est-il dépendant ou indépendant de la nature du matériel ?

Baddeley (1986, 2000) suggère une conception modulaire où il distingue le traitement des informations verbales et visuo-spatiales. Les informations verbales sont traitées dans la BP, les informations spatiales, dans le CVSP, le tout supervisé par le centre exécutif. L'activité cognitive est assurée par des modules spécialisés, dont la tâche est d'effectuer un traitement à un niveau donné (traitements visuels, identification des lettres), sans que celui-ci ne soit influencé par les autres traitements (lexicaux et sémantiques). Dans ce modèle comme dans celui de Daneman et Carpenter (1980), la capacité en MdT dépend de la tâche.

Opposés à ce modèle, les modèles en réseaux d'unités simples, ou modèles connexionnistes, se situent dans une vision unitaire de la MdT et considèrent la MCT comme un sous-système activé de la MLT. Il n'y aurait pas à proprement parler de différence structurelle, mais seulement des différences fonctionnelles qui permettraient de rendre compte des différentes fonctions de la MDT. Il n'existe qu'une seule structure composée d'unités plus ou moins fortement reliées entre elles où l'activation se déplace, se diffuse et se centre sur certaines de ces unités en fonction des situations. Les informations verbales, spatiales, mais aussi les informations de toute nature (sons, bruits,

kinesthésiques) sont indissociables car encodées par un même pattern d'activation. Il n'y a donc pas de spécificité de codage en MCT en fonction de la nature de l'information. Ainsi, Turner et Engle (1989) prouvent l'existence d'une capacité unique de MdT amodale (sans spécificité de codage), c'est-à-dire qui concernerait tous les systèmes de représentation (visuelle, spatiale, verbale) et toutes les activités (réalisation de tâches d'empan simple ou de tâches complexes, résolution de problèmes arithmétiques). A partir de la tâche de *Reading Span* proposée par Daneman et Carpenter (1980) (voir description page 40), Turner et Engle (1989) montrent que quelle que soit la tâche d'empan (traiter des phrases, réaliser des calculs arithmétiques, mémoriser des mots ou des chiffres), les performances sont toujours corrélées avec le niveau de compréhension en lecture. Ceci suggère que la capacité de MdT est amodale, c'est-à-dire que cette capacité est un bon prédicteur des capacités de compréhension et généralement de la plupart des capacités d'apprentissages. « La mémoire de travail peut être une caractéristique individuelle unitaire indépendante de la nature de la tâche »[5] (Turner et Engle, 1989, p.150).

.3.2 *Limites de la capacité de traitement*

Les modèles de Baddeley (2000), de Cowan (1995) et de Engle (2004) se rejoignent sur l'idée principale que le système est restreint par la capacité limitée de ressources (mnésiques ou d'activation) dont il dispose. Mais ils divergent sur d'autres points, car les limites des capacités de traitement de ces modèles de MdT peuvent être abordées sous des angles différents : limitation spatiale, temporelle, limites d'activation ou de résistance à l'interférence.

- Limites en termes d'espace

Dans le modèle de Baddeley, la capacité de traitement se réfère à un espace de stockage où des informations appropriées peuvent être temporairement maintenues et manipulées. La MdT est limitée en termes de capacité de stockage. Chacun des sous-systèmes (BP, CVSP et BE) ne peut traiter qu'un nombre limité d'informations. Plus le nombre d'items à mémoriser est important, plus le coût cognitif de la tâche est élevé. Cette limitation en termes d'espace disponible est également présente dans le modèle de Cowan où le focus attentionnel possède une capacité limitée qui s'élève à quatre items maximum.

[5] « working memory may be a unitary individual characteristic independent of the nature of the task in which the individual makes use of it »

❖ Limites en termes de déclin de la trace mnésique ou « *decay* »

Pour Baddeley, l'espace de stockage est restreint. Les informations qui s'y trouvent ont une « durée de vie » limitée. Par exemple, lorsqu'une information verbale doit être maintenue en mémoire, elle est stockée au sein du BE qui va permettre son maintien temporaire. Très rapidement, ces informations vont se détériorer si elles ne sont rafraichies par un processus de répétition articulatoire (grâce à la BP). Plus les mots à répéter comporteront de syllabes (effet de longueur des mots), plus la répétition sera longue et complexe et plus la perte d'information sera importante.

Dans le modèle de Cowan, le focus attentionnel n'est pas sujet à ce déclin mais par contre, la MCT est limitée par la durée d'activation de la trace mnésique.

Si le système est limité par le temps, il est alors possible de considérer que la vitesse de traitement va jouer un rôle important dans le maintien des informations. C'est ce qu'affirment Barrouillet et Camos (2001) en montrant que les limites dépendent du coût cognitif des traitements mais aussi de leur durée. Ils observent que dans des tâches de MdT où la durée du traitement est constante, les empans changent en fonction du coût cognitif des traitements à effectuer. Par exemple, lorsque la tâche supplémentaire consiste à résoudre des opérations, les performances de rappel sont plus faibles que lorsqu'il s'agit de répéter une syllabe (Barrouillet, Bernardin, & Camos, 2001, 2004 ; Gavens & Barrouillet, 2004). Mais ils montrent également que des tâches, même assez simples comme une lecture de chiffres, peuvent nuire aux performances de maintien lorsque la tâche principale doit être réalisée rapidement (Lepine, Bernardin, & Barrouillet, 2005).

Ces résultats conduisent Barrouillet et al. (2004) à supposer que lors des opérations de traitements, les individus sont capables de s'interrompre quelques instants pour rafraîchir les traces mnésiques des items à rappeler et qu'ils parviennent ainsi à maintenir des performances de rappel correctes. Les auteurs suggèrent donc d'intégrer des contraintes temporelles à celle du partage des ressources pour expliquer les performances dans les tâches de mémoire de travail. Ils développent le modèle du partage temporel des ressources (*Time Based Ressource Sharing model*) qui repose sur quatre postulats. Premièrement, ce modèle suppose que l'attention doit être partagée alternativement entre les processus de traitement et de maintien qui interviennent simultanément dans les tâches de MdT. Le deuxième postulat s'appuie sur les conceptions de Baddeley et Logie (1999) et Cowan (1995, 1999) selon lesquelles l'activation des traces mnésiques des items à rappeler

diminue dès que l'attention est mobilisée sur un processus de traitement. Pour ne pas être désactivés, donc oubliés, les items doivent être rafraîchis en MdT. Les performances de MdT dépendent donc de la durée pendant laquelle le traitement mobilise l'attention. Plus le traitement est long, plus le risque de désactivation des traces mnésiques est important. Troisièmement, Barrouillet et al. (2004) postulent l'existence d'un goulot d'étranglement central qui contraint les activités de récupération (Pashler, 1998, cité par Barrouillet et al, 2004). Il est impossible d'effectuer deux récupérations simultanément. Les tâches qui nécessitent ce type de processus capturent l'attention de façon durable et risquent d'avoir un effet particulièrement nuisible sur le maintien de l'information. Enfin, puisque l'attention ne peut s'étendre à plusieurs éléments et que l'activation diminue inéluctablement dès que l'attention est dirigée sur un autre processus, les auteurs postulent que le rafraîchissement des traces mnésiques s'opère par le biais d'une alternance rapide et incessante des focalisations attentionnelles entre le traitement et le maintien (Barrouillet & Camos, 2001). Cette alternance se produirait pendant de courtes pauses dans les processus de traitements de l'information.

Ce modèle a été testé chez l'enfant par Portrat, Camos, et Barrouillet (sous presse). Cette étude indique que les facteurs temporels qui affectent la mémoire de travail chez l'adulte donnent les mêmes effets chez l'enfant. Dès 10 ans, les enfants sont capables de mettre en œuvre un mécanisme d'alternance rapide de l'attention de manière efficace. Selon ces conceptions, les difficultés des faibles lecteurs proviendraient de procédures de décodage non suffisamment automatisées qui non seulement sont coûteuses, mais qui sont également trop longues à mettre en œuvre en raison notamment de difficultés d'accès aux informations en mémoire. Ces traitements longs et coûteux en attention empêchent le maintien efficace des informations déjà décodées.

- ❖ Limitation en termes d'activation

Dans les modèles d'activation de Cowan et Engle, la capacité du système à traiter des informations renvoie à une énergie mentale permettant d'activer des informations pertinentes. La capacité de traitement de la MdT est limitée par la quantité d'activation disponible pour les activités de stockage et la taille de la zone activée (MCT) correspond à la quantité totale d'activation dont peut disposer le système. Le système cognitif est constitué d'un réseau sémantique lui-même constitué de nœuds. Chaque nœud peut être activé et lorsqu'il l'est, il diffuse cette activation à d'autres nœuds. Plus le nœud est activé,

plus le phénomène de diffusion est étendu. Un point important et que le degré d'activation des informations va conditionner le niveau d'attention que le système leur porte. Plus une information est activée, plus grandes seront ses chances de faire partie d'une représentation explicite. La somme du potentiel d'activation de chaque unité de connaissances correspond au potentiel d'activation total du système. Plus cette somme d'activation est élevée, plus la taille de la zone activée sera grande. De nombreuses informations peuvent donc être activées et peuvent pénétrer en MCT à condition que leur activation soit suffisamment élevée.

La capacité de la MdT va donc être contrainte par la difficulté de la tâche à réaliser et les caractéristiques du sujet : son âge, son expertise, son savoir-faire. Les enfants, les personnes âgés et les non experts allouent ainsi une grosse partie de leurs ressources aux fonctions de traitements, au détriment des fonctions de stockage entraînant une diminution des performances en MdT. Ceci expliquerait par exemple les difficultés que rencontrent tous les jeunes lecteurs qui doivent apprendre à se familiariser avec les procédures complexes de lecture. Avec le temps, les différences entre bons et faibles lecteurs s'expliqueraient par la faible efficience du décodage chez les faibles lecteurs qui engendrerait une diminution des ressources attribuées au stockage (Conway, Kane et al., 2003 ; Kane & Engle, 2002 ; Towse et al., 1998). L'efficience du traitement aurait un effet sur la possibilité de stockage et non sur la capacité de stockage elle-même. Les ressources insuffisantes ne permettraient pas au focus attentionnel de se concentrer à nouveau sur les items à mémoriser afin d'assurer une fonction de réactivation et de maintien.

- ❖ Limites liées à l'interférence

Cette limite découle de la précédente. Lorsque l'attention se porte sur des éléments saillants apparaissant soudainement dans l'environnement (bruit, changement de forme ou de couleur) ou vers des stimuli pertinents pour l'individu mais pas pour la tâche à réaliser (son propre prénom), l'activation va se diffuser automatiquement vers ces éléments non pertinents. Les informations qui doivent être maintenues risquent de ne plus être suffisamment activées et de se détériorer très rapidement. Pour enrayer ce phénomène, l'individu doit pouvoir résister à l'interférence. Il doit être capable d'inhiber l'activation des distracteurs pour ne garder actives que les informations utiles.

Dans le modèle d'activation de Cowan ou Engle, la capacité de traitement renvoie donc aux capacités d'inhibition qui seraient le produit de processus attentionnels.

.3.3 *Notion de contrôle dans les différents modèles*

D'après le modèle de Baddeley (2000), le contrôle est assuré par le centre exécutif qui met en jeu la sélection et l'exécution de traitements et qui supervise les systèmes (BP, CVSP, BE) qui lui sont reliés. Baddeley (2000) postule que le centre exécutif comporte plusieurs sous-composantes exécutives spécialisées et dissociables : la capacité à coordonner deux actions, la capacité à prendre en compte sélectivement un stimulus en inhibant l'effet distracteur des autres, la capacité de rompre les stratégies de rappel, la capacité de récupérer et manipuler les informations en MLT. Dans cette conception, les notions de MdT et d'attention ne sont pas toujours clairement différenciées. Baddeley parle de fonctions attentionnelles mais n'explicite pas ce qu'il entend par là.

La place de l'attention dans le contrôle en MdT est plus clairement signifiée dans les perspectives de Cowan (1988, 1995) ou Engle et al. (1999). Leurs modèles accordent une place importante à l'interaction entre processus exécutifs et mnésiques. Ils supposent que cette interaction entre mémoire et attention est un déterminant important de l'ensemble des activités cognitives. Engle considère que « processus exécutif » et attention ne font qu'un et parle même d'attention exécutive. Enfin, dans ces modèles, le centre exécutif permet l'exécution de tâches grâce au maintien actif des informations pertinentes et à l'intervention de processus attentionnels qui contrôlent les interférences en inhibant les distracteurs ou les informations concurrentielles. Plus le nombre d'informations activées en MdT sera important, plus les processus attentionnels seront sollicités et plus la MdT révélera la limitation de sa capacité si les processus attentionnels ne sont pas suffisamment efficaces.

Ainsi, que la perspective soit structurelle ou fonctionnelle, la notion d'attention est centrale dans la définition de la MdT (Miyake & Shah, 1999), soulignant la place centrale des capacités de contrôle et de régulation de l'ensemble des actions cognitives complexes comme la lecture. Le centre exécutif renvoie à un ensemble de fonctions exécutives dénommées différemment selon les modèles (attention focalisée, attention divisée, MdT, alternance, connexion des informations au contenu de la mémoire à long terme). Des polémiques demeurent cependant quant à la nature de ces fonctions, leur structure et les fonctions qu'elles assurent (Shah & Miyake, 1999). Se pose notamment la question de leur (in)dépendance au sein du centre exécutif, celui-ci pouvant être conçu comme un système

unifié à plusieurs fonctions ou comme une agglomération de processus de contrôle interactifs et indépendants.

Chapitre 3 : Le Contrôle exécutif : Description, développement chez l'enfant et implications en lecture

Résumé :
L'origine exécutive des difficultés en lecture est une hypothèse en débat, en particulier parce que le concept de CE n'est pas unanimement défini. Ce chapitre explicite dans un premier temps cette notion de CE et présente les conceptions unitaires et multi-composantes du CE qui renvoient à une capacité unitaire générale ou à un ensemble de sous composantes plus ou moins indépendantes. Dans un second temps, il précise à quel moment les capacités de CE se mettent en place pendant l'enfance et l'adolescence et indique quelles sont les caractéristiques de ce développement. Enfin, ce chapitre présente de quelle manière, le CE est susceptible d'intervenir en lecture et dans le décodage en particulier.

.1 Description du CE

.1.1 *Comment définir le CE ?*

Le CE est sollicité dans les tâches inhabituelles, complexes ou équivoques qui ne peuvent être réalisées grâce à des associations apprises et automatiques. Il intervient dans les tâches cognitivement coûteuses qui nécessitent un traitement complexe ou qui comportent une interférence entre des stimuli ou des réponses en compétition.

Le CE se réfère à plusieurs habiletés qui permettent d'assurer le bon déroulement d'une activité en initiant l'action et en sélectionnant la stratégie la plus appropriée et particulièrement dans les situations complexes où des réponses automatiques sur-apprises ou des habitudes peuvent entraver son déroulement. Si les chercheurs s'accordent sur le rôle général du CE, des désaccords apparaissent lorsqu'on s'attache à détailler les différentes composantes exécutives qui pourraient lui être attribuées. En réalité, l'étude du CE s'appuie sur un vaste éventail de tâches, évaluant des aspects disparates du fonctionnement exécutif. De fait, la question de l'organisation, et plus précisément de l'indépendance des composantes exécutives au sein de la MdT, reste centrale, le centre exécutif pouvant être conçu comme un système unifié à plusieurs composantes ou comme une agglomération de processus de contrôle interactifs et indépendants. Cette question est cruciale dès lors que l'on cherche à mesurer le CE pour rendre compte de son fonctionnement.

.1.2 *Contrôle exécutif unitaire ou multi-composantes ?*

Dans un premier temps, les composantes exécutives étaient considérées comme résultant de l'action d'une entité unique (« LE » CE) plutôt que multi-composantes. Ainsi, Rogers et Monsell (1995) démontrent que le temps nécessaire à la mise en œuvre d'une composante d'alternance entre deux tâches différentes, augmente considérablement lorsque des informations non pertinentes sont présentes. Les auteurs interprètent cette augmentation en suggérant que les composantes d'alternance et d'inhibition agissent réciproquement et qu'elles ne sont pas indépendantes. Cette conception est également soutenue par certaines études en neuropsychologie qui considèrent qu'il y a ou non dysfonctionnement général du lobe frontal (Aron, Robbins, & Poldrack, 2004). Cependant, un nombre croissant d'études tend à mettre en doute ce principe et à considérer l'existence d'un CE non unitaire.

.1.2.1 Les données en neurosciences

Cette conception théorique multi-composantes du CE repose notamment sur les données en neurosciences, en imagerie cérébrale et sur l'étude des désordres cliniques observés chez des patients cérébro-lésés au moyen de diverses épreuves distinguant plusieurs composantes exécutives et qui conduisent à réaliser un inventaire des comportements perturbés. Ces différentes analyses confirment l'hypothèse de déficits frontaux (Koechlin, Ody, & Kouneiher, 2003) en prouvant que des dysfonctionnements des régions frontales du cerveau donnent lieu à des troubles du CE. Ces troubles correspondent à une grande variété de processus cognitifs d'ordre supérieur tous nécessaires à l'accomplissement de comportements dirigés vers un but. Ils désignent aussi bien la planification des actions, la sélection des représentations mentales, l'attention perceptive, l'évocation mnésique que la prise de décisions (Aron et al., 2004 ; Garavan, Ross, Murphy, Roche, & Stein, 2002 ; Passingham, 1993). De même, Shallice et Burgess (1991) rapportent le cas de patients frontaux, qui après quelque temps, présentent toujours des difficultés à planifier et à réaliser des tâches courantes mais obtiennent des performances normales aux tests exécutifs classiques (Tour de Londres et WCST). Les profils d'erreurs des patients sur ces tâches présentent des variations suggérant la nature fractionnée du centre exécutif (SAS) (voir également Hoclet, Gronier, Joly-Pottuz, & Carbonnel, 2003).

L'étude de Van der Linden, Coyette, et Seron. (1992) soutient également cette idée de dissociation. Leur patient, âgé de 29 ans, souffrant d'un traumatisme crânien présente des capacités très hétérogènes : une MLT préservée et aucun signe de dysfonctionnement

intellectuel ou frontal, mais des problèmes de MCT (difficultés à utiliser le vocabulaire technique spécifique à sa profession) ; un déficit dans les tâches d'empan complexe en MdT, aucun effet de récence aux tâches de rappel de mots et de faibles performances à la tâche de Brown-Peterson. Dans cette tâche, l'expérimentateur présente au sujet des séries de lettres ou de chiffres puis lui demande de compter à rebours (de 3 en 3 par exemple) à partir d'un chiffre donné, enfin lui demande de rappeler les items présentés au début. Ces données suggèrent que le CE dispose de peu de ressources.

Sylvester et al. (2003) montrent par le biais de l'IRM (Imagerie par Résonance Magnétique) que lors de la réalisation de tâches d'alternance et d'inhibition, des zones cérébrales communes sont activées, mais surtout que certaines zones ne sont impliquées que dans un seul des processus. Ce dernier point prouverait le caractère non unitaire du CE.

.1.2.2 Des composantes exécutives distinguables

Plusieurs recherches corroborent l'existence de diverses composantes exécutives. En 1996, Camus déclare que les composantes exécutives « *concernent les diverses activités cognitives opérant dans la mise en œuvre des activités non routinières* ». Richard (1995), en se basant sur l'activité de résolution de problèmes, étudie les caractéristiques de la régulation et du contrôle de l'activité. Il considère que « *le contrôle n'est pas assuré par un mécanisme unique : c'est une fonction qui résulte du jeu de plusieurs mécanismes* » (Richard, 2004, p. 289). Ces divers mécanismes de contrôle mis en œuvre lors de la réalisation de problèmes sont par exemple, la sélection des informations pertinentes de l'énoncé, la récupération et la conservation en MdT des seules informations nécessaires au déroulement de la tâche, l'inhibition des interprétations restrictives qui empêcheraient la résolution du problème (par exemple dans la Tour de Hanoi, considérer qu'il est impossible de déplacer directement un disque vers une des extrémités sans passer par l'emplacement du milieu).

Miyake, Friedman, Emerson, Witzki, et Howerter (2000) ont étudié si les différentes composantes exécutives étaient séparables et dans quelles mesures elles contribuaient aux tâches exécutives complexes. Ils défendent l'idée du caractère autonome des différentes composantes exécutives où le CE correspond à un ensemble de composantes de contrôle qui peuvent opérer indépendamment. Dans cette recherche, Miyake et al. (2000) se sont focalisés sur les composantes de base les plus souvent citées : l'alternance de tâches (*shifting*) ; la mise à jour des représentations en mémoire de travail (*updating*) et

l'inhibition, mécanisme responsable de la suppression des réponses dominantes. Pour les auteurs, ces trois composantes exécutives sont de bas niveau et peuvent être facilement opérationnalisées. Sur cette base, ils choisissent parmi les tests exécutifs traditionnels trois tâches censées mesurer chacune des composantes choisies (*shifting, updating* et inhibition). La part commune aux trois tâches permet de faire apparaître les trois composantes étudiées comme variables latentes à travers une analyse factorielle confirmatoire (figure 6). Les données sont compatibles avec le modèle à trois variables latentes mais ne permettent pas de rejeter le modèle à une variable latente unique.

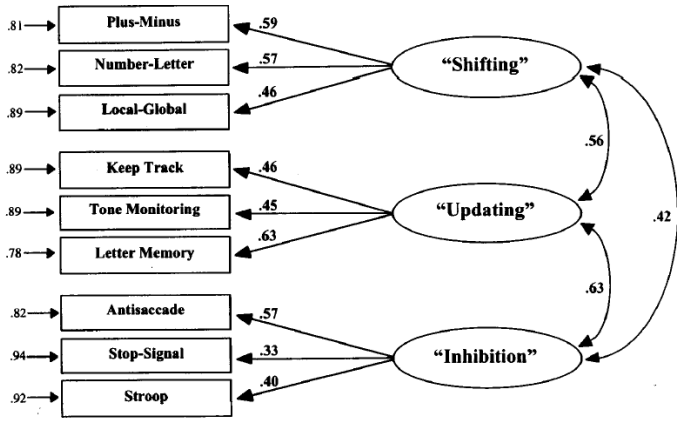


Figure 6 **:** Diagramme indiquant les résultats de l'analyse confirmatoire et précisant les tâches utilisées pour représenter chacun des facteurs latents (*shifting, updating, inhibition*). Miyake et al. (2000, p.70)

Les résultats indiquent que les trois composantes exécutives d'inhibition, de s*hifting* et d'*updating* testées sont clairement distinguables : les tâches considérées comme mettant en jeu une même composante exécutive présentent des corrélations significatives entre elles et ne corrèlent pas aussi fortement avec les autres tâches évaluant une composante exécutive différente. Cependant, malgré cette distinction, il apparaît clairement qu'elles partagent une capacité sous-jacente, une fonction commune. Ce point commun est, selon les auteurs, le maintien du but de l'information contextuelle en MdT (plan d'exécution, informations pertinentes) et l'inhibition : les trois composantes exécutives nécessitent des capacités d'inhibition. Le *shifting* nécessite d'inhiber l'information qui devient non pertinente afin d'activer une information nouvelle. A cause de la capacité limitée de la MdT, la mise à jour nécessite également d'éliminer ce qui est devenu non pertinent afin de "faire de la place" pour l'information appropriée (Arbuthnott & Frank, 2000). L'inhibition et la mise à jour qui sont généralement perçues comme des entités séparées (Dempster, 1992 ; Lehto, Juujärvi,

Kooistra, & Pulkkinen, 2003 ; Nigg, 2000) sont ici des composantes distinctes bien que corrélées.

Baddeley (1996, 2000 ; Bayliss, Jarrold, Baddeley et al., 2005) propose que le centre exécutif se compose de quatre capacités distinctes ou composantes : la capacité à coordonner deux actions, la capacité a prendre en compte sélectivement un stimulus en inhibant l'effet distracteur des autres, la capacité à rompre les stratégies de rappel, la capacité de récupérer et manipuler les informations en MLT. Ces résultats sont en accord avec des conceptions qui avancent à la fois le lien et la diversité des composantes exécutives (Duncan, Johnson, Swales, & Freer, 1997) et avec celles antérieures portant sur des populations d'adultes sains (Burgess, 1997 ; Parkin & Lawrence, 1994 ; Shute & Huertas, 1990), de patients atteints de lésions cérébrales (Duncan et al., 1997) ou d'adolescents (Lehto, 1996).

Afin de déterminer si les performances aux tests de CE dépendent de la capacité en MdT, Lehto (1996) étudie chez des adolescents de 15-16 ans, le lien entre des tâches de MdT et trois tests exécutifs. Les tâches de MdT correspondaient à des tâches d'empan simple (*Digit-span et Word-span*), d'empan complexe (S*entence-Word Span, Opération-Word Span*) et de mise à jour et de rappel immédiat de chiffres à rebours mesurant le stockage et/ou le traitement en MdT. Les tâches exécutives présentées étaient le *Wisconsin Card Sorting Test* (tris de carte où le critère de catégorisation varie), la Tour de Hanoï (déplacer des disques pour aboutir à une disposition finale en un minimum de coups) et la « Tâche de recherche de but » qui consiste à remettre des blocs dans le même ordre que celui présenté par l'expérimentateur. Lehto (1996) observe que la plupart des tâches d'empan simple de MdT corrèlent fortement et que les mesures d'empan complexes et la tâche de mise à jour corrèlent également. Parmi les trois tests exécutifs, le WCST (censé mesurer à lui seul l'efficience des trois composantes exécutives de base) corrèle avec les tâches de MdT. De plus, les trois tests exécutifs ne sont pas corrélés entre eux. Même si ces résultats ne permettent pas d'exclure totalement l'existence d'une composante centrale et générale (« le » CE), plusieurs composantes de CE peuvent fonctionner tout à fait indépendamment. Gaonac'h et Larigauderie (2000) concluent également à un centre exécutif non unitaire comprenant un ensemble de composantes exécutives qui opèrent de façon plutôt autonome en étudiant les corrélations entre les performances des sujets à différentes tâches évaluant les composantes exécutives.

L'existence d'un CE non unitaire est confirmée par la suite chez les enfants par Lehto et al. (2003) qui examinent les dimensions du fonctionnement exécutif chez des enfants de 8-13 ans, à partir des trois composantes exécutives distinguées par Miyake et al. (2000) chez les adultes : mise à jour en MdT, inhibition et alternance. Huit tâches mesurant ces différentes composantes sont utilisées (batterie de tests neuropsychologiques automatisée -CANTAB- et NEPSY notamment). Les résultats des analyses factorielles confirmatoires et exploratoires indiquent que trois facteurs relativement séparés sont extraits, tandis que des corrélations modestes ($r < .40$) sont obtenues entre ces facteurs.

Plus récemment, Friedman et al. (2008) abordent cette question de l'unicité-diversité des composantes exécutives d'un point de vue de l'origine génétique, en réalisant une étude auprès de jumeaux partageant le même patrimoine génétique. Ils souhaitent déterminer pourquoi les individus présentent des variations dans leurs capacités de CE et pourquoi les capacités d'inhibition, d'alternance et de mise à jour sont à la fois corrélées et séparables. Les résultats des analyses factorielles confirmatoires et des ACE exploratoires indiquent que les capacités de CE sont sous l'influence de facteurs génétiques : les jumeaux monozygotes obtiennent des profils de performances proches, indépendants du niveau d'intelligence générale ou de la vitesse d'identification perceptive. Ces influences génétiques s'appliqueraient à un niveau général (sur les trois composantes exécutives) mais également à un niveau spécifique (sur la mise à jour et l'alternance), ce qui expliquerait pourquoi ces composantes sont à la fois indépendantes et corrélées.

La pluralité des fonctions du CE fait aujourd'hui l'objet d'un consensus de plus en plus important.

.1.3 *Descriptions des différentes composantes exécutives*

Les processus exécutifs les plus fréquemment étudiés sont l'alternance, la mise à jour en MdT, l'inhibition, et un processus plus complexe, la planification (Bull, Espy, & Senn, 2004 ; Lehto et al., 2003 ; Miyake et al., 2000). Les termes utilisés dans la littérature pour désigner ces composantes sont très variables et instables : flexibilité mentale, alternance, coordination, inhibition, suppression, mise à jour, planification, résolution de problèmes, catégorisation, etc. ; d'où l'importance de décrire plus précisément ces différentes composantes.

.1.3.1 Alternance

D'après le modèle de Norman et Shallice (1980) le SAS gère la capacité à alterner entre deux tâches ou deux séries. Cette composante dite de *shifting* est un aspect important du CE. L'alternance conduit au désengagement d'une stratégie devenue non pertinente et à l'engagement dans une nouvelle stratégie plus pertinente. Elle permet le désengagement volontaire de l'attention d'une information non pertinente et son engagement volontaire sur l'information devenue pertinente. Cette composante est classiquement évaluée au moyen de tâches exigeant d'alterner le type de réponse attendue d'un essai à l'autre dans un ordre prévisible ou non.

La conception d'alternance peut être rapprochée de celle de flexibilité qui désigne la capacité à s'adapter au changement lorsque, dans des situations nouvelles, les stratégies disponibles, précédemment efficaces, ne le sont plus. Être flexible c'est percevoir la situation sous un autre angle et être capable d'élaborer des stratégies nouvelles plus efficaces (Seron, Van der Linden, & Andrés, 1999). Il existerait différents niveaux de flexibilité : spontanée ou réactive (Clément, 2006).

De même, le processus d'alternance est proche de celui de coordination. Il se réfère à la capacité de conduire deux tâches simultanément en répartissant des ressources cognitives (Hegarty et al., 2000). Cette composante est notamment étudiée par le biais de tâches d'attention sélective ou de tâches coûteuses impliquant des modalités différentes telles que verbale et visuo-spatiale.

La coordination correspond à un changement entre des listes différentes mais homogènes (AAAA, BBBB), l'alternance à un changement entre des essais à l'intérieur d'une même tâche (ABABA) (Kray & Lindenberger, 2000 ; Rogers & Monsell, 1995). Les capacités d'alternance et de coordination seraient dépendantes de plusieurs facteurs : de la demande attentionnelle exigée par chacune des tâches, de l'expertise des individus dans l'une ou/et l'autre des sous-tâches, de la vitesse du traitement de l'information, de la ressemblance des systèmes de traitement impliqués par chacune des tâches ou des différences individuelles dans les ressources disponibles (Spikman, van Zomeren, & Deelman, 1996 ; Stablum, Leonardi, Mazzoldi, Ulmita, & Morra, 1994).

.1.3.2 Mise à jour

La composante de mise à jour des informations en MdT (*updating*) demande à l'individu de contrôler et de coder l'information présente selon sa pertinence. En fonction de la tâche, il doit modifier les informations maintenues en mémoire de travail en remplaçant les

anciennes par de nouvelles données plus adéquates. L'individu manipule activement les informations contenues en MdT.

.1.3.3 Inhibition

Le concept d'inhibition cognitive a été proposé en 1890 par James qui considérait l'attention « *comme la prise en compte par l'esprit sous une forme claire et précise d'un seul objet ou d'une seule suite d'idées parmi plusieurs possibles* ». Cette capacité nécessite que l'on renonce à certaines d'entre elles pour s'occuper efficacement des autres. La composante d'inhibition est l'une des plus fréquemment étudiées car de l'efficience des mécanismes inhibiteurs dépendront les performances cognitives. Par le double mouvement de 1/ l'activation des éléments pertinents et de 2/ l'inhibition des distracteurs, les performances s'en trouvent améliorées (Dempster & Corkill, 1999). Cette composante serait centrale et déterminerait le développement cognitif (Dempster, 1992 ; McDowd, Oseas-Kreger, & Filion, 1995). Elle est testée aussi bien par le biais de tâches de mémorisation que d'attention : paradigmes attentionnels comme le Stroop couleur, l'Amorçage Négatif, la tâche d'anti-saccade, tâches d'interférence proactive, d'attention sélective, de compréhension et de résolution de problèmes. Cependant, il n'y a pas de consensus quant au caractère général ou multi-varié de cette composante en particulier. Elle pourrait en effet cacher plusieurs mécanismes inhibiteurs distincts.

Généralement, l'inhibition correspond à un processus actif de suppression. Elle désigne la capacité à inhiber volontairement un contenu cognitif précédemment activé, une réponse réflexe, et empêcher l'intrusion d'informations non pertinentes en MdT (Carreti et al., 2005 ; Hasher, Zacks, & May, 1999). Pour Boujon et Lemoine (2002), l'inhibition présenterait plusieurs caractéristiques. Elle serait tout d'abord mise en œuvre dans les situations nouvelles pour lesquelles il n'existerait pas de réponse automatique adéquate. Elle serait guidée par les buts de la tâche et débuterait très précocement avant la sélection des informations pertinentes. Lorsque tous les éléments constitutifs de la tâche sont activés, elle entrerait en action de façon à supprimer tous les distracteurs. Une fois mise en place, elle pourrait se maintenir longtemps et pourrait se généraliser à d'autres objets, mais elle resterait dépendante du but fixé par la tâche et ne pourrait s'étendre à d'autres situations.
Friedman et Miyake (2004) subdivisent différemment l'inhibition en deux catégories : «l'inhibition réponse-distracteur » qui désigne la capacité à résister à l'interférence d'informations externes non pertinentes et à supprimer une réponse puissante et la

« résistance à l'interférence proactive » qui désigne la capacité à empêcher l'intrusion en mémoire d'informations qui ne sont plus pertinentes. Quant à May, Kane, et Hasher (1995), elles différencient la résistance à l'interférence (dans le sens « distraction ») qui a lieu pendant la sélection de l'information pertinente parmi des distracteurs, de l'inhibition qui a lieu après cette sélection et qui empêche ensuite l'activation d'une réponse concurrente en maintenant les informations non pertinentes hors de la MdT. Dans le même ordre d'idée, Hasher et Zacks (1988) postulent que le fonctionnement de la MdT est dépendant de deux processus liés à l'inhibition des informations non pertinentes : le premier concerne l'efficience à inhiber et le second concerne la capacité à résister à l'interférence. Pour sa part, Nigg (2000) suggère que l'inhibition peut être déclinée en trois sous-catégories inter-corrélées, à savoir : l'inhibition automatique, l'inhibition exécutive de l'attention et enfin l'inhibition motivationnelle. En 2003, Nigg propose de diviser le processus unitaire d'inhibition comportementale en deux processus de régulation comportementale, distincts mais qui fonctionneraient en parallèle : le contrôle conscient *alias* l'inhibition exécutive et le contrôle implicite. La première permet de stopper volontairement la réalisation d'une activité en cours sous l'influence de stimuli internes, la seconde permet également d'arrêter le déroulement d'une activité, mais de façon automatique en fonction de l'apparition soudaine de stimuli externes.

.1.3.4 Une composante plus complexe : la planification

Mises à part ces trois premières composantes, d'autres processus exécutifs sont étudiés et notamment des composantes de haut niveau, plus complexes, qui regroupent plusieurs de ces composantes de bas niveau précédemment décrites (Norman & Shallice, 1980). La planification en fait partie. Elle correspond à la capacité à programmer, à ordonner la séquence d'actions pour atteindre un but. Elle permet d'établir une séquence temporelle d'actions et des stratégies à mettre en œuvre.

La planification se caractérise par deux propriétés : l'anticipation et la schématisation, qui vont permettre à l'individu de construire une représentation des actions, des déplacements… avant l'exécution de la tâche. Elle peut être réalisée par une démarche ascendante ou descendante (Richard, 2004). Dans la démarche ascendante, l'individu construit un plan tout en mettant en œuvre une action. Ensuite, le plan peut éventuellement être modifié en fonction des informations obtenues lors de la réalisation des actions. Hoc (1987) délimite trois processus : la recherche et l'adaptation d'un plan familier utilisé auparavant pour résoudre une tâche similaire, l'abstraction d'un plan et enfin, sa remise en

question s'il n'apparaît pas/plus comme adapté. Dans la démarche descendante, l'individu part de ses connaissances préalables pour les particulariser et les rendre applicables à la situation. Hoc (1987) délimite également trois processus : la définition du sous but à partir d'un but général, le traitement des interactions entre buts et la particularisation d'un but.
Comparativement à l'alternance, la mise à jour et l'inhibition qui seraient des processus qui contrôlent, la planification correspondrait à un processus qui exécute : c'est-à-dire qui serait nécessaire pour que l'action soit menée à son terme (planification et exécution d'un programme, prise en charge des modifications éventuelles…). A ce titre, elle peut se rapprocher de la composante de « représentation/élaboration de situations problèmes » (Rabbit, 1997).

.2 Développement du CE

Pendant les deux dernières décennies, des avancées majeures ont été réalisées dans la compréhension du développement du CE. Différentes recherches ont tenté de déterminer à quel moment ces habiletés émergent, si elles se développent de manière continue ou discontinue, et à quel moment elles atteignent un niveau optimal (pour une synthèse récente à ce sujet voir Gaux & Boujon, 2007, voir également Diamond, 2002 ; Gaonac'h & Fradet, 2003).
Malgré l'étendue de ces recherches, les caractéristiques liées au développement du CE restent difficiles à préciser. La tâche est délicate puisque le CE est caractérisé par une multitude de sous-composantes et que chacune est susceptible de présenter une trajectoire développementale différente. De plus, des résultats hétérogènes et parfois contradictoires apparaissent ; ils sont la conséquence de la grande diversité des tâches employées pour étudier ce développement. Certaines sont initialement utilisées chez des adultes, d'autres sont spécifiquement adaptées aux enfants. Certaines ont pour objectif de mesurer une composante bien précise et d'autres le fonctionnement exécutif en général. De plus, *« trois approches méthodologiques distinguent les études : la première approche examine l'évolution distincte des performances à plusieurs tâches exécutives ; la deuxième approche appréhende cette évolution à travers les facteurs communs à plusieurs tâches exécutives, atténuant de la sorte la variabilité spécifique à chacune d'elles ; la troisième approche étudie cette évolution en manipulant le degré de mobilisation de chaque composante exécutive afin de mesurer leur effet et leur influence réciproque* » (Gaux & Boujon, p.266).

Toutefois, un consensus émerge dont nous ferons état dans cette partie. Nous aborderons dans un premier temps les caractéristiques du développement du CE dans son ensemble, nous préciserons ensuite son décours développemental ainsi que les explications apportées pour expliquer l'accroissement des capacités de CE.

.2.1 *Les caractéristiques du développement du CE*

.2.1.1 Un développement précoce

Une des particularités du développement du CE concerne sa mise en place précoce (avant l'âge d'un an). Une première ébauche du contrôle peut être observée chez des enfants en bas âge pendant le dernier trimestre de la première année. Rothbart (1988) et Schaffer (1984) ont observé des comportements témoignant d'un CE dès 8 ou 9 mois. A cet âge, les jeunes enfants approchent les nouveaux objets avec prudence, alors qu'à 6 mois ils ne présentent aucune retenue ou méfiance. Dès 8 mois, l'apparition de ce sentiment de crainte engendre un contrôle volontaire sur le comportement. Dès 9 mois, les enfants sont capables d'inhiber des réponses fortes mais non pertinentes pour la tâche en cours. Dans une situation expérimentale « A-non B » où un jouet est caché à un endroit « A », puis à un endroit « B », l'enfant, dès 9 mois, ne persiste plus à chercher l'objet sous le premier emplacement « A ». Il est capable d'utiliser la représentation mnésique la plus récente et d'inhiber la localisation ancienne et puissamment activée en mémoire (Diamond & Gilbert, 1989).

.2.1.2 Un développement progressif

Une seconde particularité concerne le développement progressif du CE jusqu'à l'adolescence voire jusqu'à l'âge adulte. Il suivrait un rythme irrégulier, plus soutenu durant l'enfance, puis plus lent de l'adolescence à l'âge adulte (Welsh, Pennington, & Groisser, 1991). Durant la phase d'évolution rapide, les chercheurs observent des pics de développement survenant généralement durant une période de 3 à 5 ans, puis vers l'âge de 8 ans et vers l'âge de 11 ans (Anderson, Anderson, Northam, Jacobs, & Catroppa, 2001 ; Brocki & Bohlin, 2004 ; Garon, Bryson , & Smith, 2008).

Cepeda, Kramer, et Gonzalez de Sather (2001) ont étudié l'évolution du CE au long de la vie, de 7 à 82 ans. Ils se sont attachés tout particulièrement aux habiletés responsables de la planification et du contrôle de l'interférence qui permettent d'alterner avec souplesse deux

tâches ou deux réponses différentes. Ils observent que dans une situation d'alternance de tâches, le coût de l'alternance est plus important pour les jeunes enfants et pour les adultes âgés (courbe en U inversé). La capacité à maintenir et manipuler deux tâches différentes en MdT serait présente mais non encore entièrement développée chez les jeunes enfants de 7-9 ans (Dibbets & Jolles, 2006 **;** Reimers & Maylor, 2005). Cette constatation a été confirmée par Crone, Somsen, Zanolie, et Van der Molen (2006) qui ont demandé à des enfants de 8-10 ans, 12-14 ans et 16-18 ans, de réaliser une tâche d'alternance dans laquelle des feedbacks positifs ou négatifs indiquaient les règles à suivre pour répondre correctement. Ils ont observé que le nombre d'erreurs de persévération diminuait avec l'âge. Le rythme cardiaque des participants a également été analysé. Il fournit des informations précises sur la façon dont les enfants contrôlent les *feedbacks*. Il s'avère qu'à 8-10 ans, les enfants sont déjà capables de les analyser (le rythme cardiaque diminue de manière similaire chez tous les enfants lorsqu'un *feedback* indique un changement de règle). Par contre, seuls les enfants de plus de 12 ans montrent un ralentissement du rythme cardiaque après avoir commis une erreur. Ceci suggère que la capacité à contrôler les performances *online* n'a pas encore atteint un niveau adulte à 8-10 ans et qu'elle continue à se développer avec l'âge.

Au début de la vie, les capacités de contrôle des enfants seraient donc présentes mais fragiles et ne seraient mobilisables que sous certaines conditions.

.2.1.3 Un contrôle hésitant et dépendant du contexte (3-4 ans)

Les premières manifestations d'un CE seraient hésitantes et très dépendantes du contexte et de la complexité de la tâche. Carlson, Davis, et Leach (2005) montrent que vers 3-4 ans, les enfants sont capables d'alterner ou d'inhiber leurs réponses dans certains cas, mais pas dans d'autres. Ils utilisent un test de fonctions exécutives « *Less is more* ». Le principe est de créer un conflit cognitif : l'enfant doit indiquer une récompense plus petite (deux confiseries) pour recevoir une plus grande récompense (cinq confiseries). Dans un premier temps, les auteurs remarquent que cette épreuve est corrélée avec l'âge, les enfants de 4 ans réussissent mieux l'épreuve que les enfants de 3 ans. Cependant, lorsque dans un deuxième temps, les confiseries sont remplacées par des représentations symboliques (petits cailloux, symboles d'animaux…) les enfants de trois ans améliorent leurs performances. Ces représentations symboliques permettent à ces jeunes enfants de prendre de la distance et d'associer des actions à des états mentaux. Cet effet est encore plus marqué lorsque les représentations symboliques utilisées sont éloignées des propriétés

saillantes de la récompense réelle. Par exemple, lorsque les confiseries sont remplacées par des symboles d'animaux plutôt que des petits cailloux.

De la même manière, Diamond, Kirkham, et Amso (2002) déterminent pourquoi les jeunes enfants de 4 ans et 4 ½ ans échouent à la tâche « Jour-Nuit », qui mesure la capacité à inhiber une réponse dominante. Dans cette tâche, l'enfant doit prononcer « Nuit » lorsque l'expérimentateur lui montre une image « Jour » et inversement. Les auteurs supposent dans un premier temps, que la difficulté provient de la charge mnésique trop élevée. Ils manipulent donc la tâche de façon à réduire cette charge. Pour ce faire, ils apprennent aux enfants à adopter une stratégie dite de « *chunking »* visant à regrouper les deux règles en une seule (« dire l'opposé »). Cette consigne ne permet aucune amélioration des performances. Par contre, le coût de l'inhibition est diminué lorsqu'ils demandent aux enfants de répondre "chien" et "cochon" au lieu de " nuit" et "jour". Lorsque la réponse activée et la réponse à inhiber sont sans rapport, les enfants réalisent la tâche plus facilement. Enfin, ces auteurs montrent que lorsqu'ils introduisent un délai entre le stimulus et la réponse attendue, les enfants font moins d'erreurs. A cet âge, il semble donc qu'ils soient capables d'inhiber mais ils ont besoin de plusieurs secondes pour déterminer la réponse. Les erreurs commises viennent du fait qu'ils ne s'accordent pas le temps nécessaire à la réflexion ; lorsque ce délai leur est imposé, ils obtiennent de bonnes performances (Cepeda, Kramer et al., 2001). Dans une étude plus récente, Diamond, Carlson, et Beck (2005) évaluent les performances d'enfants de 2 ans et demi à 3 ans et demi à l'épreuve standardisée du « *Dimensional Change Card Sort* ». Il s'agit d'alterner les modes de catégorisation d'items comportant plusieurs caractéristiques (forme, couleur…). Les items présentés sont soit des stimuli intégrés (la couleur et l'objet font partie d'un même ensemble, par exemple, un camion rouge), soit des stimuli aux dimensions séparées (par exemple, un camion noir sur un fond rouge). Les auteurs montrent que les enfants de 2-3 ans sont capables d'alterner efficacement les dimensions des objets sur lesquelles porte le tri, en inhibant le type de réponse précédemment adopté qui n'est plus pertinent. Cependant ce contrôle reste limité, car il n'est efficace que lorsque la couleur et la forme sont séparées, c'est-à-dire, lorsque le coût de l'inhibition est moindre. Récemment Pross, Gaonac'h, et Gaux (2008) ont étudié le développement de la MdT et de ces composantes (centre exécutif, BP et CVSP) chez des enfants de CE1 et de CM2. Ils ont montré à l'aide d'une nouvelle batterie d'évaluation des différents composants de la MdT que l'effet du matériel n'apparait pas pour toutes les épreuves exécutives proposées. Ces

résultats laissent supposer que le type de traitement exécutif (mise à jour, inhibition, alternance) et la nature du matériel interagissent et que le fonctionnement du CE dépendrait de la nature du matériel impliqué dans la tâche c'est-à-dire de la spécialisation de la BP et du CVSP.

.2.2 Un développement hétérogène

L'évolution des capacités de CE se prolonge tout au long de l'enfance et de l'adolescence. De manière plus précise, ce développement fluctue en fonction des sous-composantes exécutives concernées. Il semble en effet que chacune d'elles est susceptible de présenter une trajectoire développementale singulière (Lechuga, Moreno, Pelegrina, Gómez-Ariza, & Bajo, 2006 ; Pross et al., 2008). Entre 5 et 12 ans, les enfants seraient d'abord capables d'inhiber des informations non pertinentes, ils acquerraient ensuite des capacités de planification, puis d'attention soutenue et finalement des capacités de fluence (Visu-Petra, Benga, & Miclea, 2007).

Huizinga, Dolan, et van der Molen (2006) examinent les trajectoires développementales de trois composantes exécutives fréquemment étudiées : la mise à jour, l'alternance et l'inhibition telles que définies par Miyake et al. (2000). Les participants âgés de 7, 11, 15 et 21 ans, réalisent neuf tâches expérimentales de base (trois tâches par composante exécutive) et deux tests standardisés : le WCST et la Tour de Londres. Les résultats indiquent que le niveau adulte est généralement atteint entre la fin de l'enfance et le début de l'adolescence, vers 12-13 ans. La capacité à inhiber une réponse fortement activée à la tâche de Stop-Signal (choisir de répondre ou non à un stimulus selon que ce stimulus est suivi ou non par une information contraire) et la capacité à contrôler la compétition entre des réponses s'améliorent rapidement à l'âge de 11 ans. A cette même période (entre 11 et 15 ans), les performances obtenues aux épreuves du WCST et de la Tour de Londres sont proches du niveau adulte. Ces données corroborent les données de Anderson, Anderson et al. (2001) qui montrent des améliorations des capacités de planification et de résolution de problèmes autour de 12 ans, période fréquemment associée aux pics développementaux, tant d'un point de vue neurophysiologique que cognitif. Cependant, les analyses de co-variance de Huizinga et al. (2006) soulignent que la composante exécutive de mise à jour en mémoire et celle d'alternance ne sont pas matures au même moment. L'alternance atteint son niveau optimal à l'adolescence alors que les capacités de Mise à jour en mémoire se développe encore entre 15 et 21 ans (les mêmes constatations sont apportées

par Cepeda, Kramer et al., 2001 ; Gathercole, Pickering, Ambridge, & Wearing, 2004 ; Luciana, Conklin, Hooper, & Yarger, 2005 ; Luna, Garver, Urban, Lazar, & Sweeney, 2004).

Ce développement hétérogène toucherait les différentes composantes exécutives mais également les différents aspects d'une même composante. Ainsi, Nigg (2000) et Dempster (1992) montrent que les différents types d'inhibition n'arrivent pas à maturité au même moment. Par exemple, les enfants de 8 ans exécutent des tâches *Go–No Go* (réagir à un stimulus et s'abstenir de toute réaction face à un autre stimulus) aussi aisément que ceux de 10 et 12 ans, tandis que les performances obtenues aux tâches de Stroop (donner la couleur de l'encre dans laquelle sont écrits des noms de couleur) et de Stop-signal atteindraient leur niveau optimal vers 16-17 ans.

Ces différents résultats qui se recoupent pour conclure à un développement progressif du CE, ponctué par des pics de développement et à des trajectoires hétérogènes, doivent être considérés avec discernement car ils sont issus de recherches qui étudient séparément les différentes composantes exécutives. En effet, d'autres méthodologies s'attachant à décrire le développement conjoint de ces composantes exécutives et leurs interactions, n'aboutissent pas exactement aux mêmes conclusions. Par exemple, Davidson, Amso, Cruess Anderson, et Diamond (2006) proposent à des enfants de 4 à 13 ans et à de jeunes adultes diverses épreuves de CE en manipulant la charge mnésique, l'inhibition et la flexibilité cognitive. Ces composantes peuvent être présentées soit indépendamment soit simultanément. Les auteurs rapportent une mise en place progressive du contrôle et concluent à une interdépendance des différentes composantes exécutives.

.2.3 *Les explications de ce développement*

Plusieurs explications peuvent être apportées pour expliquer le développement des compétences exécutives. Certains auteurs avancent l'idée d'une augmentation de la quantité d'informations pouvant être stockées en mémoire de travail. Elle permettrait de mémoriser plus efficacement les règles de la tâche, de stocker et de manipuler les informations de nature différente. Les enfants seraient alors plus performants aux tâches complexes exigeant la mise en œuvre d'un CE. Par exemple, lorsque la tâche devient familière ou lorsque l'accès à l'information et les traitements deviennent plus rapides, des ressources sont libérées, permettant la réalisation d'une tâche concurrente. Cette hypothèse

de l'accroissement des capacités de stockage est opposée aux conceptions qui mettent en avant l'amélioration des capacités fonctionnelles. Dans ce cas, les capacités de stockage resteraient constantes mais pourraient être améliorées grâce au perfectionnement des traitements. En devenant plus efficaces, précis et rapides, ils réduiraient la quantité de ressources nécessaires à leur mise en œuvre. Une autre explication soutenant l'amélioration des capacités fonctionnelles concerne l'augmentation des ressources attentionnelles. L'élévation des capacités attentionnelles permettrait la mise en œuvre plus efficace des traitements (Swanson, 1999).

L'amélioration des performances de CE pourraient également s'expliquer par l'accroissement des capacités d'inhibition (Baughman & Cooper, 2007 ; Boujon & Lemoine, 2002 ; Houdé, 2000). Avec le temps, les enfants deviendraient capables de supprimer les informations distractives, de gérer la compétition de réponses en inhibant des réponses automatiques sur-apprises non pertinentes. Plus la quantité d'informations pouvant être inhibée serait grande, plus la tâche serait réalisée efficacement.

Une autre explication adopte un point de vue neurophysiologique. Les différents résultats obtenus par les enfants d'âges différents aux tâches de CE sont mis en parallèle avec des études en neurophysiologie qui étudient le développement cérébral et plus particulièrement la maturation du Cortex Pré Frontal (CPF). Cette zone modulerait les processus de contrôle et se développerait progressivement jusqu'à l'âge adulte (Diamond, Kirkham et al., 2002 ; Luna et al., 2004). Le développement du CPF se caractériserait par l'augmentation de la myélinisation et de la taille des synapses, ainsi que par l'amélioration des liaisons synaptiques : certaines étant renforcées, d'autres supprimées. Cette maturation permettant une meilleure propagation du signal au niveau cérébral. Il faudrait attendre l'âge de 12 ans environ pour que le lobe frontal soit fonctionnellement mature (Luciana & Nelson, 1998 ; Luciana et al., 2005) et encore quelques années supplémentaires pour que ces fonctions préfrontales soient suffisamment développées pour permettre la réalisation de tâches de haut niveau (Casey, Giedd, & Thomas, 2000 ; Luciana et al., 2005).

Pour conclure, le développement des composantes exécutives montre une progression précoce, progressive et hétérogène. Toutefois, une variabilité inter-études apparaît. Cette variabilité est probablement due à des différences de méthodologie et aux multiples tâches employées. Ceci conduit à s'interroger sur la pertinence méthodologique de certains travaux et à souligner l'importance de proposer aux enfants des tâches précises, mesurant une habileté particulière et non pas un ensemble flou et complexe d'habiletés plus ou

moins bien définies. Plusieurs précautions nous semblent importantes : cibler la composante exécutive testée pour éviter les interprétations erronées des données liées à la présence simultanée de plusieurs composantes (Gaux & Boujon, 2007) ; proposer un matériel permettant de dissocier l'effet des traitements du matériel (vitesse d'accès à l'information en MLT, effet sur le fonctionnement des systèmes esclaves) de l'effet lié au contrôle lui-même (pureté de la tâche ; Gaux & Boujon, 2007). Pour pouvoir tester le contrôle, il semble également important de manipuler la complexité de la tâche en termes de coût cognitif dans la mesure le contrôle se manifeste quand la charge n'est pas dépassée dans les modèles où le coût cognitif a une influence sur le contrôle. Enfin, la création de tâches spécifiquement adaptées aux enfants, et non pas seulement des épreuves simplifiées issues de batteries de tests initialement destinées aux adultes, est essentielle. Les tâches doivent être adaptées aux autres acquisitions développementales, les aptitudes et le fonctionnement cérébral n'étant pas strictement identiques chez l'adulte et l'enfant (Gnys & Grant-Willis, 1991).

.3 Le rôle du CE dans les apprentissages

Le mécanisme de CE est particulièrement important dans les apprentissages, que ce soit pour résoudre un problème arithmétique (Andersson & Lyxell, 2007), écrire (Alamargot, Lambert, & Chanquoy, 2005), lire (Swanson, 1999, 2003), utiliser un hypermédia (Amadieu & Tricot, 2007) ; ou réguler ses comportements (Gathercole, Alloway, Willis et al., 2006) afin de suivre efficacement un cours en écoutant l'enseignant, en notant les informations, et en regardant le tableau, comportements qui sont couramment associés aux capacités d'attention (pour une revue de questions sur le rôle du CE dans les apprentissages, voir Gaonac'h & Fradet, 2003 ; Gaonac'h & Larigauderie, 2000 ou encore Gaonac'h, 2005).

Ces activités nécessitent plus de contrôle lorsque l'individu est novice c'est-à-dire en situation d'apprentissage. Apprendre, c'est acquérir de nouvelles connaissances, enrichir ses informations en MLT, modifier son comportement. Dans un premier temps, puisque ces nouvelles modifications ne sont pas encore intégrées et automatisées, l'apprenant contrôle son activité et ses réponses. Il refreine les associations stimulus-réponse sur-apprises qui ne sont plus pertinentes ou plus assez efficaces. Avec le temps et l'expertise, de nouvelles associations automatiques se mettront en place.

Le rôle du CE dans les apprentissages et les habiletés scolaires est étudié en comparant les performances obtenues par des novices et des experts d'un domaine d'apprentissage à des tâches exécutives. Il est également étudié en comparant les performances de groupes d'enfants faibles et normo-apprenants ou encore en comparant ces groupes à des enfants présentant un Trouble Déficitaire de l'Attention avec Hyperactivité (TDAH) considérant que le trouble à l'origine de ce syndrome est exécutif.

.3.1 *Etudes comparatives confirmant les difficultés de CE*

.3.1.1 Contrôle exécutif et difficultés d'apprentissage autres que la lecture

- Contrôle exécutif et arithmétiques

Réaliser des calculs arithmétiques requiert un contrôle attentionnel car en général ces opérations exigent de coordonner l'exécution de plusieurs tâches plus ou moins simultanées : il s'agit de maintenir la règle principale de l'opération, la retenue, les totaux partiels des différents résultats (et de les mettre à jour), d'activer des informations apprises (tables de multiplication par exemple) et de vérifier le résultat obtenu (la réponse est-elle socialement et mathématiquement acceptable ?). De plus, ces opérations obligent souvent à alterner entre différents traitements (multiplier nécessite à un moment ou à un autre d'additionner). Il faut également réussir à diriger son attention sur certaines parties de l'opération ou du problème et à inhiber des informations non pertinentes. Cette capacité à contrôler les distracteurs en les inhibant serait une compétence fondamentale dans la résolution de ce type de problème.

Les recherches évaluant le lien entre le CE en MdT et les compétences en arithmétiques chez les enfants en difficultés sont nombreuses (Andersson & Lyxell, 2007 ; Geary & Hoard, 2001 ; Lemaire, Abdi, & Fayol, 1996 ; Passolunghi et al., 1999 ; Passolunghi & Siegel, 2001 ; Siegel & Ryan, 1989 ; Swanson, 1993 ; Swanson & Kim, 2007 ; Swanson & Sachse-Lee, 2001). Les résultats de ces études suggèrent un déficit de CE en MdT. Il toucherait plus spécifiquement les capacités d'inhibition des informations non pertinentes (par exemple, nombre important d'intrusions dans les tâches de mémoire) ou associées à des déficits phonologiques et visuo-spatiaux. Passolunghi et Siegel (2004) confirment ce point de vue en considérant que la MdT et le déficit d'inhibition sont connectés à d'autres facteurs généraux comme des déficits d'attention sélective ou de la vitesse de traitement. Van der Sluis, de Jong, et van der Leij (2004) montrent que des enfants présentant des

difficultés en arithmétiques obtiennent de faibles performances aux tâches de *Trail Making Test* et aux tâches de dénomination rapide qui mettent en jeu à la fois l'inhibition et le *shifting* (description de ces tâches, page 112). Selon ces auteurs, ces difficultés proviendraient d'un oubli provisoire des buts de la tâche dans un contexte de compétition ou d'une difficulté plus générale à activer et à coordonner des composantes exécutives différentes.

- ❖ Contrôle exécutif et production écrite

Comme pour les opérations arithmétiques, le CE est impliqué de façon similaire dans la production écrite de textes (Altemeier, Jones, Abbott, & Berninger, 2006). Cette activité nécessite de réaliser de multiples traitements souvent contraignants (Flower & Hayes, 1980). Rédiger exige de formuler du texte, de passer du niveau conceptuel au niveau linguistique, de planifier et d'organiser les contenus, de récupérer des connaissances en MLT (forme orthographique des mots…), de maintenir temporairement des représentations en mémoire (mot du début de phrase, produit d'une première réalisation, objectifs rédactionnels, contraintes…), d'exécuter le tracé et enfin de mettre en œuvre une procédure de révision du texte pour détecter des erreurs, des oublis ou des incohérences. La diversité des connaissances et traitements mis en jeu exige un contrôle délibéré de la part du rédacteur.

Le CE permet 1/ la planification des connaissances qu'il récupère et organise de telle sorte que le texte rédigé soit cohérent à tous les niveaux ; 2/ la formulation du texte, et notamment la gestion des procédures orthographiques lexicales et grammaticales ; 3/ l'exécution à proprement parler, c'est-à-dire l'acte physique du tracé ; ce geste moteur nécessite de récupérer en MLT les connaissances sur la forme des lettres, les paramètres du geste graphique et de les adapter au support, au contexte… Enfin le CE est engagé dans 4/ la révision du texte : correspond-t-il à mon intention initiale, si non, quelles modifications sont nécessaires pour réduire l'écart (Alamargot et al., 2005) ?

En considérant les modèles les plus influents dans ce domaine, il est possible de remarquer que le modèle de Hayes et Flower (1980) comprend un processus de contrôle (instance générale de gestion) qui régente le bon déroulement de la rédaction, c'est-à-dire qui peut activer ou interrompre toutes les autres procédures de rédaction : la planification, la mise en texte et la révision. De même, le modèle de Kellogg (1996), qui s'appuie sur le modèle de MdT de Baddeley (1986), comprend des systèmes de formulation (planification), d'exécution (programmation) et un module de contrôle (édition et rédaction) qui exigent

tous, l'intervention d'un CE (associé ou non à un système esclave BP ou CVSP) (pour une revue de questions à ce sujet voir Chanquoy & Alamargot, 2002 ; Olive & Piolat, 2005).
Il est ainsi particulièrement coûteux de gérer la coordination de ces différentes procédures tout au long de la rédaction d'un texte. Le contrôle exigé sera d'autant plus important que le rédacteur sera peu expérimenté (Flower & Hayes, 1980). L'étude du CE dans l'activité rédactionnelle est étudiée au moyen de comparaisons entre rédacteurs novices et experts et portent sur la façon dont ces deux groupes sont susceptibles d'allouer les ressources aux différentes procédures (Olive, Piolat, & Roussey, 1997). Ces études soulignent que chez les rédacteurs les plus efficients, la procédure de rédaction est relativement automatique. Ils possèdent davantage de connaissances, utilisent des stratégies de planification consistant à établir des plans d'action et des objectifs à atteindre (Fayol, 1992 ; Hayes et al., 1987, cités par Favart & Olive, 2005). Ils portent plus d'attention aux procédures de révision et détectent donc plus facilement des erreurs ou des problèmes d'incohérence. Ils réalisent une révision en profondeur qui se fonde non seulement sur la forme (niveau lexical, erreurs orthographiques) mais aussi sur le fond (niveau sémantique, argumentation générale).

.3.1.2 Dysfonctionnement du CE chez les enfants présentant des TDAH

De par les liens qui unissent le CE et l'attention, le rôle du premier a souvent été étudié par le biais de la seconde et plus spécifiquement *via* des études sur les enfants présentant des troubles déficitaires de l'attention avec hyperactivité (TDAH).
Plusieurs auteurs mettent en avant les similitudes entre les symptômes des individus présentant des TDAH et ceux des patients cérébro-lésés frontaux et proposent que les TDAH soient reliés à un déficit exécutif (Barkley, 1997 ; Pennington & Ozonoff, 1996 ; Tannock, 1998).

Les études réalisées chez les individus présentant des TDAH mettent en avant des déficits particuliers dans certaines composantes exécutives. Oades et Christiansen (2008) proposent une tâche d'alternance local-global (inspirée de l'étude de Cepeda, Cepeda, & Kramer, 2000) composée de suites de chiffres et où la réponse porte sur le nombre de chiffres ou sur leur valeur. Le groupe d'individus présentant des TDAH obtient des temps de réponse plus lents (vitesse de traitement plus faible et plus grande variabilité), ce qui tend à prouver, selon les auteurs, qu'il présente un déficit dans la composante exécutive d'alternance. Ce déficit pourrait être associé à des difficultés de maintien de l'attention et

d'organisation des réponses appropriées, ce qui aurait un effet modérateur sur les performances. Selon Hurks, Adam, et Hendriksen (2005), les difficultés des individus présentant des TDAH dans la production et l'exécution de tâches pourraient provenir d'un déficit concernant le contrôle de la préparation visuomotrice. Les auteurs testent les performances d'enfants avec TDAH (la vitesse, la variabilité de vitesse et l'exactitude) au test « *finger precuing* ». Dans ce test, une pré-consigne apparaît avant le stimulus cible, qui indique au sujet quel(s) doigt(s) et quel(les) main(s) utiliser pour répondre au stimulus. Enfin, le délai entre la pré-consigne et l'apparition de la cible varie constamment. Les données indiquent que les enfants avec TDAH ne font pas plus d'erreurs mais obtiennent des temps de réponse plus lents et surtout une plus grande variabilité des performances. Ils ont des difficultés à réaliser des tâches cognitivement coûteuses et à contrôler les processus de préparation visuo-motrice. Mason, Humphreys, et Kent (2004) examinent par le biais d'imageries fonctionnelles, l'activation cérébrale lors de tâches d'inhibition motrice chez des enfants et adolescents hyperactifs (TDAH) qui n'ont pas de traitements médicamenteux. Les participants sont testés sur leurs capacités d'inhibition des réponses motrices (go/no-go), d'inhibition d'interférence cognitive (la tâche motrice de Stroop) et de flexibilité cognitive (alterner deux types de réponses). Les auteurs observent une activation cérébrale atypique lors de la réalisation des tâches engageant l'inhibition motrice ou l'alternance de tâche.

Certaines études tendent à considérer les difficultés de CE des enfants avec un TDAH comme le résultat d'un déficit spécifique d'inhibition (Verté, Geurts, Roeyers, Oosterlaan, & Sergeant, 2006). Bayliss et Roodenrys (2000) testent les performances d'enfants présentant des TDAH à des tâches nécessitant l'inhibition de réponses fortement activées mais non pertinentes : l*e Star Counting test* (additionner lorsque « - » apparaît et soustraire lorsqu'un « + » apparaît), le test de Hayling (compléter la fin d'une phrase par un mot sans rapport) et un test de génération aléatoire (test d'anticipation spatiale du Brixton). Les enfants du groupe présentant des TDAH sont significativement plus faibles que ceux du groupe contrôle au « *Star Counting test»,* confirmant l'hypothèse d'un déficit spécifique d'inhibition, particulièrement lorsqu'une réponse non pertinente est fortement suggérée par la tâche. Concernant les modèles explicatifs des TDAH, tous accordent également un rôle spécifique à la composante exécutive d'inhibition bien qu'ils diffèrent quant à la définition précise et au rôle qu'ils lui attribuent. Ceci s'explique d'abord par le

manque de consensus sur la définition d'inhibition, et ensuite par le fait que l'inhibition peut être considérée comme primaire ou secondaire dans les déficits de TDAH.

Les études portant sur des enfants présentant des TDAH montrent donc que ce trouble est associé à des troubles exécutifs, en particulier d'inhibition. Une autre particularité de la population présentant un TDAH est qu'elle est associée à un certain nombre de troubles sur le plan scolaire notamment. De nombreuses études mettent en avant une comorbidité entre TDAH et difficulté d'apprentissage de la lecture. (Tannock, 1998 ; Wu, Anderson, & Castiello, 2002). Cette constatation permet de faire le lien entre la capacité de CE et les difficultés d'apprentissage.

- ❖ Difficultés d'apprentissage chez les enfants présentant des TDAH

De manière générale, 20 à 30% des enfants présentant des TDAH ont des résultats scolaires inférieurs à ce que leurs capacités intellectuelles pourraient leur permettre d'obtenir (Colledge & Blair, 2001 ; Duché, 1996). Les activités scolaires qui requièrent une forte concentration, une avancée progressive et une autogestion des comportements et des stratégies à mettre en œuvre sont celles qui sont le plus difficilement réalisées (Zentall, 1990).

Ce lien entre attention et réussite scolaire est démontré par Mayes, Calhoun, et Crowell (2001) qui vérifient la présence de problèmes d'apprentissage chez les enfants présentant des TDAH, et inversement, la présence de problèmes d'attention chez les enfants manifestant des difficultés d'apprentissage. Pour atteindre ces objectifs, une étude comparative entre quatre groupes d'élèves de 8/16 ans est mise en place : groupe 1 : troubles d'apprentissage (TA) avec TDAH ; groupe 2 : TDAH sans TA ; groupe 3 : TA sans TDAH et groupe 4 : absence de TDAH et de TA. Dans l'ordre, les groupes qui présentent les problèmes d'apprentissage les plus importants sont : le groupe avec TDAH, le groupe TA + TDAH, le groupe TA sans TDAH, puis le groupe ne présentant ni TDAH ni TA. Les résultats montrent que tous les enfants avec TDAH ont des difficultés à apprendre même s'ils ne répondent pas à tous les critères diagnostiques d'un TA. La présence d'un TDAH aggraverait les problèmes d'apprentissage.

- ❖ Difficultés spécifiques de l'apprentissage de la lecture chez les enfants présentant des TDAH

Des études tentent de différencier les troubles d'apprentissage, en lien avec les TDAH. L'un des troubles le plus souvent associé est la lecture. Il a été établi que TDAH et difficultés en lecture (DL) co-existent chez les enfants, mais il faut noter que sur ce point, les études soulignant la fréquence de ces difficultés d'apprentissage chez les enfants avec TDAH annoncent des taux très variables qui peuvent s'étendre de 15% à 50% (August & Garfinkel, 1990 ; voir aussi Hinshaw, 1992 pour une revue sur la question). De 25% à 40% des individus TDAH présenteraient des DL (Dykerman & Ackerman, 1991), tandis que 15% à 40% d'individus avec des DL présenteraient les critères des TDAH (Willcutt & Pennington, 2000).

Ces études divergent quant aux interprétations qu'elles proposent pour expliquer cette association DL / TDAH. Comme le soulignent Pennington, Groisser, et Welsh (1993), la présence d'une comorbidité peut s'expliquer de plusieurs façons. Un trouble A peut causer un trouble B ; ou inversement, un troisième facteur peut être à l'origine des troubles A et B, ou enfin, aucun trouble n'est à la base de cette comorbidité et l'association de ces deux troubles ne serait qu'une sorte d'artefact. Les recherches tentent donc de déterminer si les déficits proviennent du TDAH ou des DL en particulier, d'une combinaison des deux ou d'un trouble sous-jacent commun aux deux difficultés observées.

L'hypothèse « d'étiologie commune » suggère que la comorbidité DL et TDAH est attribuable à des influences étiologiques communes (régions chromosomiques ou gènes communs) qui augmenteraient le risque de comorbidité (Faraone, Doyle, Mick, & Biederman, 2001 ; Willcutt, Pennington, Olson, Chhabildas, & Hulslander, 2005).

L'hypothèse « phenocopy » (Pennington, 2003 ; Pennington et al., 1993 ; Willcutt, Pennington, Olson et al., 2005 ; Willcutt, Pennington, Olson , & DeFries, 2007) considère que lorsqu'un trouble A engendre un trouble B, il peut simplement produire les symptômes du deuxième trouble, sans engendrer de troubles plus profonds (déficit cognitif ou cérébral particulier). Un enfant peut être inattentif en classe, non pas à cause de difficultés neurocognitives (observées dans les cas de TDAH purs) mais parce que ses difficultés en lecture le frustrent et l'empêchent de suivre correctement (Pennington et al., 1993). Inversement, les enfants avec TDAH, qui ont du mal à maintenir leur attention tout au long de la lecture d'un texte, ont plus de risques de le lire en surface et de manière incomplète, ce qui peut engendrer des problèmes de compréhension. Dans cette hypothèse, le groupe comorbide devrait manifester le même pattern de déficits neuropsychologiques que le

groupe présentant un trouble pur à l'origine de l'apparition des symptômes secondaires. Selon August et Garfinkel (1990), Bonafina, Newcorn, McKay, Koda, et Halperin (2000), Pennington et al.(1993), les enfants avec une comorbidité TDAH/DL ont des désordres davantage semblables à ceux avec des DL qu'avec ceux présentant un TDAH seulement.
Enfin, l'hypothèse de sous-types cognitifs « *cognitive subtype hypothesis* » (Rucklidge & Tannock, 2002) suggère que la comorbidité DL/TDAH est le résultat d'un troisième trouble : le groupe comorbide présente des troubles différents ou plus prononcés que ceux présents lorsque TDAH ou les DL surviennent séparément ; il ne s'agit pas d'une simple juxtaposition (addition) des désordres (Bental & Tirosh, 2007). Le groupe comorbide TDAH/DL est présenté comme étant plus faible sur certaines tâches (par exemple en dénomination de couleurs) que les groupes ayant soit des DL soit des TDAH purs. D'autres études montrent que le groupe comorbide obtient des performances plus faibles dans des tâches d'attention/contrôle et phonologiques/linguistiques que les groupes présentant exclusivement un des ces deux désordres (Nigg, Hinshaw, Carte, & Treating, 1998 ; Willcutt, Pennington, Boada et al., 2001).

Contrairement à la première hypothèse qui suggère une base étiologique commune, donc des troubles communs aux deux difficultés, les deux dernières hypothèses supposent des influences étiologiques différentes, et prévoient donc une dissociation double significative entre DL et TDAH. En l'occurrence, beaucoup d'études utilisant des comparaisons entre DL et TDAH sur des tâches exécutives et phonologiques trouvent une double dissociation entre DL et TDAH : le groupe avec TDAH pur obtient de faibles performances aux tâches exécutives, mais pas aux tâches linguistique et phonologique ; le groupe avec des DL pures obtient le profil inverse, c'est-à-dire des troubles phonologiques mais des performances de CE correctes (August & Garfinkel, 1990 ; Pennington et al., 1993 ; Purvis & Tannock, 1997 ; Willcutt, Pennington, Boada et al., 2001).
Cependant, quelques études montrent une distinction moins claire entre les déficits fondamentaux pour les TDAH et les DL. Elles soulignent par exemple des différences significatives aux tâches exécutives entre les enfants avec TDAH avec et sans DL (Reader, Harris, Schuerholz, & Denckla, 1994). D'autres suggèrent que les enfants présentant des TDAH peuvent présenter des troubles phonologiques qu'ils aient ou non des DL (Bonafina et al., 2000 ; Swanson, Mink, & Bocian, 1999). D'autres enfin, que les DL sont associées à des déficits sur un certain nombre de tâches exécutives (Nigg et al., 1998 ; Purvis &

Tannock, 1997 ; Rucklidge & Tannock, 2002 ; Tannock, Martinussen, & Frijters, 2000 ; Willcutt, Pennington, Boada et al., 2001).

.3.2 Contrôle exécutif et lecture

Cette question de l'implication du CE dans l'activité de lecture a déjà été abordée dans le premier chapitre à travers les travaux portant sur liens entre MdT et lecture et entre CE et compréhension écrite. Dans cette partie, nous nous centrerons sur le lien entre contrôle et décodage en lecture.

Comme nous l'avons précisé précédemment, plusieurs traitements, perceptifs, phonologiques, attentionnels sont mis en jeu dans la lecture. Apprendre à lire est un acte qui demande attention et effort et qui sollicite la MdT et le CE à tous les niveaux de développement. A ce titre, plusieurs études montrent un lien fort entre capacité de CE et compréhension en lecture, mais le versant décodage a longtemps été délaissé. Or, il est fort probable que le CE intervient dans le décodage en lecture (Gaux, 2004). Par exemple, la lenteur de l'assemblage et la gestion des différentes procédures d'identification des mots solliciteraient le CE chez l'apprenti-lecteur. Dès le début, il permettrait au lecteur de stocker temporairement les informations qu'il a déjà traitées tout en s'engageant dans d'autres traitements. Le CE rendrait la lecture efficace en gérant et synchronisant ces différents processus (traitement et stockage) qui interviennent simultanément et qui interagissent. De la même manière, le CE jouerait un rôle dans la coordination des traitements de bas niveau, tels que le décodage et avec les traitements de plus haut niveau, tels que l'intégration syntaxique, sémantique, ou l'accès à la signification du texte.

Le CE serait également mobilisé pour contrôler les diverses procédures d'analyse sub-lexicales ou lexicales, selon la particularité du mot traité et le niveau d'expertise. Cette situation oblige l'apprenti-lecteur à maîtriser conjointement différentes procédures de décodage en fonction de la familiarité et de la complexité du mot à traiter. Pour ce faire, il solliciterait un CE qui lui permettrait d'alterner ces différentes techniques de décodage ou de passer d'une technique ancienne peu élaborée à une technique plus efficace et plus rapide (par exemple, passer d'un décodage minutieux grapho-phonétique, à un décodage centré sur des unités de plus en plus larges comme la syllabe, Brosnan et al., 2002)

Enfin, lors de l'activité de lecture, le CE serait impliqué dans la sélection et l'exécution des traitements. Il permettrait de filtrer l'information entrant en MdT (Awh, Vogel, & Oh, 2006 ; Boujon, 2004) grâce aux processus de sélection précoce des informations

sensorielles. Une hypothèse de déficit visuo-attentionnel a été développée notamment par Valdois, Bosse, Ans et al. (2003). Le CE évite par ce biais l'interférence, en inhibant des éléments ou des associations non pertinents (De Beni & Palladino, 2000) ou des réponses dominantes qui ne sont plus appropriées (Hasher et al., 1999).

.3.2.1 Performances indépendantes de la nature du matériel

L'hypothèse d'un déficit de CE s'appuie sur des études qui montrent que les performances obtenues par les enfants sont indépendantes du matériel sur lequel portent les opérations cognitives (Swanson, 2003 ; Swanson, Ashbaker et al., 1996). Ce constat a notamment été apporté par Smith-Spark, Fisk, Fawcett, et Nicolson (2003). Dans une première expérience, ces auteurs tentent de distinguer les déficits de mémoire phonologiques, des déficits touchant le centre exécutif, en proposant à de jeunes adultes dyslexiques, une batterie de tâches de MdT phonologiques : deux tâches d'empan verbal simple (chiffres et mots) et une tâche de mise à jour de lettres (rappeler les 6 dernières lettres présentées). Des différences significatives apparaissent entre dyslexiques et non dyslexiques, ce qui semblerait indiquer que le déficit des dyslexiques est bien d'origine phonologique. Dans une seconde expérience, les auteurs utilisent trois tâches de MdT visuo-spatiales : une tâche d'empan simple (7 points apparaissent simultanément sur une matrice, puis il s'agit de rappeler quelles cases étaient occupées par un point), une tâche de mémoire spatiale dynamique (4 points apparaissent successivement sur la matrice puis, l'individu doit rappeler dans l'ordre la position des 4 points) et enfin, une tâche dynamique de mise à jour (rappeler les 4 dernières positions des points sur la matrice). Les résultats des analyses de variance soulignent que dans la tâche d'empan simple visuo-spatial, aucune différence significative n'apparaît entre les deux groupes de lecteurs. Dans les deux tâches de mémoire « dynamiques », les dyslexiques sont capables de rappeler l'emplacement des items et dans un ordre correct. Cependant, ils se trouvent en difficulté lorsque le coût de la tâche de mise à jour en MdT est élevé. Les auteurs interprètent ces résultats comme la preuve d'un déficit exécutif chez les dyslexiques. De Jong (1998) avec des enfants de 10 ans et Smith-Spark et Fisk (2007) avec des adultes aboutissent aux mêmes conclusions en se fondant sur un plus grand nombre de tâches présentées en modalité verbale et visuo-spatiale (tâches d'empan simple et complexe et tâches exécutives de mise à jour). Ils observent que les dyslexiques présentent un déficit au niveau du stockage des informations en mémoire de travail, mais aussi au niveau du traitement de ces informations.

❖ Mise en avant du rôle du CE au détriment du rôle de la BP

Dans la littérature relative au décodage en lecture la place accordée au CE augmente progressivement et s'affirme au cours de ces vingt dernières années. Dès 1993, Gathercole et Baddeley proposent que les difficultés des lecteurs puissent être associées à une limitation des opérations de la Boucle Phonologique ou du Centre Exécutif, la première étant coordonnée par le second.

Palmer (2000) étudie les capacités de recodage phonologique et de CE d'adolescents dyslexiques comparativement à des individus de même âge réel ou de même âge lexique. Elle propose une tâche d'empan de chiffres, une tâche d'empan visuo-spatiale et une tâche d'empan d'images dans laquelle différentes séries d'images sont proposées : des séries présentant une similarité visuelle (ballon, soleil, assiette…), des séries présentant une similarité phonologique (*bat, cap, cat*…) et des séries « contrôle » constituées de mots ne comportant ni similarité visuelle, ni similarité phonologique. La tâche du WCST (tri de cartes) est également proposée pour mesurer les capacités de CE. Les performances des dyslexiques sont significativement plus élevées que celles des deux autres groupes à la tâche d'empan visuo-spatiale. A la tâche d'empan d'images, les trois groupes montrent un effet de similitude phonologique, mais seul le groupe de dyslexiques manifeste un effet de similitude visuelle. Ces résultats semblent indiquer que les dyslexiques ne recodent pas phonologiquement les informations visuelles. Enfin, le groupe d'adolescents dyslexiques obtient des performances moins élevées à la tâche de CE. Selon Palmer, l'utilisation du recodage phonologique des images nécessite bien entendu un accès à la représentation phonologique des stimuli visuels, mais aussi une inhibition des représentations visuelles interférences (dans les items présentés, la ressemblance de la forme des objets : ballons, soleil, …). Le fait que le groupe de dyslexiques ne puisse pas inhiber efficacement la représentation visuelle alors que le groupe plus jeune de même âge lexique en est capable suggère pour Palmer que les dyslexiques présentent un déficit de CE (composante d'inhibition) et non pas un simple retard.

En 2001, Swanson et Sachse-Lee comparent des enfants faibles décodeurs à des enfants normolecteurs de même âge chronologique. Ces deux groupes de lecteurs sont eux-mêmes divisés en deux groupes selon leur score à une tâche d'empan complexe (le *listening span*). Les auteurs remarquent que les enfants possédant de faibles capacités de traitement exécutif (score faible au *listening span*) sont moins performants que les enfants ayant de fortes capacités de traitement exécutif (fort empan au *listening span*) sur l'ensemble des tâches de MdT (visuo-spatiale et verbale) qui leur sont proposées.

Plus récemment, Swanson et Jerman (2007) testent l'implication du CE dans la compréhension écrite mais aussi au niveau de la fluence de lecture. Ils réalisent une étude longitudinale sur trois ans, dont l'un des objectifs est de déterminer si l'accroissement des performances en lecture est le résultat du développement du centre exécutif ou de celui de la BP. Ils comparent des adolescents âgés de 11 à 17 ans, bons et faibles lecteurs. Ils leurs proposent des épreuves de lecture (compréhension et fluence), de MCT (empan de chiffres, de mots et de pseudo-mots), de MdT (empan de chiffre à rebours, tâches de *Digit/Sentence span*, tâche de mise à jour consistant à rappeler les trois derniers chiffres d'une série de 3, 5, 7 ou 9, et une tâche de *Rhyming* qui mesure la capacité à rappeler dans l'ordre des séries de 2 à 14 mots phonologiquement similaires « *lip, slip, clip* »). Les résultats obtenus indiquent, que le développement des capacités de la MdT est plus important pour les bons lecteurs. Cette relation entre niveau en lecture et capacités de la MdT n'indiquant pas le sens de la causalité, les auteurs testent deux modèles alternatifs. Le premier suppose que les mesures de la BP expliquent mieux les différences d'apprentissage en lecture que les performances de MdT. Il suggère que les enfants faibles lecteurs présentent des déficits dans le traitement d'informations phonologiques à cause de la présence d'un « goulot d'étranglement » gênant le contrôle de l'activité, la régulation des traitements. Le deuxième modèle suggère que l'augmentation des performances linguistiques résulte de la croissance du CE, indépendamment de l'influence du système phonologique. Les résultats des analyses de régression confirment le deuxième modèle, la croissance de la MdT semble essentielle pour la mise en œuvre efficace des activités mentales mises en jeu dans la lecture (compréhension et fluence).

En accord avec les conclusions de Swanson et Sachse-Lee (2001), l'étude de Cohen-Mimran et Sapir (2007) confirment l'hypothèse d'un déficit de CE chez les lecteurs en difficultés. Ces auteurs tentent de déterminer l'origine des déficits de mémoire de travail observés chez de jeunes adultes dyslexiques (de 23 à 29 ans). Ils évaluent les capacités spécifiques de stockage de l'information verbale et de CE à l'aide de tâches d'empan de chiffres envers et endroit et d'une version du « *token test* ». Ce dernier test permet de mesurer les capacités de stockage verbal ainsi que de CE, en faisant varier la charge cognitive imposée à chaque essai. Dans ce test, des instructions sont présentées oralement. Elles concernent la description d'items que les participants doivent mémoriser en vue d'une reconnaissance ultérieure (exemple : « petit cercle bleu et grand carré rouge »). La tâche comporte 40 descriptions qui peuvent être de 4 types différents Deux types de descriptions portent sur des items qui diffèrent sur deux dimensions, couleur et forme

(items 2D). Les deux autres types de description portent sur des items qui diffèrent sur trois dimensions, couleur, forme et taille (items 3D). Après que les participants aient entendu une description d'items, un tableau leur est présenté (voir figure 7). Les participants doivent désigner sur le tableau, les différents items qu'ils ont entendus dans la description orale.

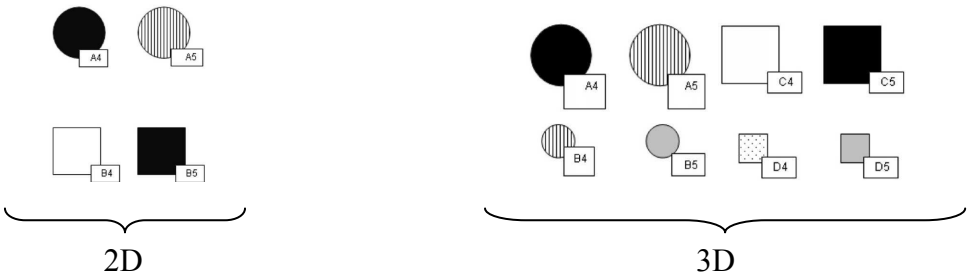


Figure 7 : Exemples d'items 2D et 3D apparaissant dans les tableaux de rappel

Les instructions varient donc en fonction du nombre de termes qu'elles comportent ("cercle rouge" ou "petit cercle rouge"), c'est-à-dire du nombre de termes à stocker temporairement en mémoire. Elles varient également au niveau du coût du contrôle, puisque pour la moitié des descriptions, les participants doivent rappeler les items dans le même ordre que celui dans lequel ils étaient présentés (« le cercle rouge puis le carré vert ») et dans l'autre moitié ils doivent les rappeler dans un ordre diffère (« le cercle rouge et auparavant le carré vert »). Lorsque l'ordre de la description diffèrent de l'ordre de rappel, les exigences de CE sont plus élevées. Les résultats montrent une interaction significative entre la complexité des instructions (c'est-à-dire les exigences de CE) et le niveau en lecture, mais aucune interaction significative entre la longueur des instructions (c'est-à-dire le niveau de stockage) et le niveau en lecture. Autrement dit, les adultes dyslexiques obtiennent des performances significativement plus faibles que les normolecteurs aux tâches de mémoire, particulièrement lorsqu'elles sont coûteuses, donc lorsqu'elles mobilisent du CE.

Van der Sluis et al. (2004) obtiennent des résultats sensiblement divergents en comparant les performances d'enfants de 11 ans faibles lecteurs et normolecteurs sur des tâches exécutives simples et complexes. Il s'agit de tâches d'inhibition et d'alternance présentées avec un matériel verbal et non verbal (figure 8). Dans la tâche d'inhibition de quantité, les expérimentateurs présentent aux participants des ensembles de chiffres ou de figures identiques. Dans un premier temps, ils doivent donner la quantité (pour « 222 » la réponse correcte est « 3 » ; pour « △ » la réponse correcte est « 1 »). Puis dans une seconde tâche,

ils doivent indiquer le nom des objets composants les items (dans notre exemple : « 2 » ; « triangle ») et inhiber la réponse quantité. Une seconde tâche d'inhibition est proposée à partir de figures géométriques où une petite figure est placée au centre d'une grande figure de forme différente (par exemple, un petit rond dans un grand carré). Les participants doivent d'abord nommer la figure du centre, puis dans la seconde partie de la tâche ils doivent nommer la plus grande figure. Deux tâches d'alternance sont également présentées : le *Trail Making Test* (relier des points en alternant chiffre et lettre 1A, 2B…) et une deuxième tâche qui comporte des figures géométriques possédant en leur centre un chiffre. Lorsque l'item est bleu, les participants doivent nommer la figure, lorsqu'elle est jaune, ils doivent indiquer le chiffre. Enfin les participants doivent réaliser une tâche contenant inhibition et alternance : il s'agit de figures géométriques jaune ou bleue (cf. tâche d'alternance n°1) contenant en leur centre une autre petite figure (cf. tâche d'inhibition n°2).

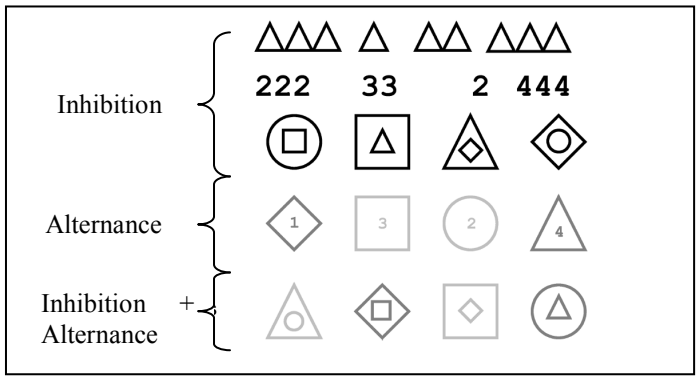


Figure 8 : Tâches utilisées dans l'étude van der Sluis, de Jong et al. (2004)

Les enfants faibles lecteurs obtiennent des performances similaires aux bons lecteurs dans les tâches simples d'inhibition ou d'alternance mais des performances inférieures à celles du groupe contrôle de normolecteurs lorsque les tâches exécutives sont complexes, c'est-à-dire lorsqu'elles exigent la combinaison de plusieurs composantes exécutives. Ainsi, dans la tâche « inhibition + alternance », les faibles lecteurs n'ont pas réussi à conserver actif le but de tâche (alterner entre la désignation des objets intérieurs et extérieurs en fonction de la couleur des items), tout en résolvant la compétition des réponses entre désignation d'un objet et inhibition de l'autre. Les auteurs posent la question de l'interprétation de cette différence entre faibles et normolecteurs. Elle pourrait être due à l'oubli provisoire du but de la tâche dans un contexte de compétition mais également à une incapacité plus générale à activer et coordonner des fonctions exécutives différentes.

.3.2.2 Importance des capacités d'inhibition et d'alternance dans la lecture

D'un point de vue neuropsychologique, Brosnan et al. (2002) donnent une interprétation du rôle du CE dans le décodage en lecture en s'appuyant sur des données neuropsychologiques. Ils partent de la constatation que les dyslexiques (enfants ou adultes) souffrent d'un déficit au niveau de l'hémisphère gauche et d'une sur-activation de l'hémisphère droit. Au début de l'apprentissage de la lecture, l'enfant passe par une analyse globale du mot, spécialité de l'hémisphère droit, puis par une procédure de correspondance grapho-phonétique, spécialité de l'hémisphère gauche. Pour progresser, le lecteur doit, à un moment donné dans l'apprentissage, inhiber les procédures d'analyse globales pour adopter une procédure plus affinée. Ces auteurs postulent que les difficultés des dyslexiques sont dues à une altération des zones préfrontales spécialisées dans le fonctionnement du CE, entraînant un déficit d'inhibition et d'alternance les empêchant de passer d'une lecture globale du mot à un décodage grapho-phonétique. En comparant des adultes dyslexiques compensant (étudiants de moyenne d'âge 24 ans) à des adolescents non dyslexiques (moyenne d'âge 14 ans) ils observent en effet que les dyslexiques échouent dans une tâche de figures complexes (GEFT). Cette tâche consiste à extraire une forme simple d'une figure complexe, procédure nécessitant l'inhibition du contexte environnant non pertinent, alors que leurs capacités visuo-spatiales sont intactes. Ces résultats apparaissent également chez des enfants dyslexiques âgés entre 8 et 10 ans. Ces auteurs observent également que ces personnes dyslexiques obtiennent des performances plus faibles aux tâches d'empan de chiffres (envers et endroit) quand ces tâches sont réalisées dans un environnement bruyant (paroles en bruit de fond) car ils n'arrivent pas à inhiber les distracteurs verbaux non pertinents. Ces conclusions vont dans le sens de celles obtenues par Palmer (2000) qui montre que la capacité à traiter la représentation phonologique d'un stimulus visuel et d'inhiber la réponse visuelle sont deux facteurs primordiaux dans l'acquisition de la lecture (spécialement après l'âge de 6 ans). Au tout début de l'apprentissage, l'enfant recourt à une stratégie assez simple pour lire : il utilise un encodage visuel. Or, en présence d'une écriture alphabétique, la méthode la plus adaptée consiste à utiliser une stratégie verbale, phonétique. Ne pas pouvoir passer à un traitement verbal empêche l'enfant d'atteindre un niveau de lecture supérieur. Palmer étaye cette hypothèse en faisant passer à des enfants de 5 à 8 ans des épreuves de mémorisation d'images. Des images sont présentées côte à côte sur un écran. Elles peuvent être visuellement similaires et phonologiquement dissemblables (*key, spade, knife, saw, brush, pen*…), phonologiquement similaires et visuellement dissemblables (*bat, cat, mat, tar,*

map…) ou visuellement et phonologiquement dissemblables (*dog, chair, bed, tree, drum*…). Les enfants doivent mémoriser la position de ces images et indiquer ensuite quelle image était située à l'emplacement désigné par l'expérimentateur. Réaliser la tâche nécessite d'inhiber les images visuellement ou phonologiquement semblables à l'image à rappeler. Les résultats confirment l'importance des capacités d'inhibition dans la lecture.

Dès l'âge de 5 ans, la capacité à inhiber les items phonologiquement similaires s'avère être un déterminant important des capacités en lecture. A partir de 7 ans, la capacité à inhiber une stratégie visuelle en mémoire de travail apporte une contribution significative de plus de 12% à la variance en lecture même après contrôle de l'âge, de l'intelligence, de l'empan en mémoire et de l'effet de similarité phonologique.

Dès 1997, Everatt, Warner, Miles et Thomson montrent que les capacités d'inhibition des enfants dyslexiques sont déficitaires. Ils ont proposé à des enfants dyslexiques (âge moyen 10.5 ans) une tâche de Stroop. Dans cette tâche, les enfants passent d'abord une condition contrôle qui consiste à nommer la couleur de rectangles puis, une condition d'interférence, où ils doivent nommer la couleur de l'encre de mots de couleur (par exemple dire « bleu » pour le mot « rouge » écrit en bleu). Réaliser efficacement cette tâche interférente nécessite d'inhiber la lecture automatique du mot pour se focaliser sur la couleur de l'encre. Les performances des enfants dyslexiques ont été comparées à celles d'enfants non dyslexiques de même âge chronologique, et à celles d'enfants non dyslexiques (8 ans) de même âge lexique. Les dyslexiques sont plus lents pour dénommer la couleur des rectangles que les enfants non dyslexiques de même âge chronologique et ils obtiennent des temps similaires par rapport aux enfants de même âge lexique. L'effet d'interférence observé chez les enfants dyslexiques (correspondant au temps supplémentaire pour réaliser la tâche en condition interférence par rapport à la condition contrôle), est analogue à celui des enfants plus jeunes de même âge lexique mais il est plus marqué que celui relevé pour les enfants de même âge chronologique. Selon les auteurs, la diminution de l'effet d''interférence Stroop avec l'âge serait le résultat de capacités de contrôle croissantes. L'effet d'interférence accru observé chez les dyslexiques s'expliquerait alors par un manque de contrôle puisqu'ils ne parviennent pas à inhiber le traitement automatique du mot une fois celui-ci amorcé. Les auteurs concluent que chez les dyslexiques, les ressources disponibles pour inhiber la lecture automatique des mots sont moins importantes que chez les enfants non dyslexiques de même âge chronologique.

Plus récemment, Pothos et Kirk (2004) aboutissent à des conclusions similaires en présentant à des jeunes adultes dyslexiques des tâches qui nécessitent un traitement global ou un traitement séquentiel des informations. Les items présentés peuvent être des figures constituées de formes géométriques imbriquées. Les participants doivent traiter la figure dans son ensemble sans focaliser leur attention sur les éléments constituant la figure. A l'inverse, les items peuvent être des figures constituées de formes présentées une par une. L'accent est donc mis sur les éléments constitutifs de chaque figure, qu'il faut traiter séparément en inhibant la représentation globale. Pour les deux conditions, la tâche est la suivante : dans un premier temps, une série de figures imbriquées ou séquentielles sont présentées. L'organisation des formes constituant les figures obéissent à des règles implicites, par exemple pour les figures imbriquées : « le cercle est toujours dans le carré » ou pour les figures séquentielles : « le cercle vient toujours après le carré ». Dans un second temps, différentes figures sont présentées et les participants doivent décider si elles correspondent à celles présentées auparavant, c'est-à-dire si elles concordent avec les règles de grammaire implicite. La comparaison des performances des participants dyslexiques par rapport aux participants non dyslexiques montre que lorsqu'il s'agit de traiter une figure complexe dans son ensemble, les deux groupes obtiennent des performances équivalentes. Mais lorsque la tâche nécessite de traiter les éléments individuellement, les dyslexiques échouent. Les auteurs interprètent cette différence comme une difficulté pour les dyslexiques à focaliser leur attention sur les éléments pertinents et précis de la scène, et à alterner entre différentes figures présentées séquentiellement.

Reiter, Tucha, et Lange (2005) observent ce déficit d'inhibition chez des enfants de 10-11 ans dyslexiques. Ils leur proposent une batterie d'épreuves standardisées verbales et non verbales mesurant à la fois l'empan de mémoire de travail (empan visuel, empan de chiffres endroit et envers), les capacités d'inhibition (Go/NoGo, Stroop), de flexibilité (*Trail making test),* de résolution de problème (Tour de Londres, *Modified card sorting test*) et de fluence (en 2 min, produire des noms d'animaux, produire des mots commençant par un S, produire des figures à partir d'un ensemble de 5 points). Les enfants dyslexiques obtiennent des performances significativement différentes de celles des normolecteurs aux différentes tâches de MdT et exécutives. Leur capacité à inhiber des réactions inappropriées est détériorée (particulièrement dans les situations les plus coûteuses) et ils

commettent plus d'erreurs lors des tâches de flexibilité. Ce déficit exécutif apparaît également dans les tâches complexes de résolution de problème comme la Tour de Londres où ils sont capables de résoudre efficacement les problèmes mais avec des temps de planification plus élevés que ceux des normolecteurs.

Conclusion de la partie théorique

Ces éléments théoriques permettent d'appréhender le rôle du CE dans l'apprentissage de la lecture et les difficultés qui en découlent.

Parmi les études qui mettent en avant le rôle de la MdT, une majorité corrobore l'hypothèse d'un déficit spécifique phonologique en MdT (BP) qui entraverait les traitements et diminuerait les ressources disponibles pour le stockage. D'autres confirment l'hypothèse d'un déficit au niveau des ressources en MdT, ressources dépendantes de l'efficacité du stockage et/ou du CE ou contrôle attentionnel. Le rôle du CE a d'abord et surtout été étudié dans le cadre de la compréhension en lecture, mais plus récemment des recherches se sont attachées à analyser les liens entre CE et décodage.

Cependant, l'étude du rôle du CE dans l'apprentissage de la lecture reste encore marginale comparée à l'abondante littérature s'intéressant aux déficits de la BP. Ce décalage pourrait s'expliquer par la difficulté à comprendre le rôle du CE et son articulation avec d'autres composantes. Les chercheurs divergent sur plusieurs points : comment définir le CE ? quel est son rôle ? fait-il référence à un système unitaire ou multi-composantes ? Nous avons vu que des éléments de réponses ont été apportés à ces différentes questions. Par exemple, les recherches vont davantage dans le sens d'un CE comprenant plusieurs composantes indépendantes mais partageant cependant, un certain nombre de points communs (Miyake et al., 2000 ; Lehto, 1996). Actuellement, une majorité d'études n'aborde pas cette particularité. Les épreuves de CE utilisées sont souvent imprécises et mesurent globalement les capacités de CE, sans dissocier les différentes composantes (*Trail making test, Tour de Hanoi ou Tour de Londres, Wisconsin Card Sorting Test*…). Les tâches mesurant les capacités de CE sont peu souvent adaptées à une population d'enfants. Il s'agit en général de tâches destinées aux adultes, qui sont simplifiées afin d'être proposées à des enfants (Gillet, Billard, & Autret, 1996). De plus, dans ces études, la sélection de la population se fonde sur des critères non systématiques et susceptibles d'introduire des biais

dans l'interprétation des résultats : s'agit-il de dyslexiques ou de faibles lecteurs ? Les enfants présentent-ils des problèmes de compréhension ou de décodage ou les deux (Savage et al., 2007) ? Nous allons donc veiller dans notre recherche à utiliser des tâches mesurant des aspects bien précis du CE et adaptées aux enfants et à adopter des critères de sélection précis pour constituer nos groupes de lecteurs. Nous allons proposer ces tâches de CE à des enfants typiques pour examiner leur pertinence et pour savoir si elles rendent compte des différences inter-individuelles et du développement au cours de l'enfance. Nous avons choisi cette population d'enfants typiques afin d'étudier si le déficit de CE est présent chez les faibles lecteurs (simple retard). Ce préalable nous semble nécessaire avant de tester cette question auprès d'enfants présentant une dyslexie. Si les faibles lecteurs présentent un déficit de CE, alors il ne peut être spécifique aux enfants dyslexiques. Ceci remet en question la comorbidité relevée par certaines études entre TDAH et dyslexie. Ce choix évite de faire appel à des populations de dyslexiques déjà fortement sollicitées par les chercheurs. Il se justifie également par les faibles connaissances disponibles sur le développement du CE chez l'enfant.

Enfin, la question de l'implication du CE dans le décodage en lecture est épineuse, puisque comme nous l'avons précisé ci-avant, selon les modèles de MdT considérés, le rôle et les limites du centre exécutif varient (chapitre 2). Le modèle de Baddeley (1986, 2000), s'appuie sur le principe de partage des ressources. Aussi, l'hypothèse d'un traitement phonologique non suffisamment automatisé et qui gênerait les capacités de stockage peut s'insérer dans ce type de modèle. Toutefois, ce modèle comporte également un centre exécutif qui régente les composantes de stockage phonologique et visuo-spatial. Ce centre exécutif gère, régule l'ensemble du système. Il a pour fonction de coordonner deux actions, de rompre les stratégies de rappel et les automatismes, de récupérer et manipuler les informations en MLT ou encore de prendre en compte sélectivement un stimulus en inhibant l'effet distracteur des autres. Il n'est donc pas impossible qu'une défaillance à ce niveau conduise à des difficultés chez certains lecteurs, comme le souligne Baddeley (1986). D'un autre côté, les modèles d'activation qui envisagent un fonctionnement plus général de la MdT sont également susceptibles de corroborer l'hypothèse d'un trouble de CE. Les informations de toute nature sont encodées par un même pattern d'activation. L'activation se propage en mémoire en fonction de la familiarité des informations et indépendamment de leur nature. Le rôle de la régulation des traitements (activation des informations pertinentes et inhibition des distracteurs) tient alors une place centrale dans la réalisation de tâches cognitives complexes (Cowan et al., 2003 ou Kane & Engle, 2002).

Pour résumer, les explications apportées aux difficultés en lecture peuvent être nombreuses. Certains chercheurs évoquent une faible capacité de la MdT ou des ressources attentionnelles (Engle, Cantor, & Carullo, 1992 ; Turner & Engle, 1989), d'autres évoquent la diminution des ressources attribuées au stockage, en raison de la faible efficience du décodage (Conway, Kane & Engle, 2003 ; Kane & Engle, 2002 ; Towse, Hitch & Hutton, 1998). D'autres enfin supposent un mauvais fonctionnement du CE (Cohen-Mimran et Sapir, 2007 ; Reiter et al., 2005 ; Swanson & Jerman, 2007). Une première position consiste à penser qu'un seul de ces facteurs est déterminant et qu'il est à la source des difficultés rencontrées par les faibles lecteurs. Mais, il se peut également que plusieurs de ces facteurs interviennent. Finalement, comme nous l'avons précisé dans l'introduction de ce travail, il est possible que ces différents facteurs agissent, mais de manière indirecte en s'influençant mutuellement. Les différentes relations possibles entre ces facteurs sont synthétisées dans la figure 9 ci-dessous.

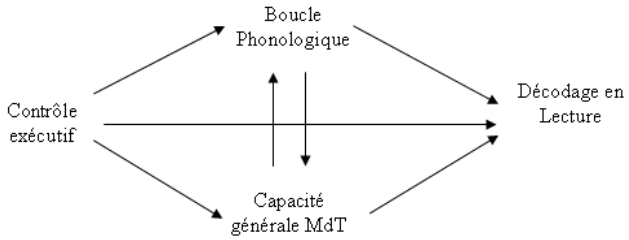


Figure 9 : Représentation schématique des facteurs susceptibles d'intervenir sur les difficultés d'apprentissage de la lecture

Les études menées dans ce travail ont pour objectif de tester ces différentes hypothèses alternatives afin de les départager. Il nous semble important de ne pas tester uniquement un de ces facteurs mais chacun d'eux afin de déterminer plus précisément leur poids respectif dans les difficultés en lecture. Car comme le souligne Ramus (2003, page 9) « *On peut voir les recherches sur la dyslexie comme une série d'études du type : tel chercheur postule que les dyslexiques souffrent d'un trouble d'une capacité X ; évalue cette hypothèse en testant la capacité X sur un groupe de dyslexiques et sur un groupe de sujets contrôles ; trouve que le groupe dyslexique est significativement moins bon que le groupe contrôle sur la capacité X ; et en déduit qu'un déficit de X est la cause du retard de lecture des*

dyslexiques. Il n'est donc pas étonnant que diverses théories aient vu le jour et aient engendré des traitements multiples et variés. »

Afin de tenir compte des critiques faites aux études antérieures, nous présenterons aux enfants des tâches mesurant les différents facteurs susceptibles d'avoir un impact sur les difficultés en lecture. Nous testerons l'hypothèse d'une faible capacité générale de MdT. Pour cela, les enfants réaliseront des tâches de MdT dont le nombre d'éléments à traiter et à mémoriser variera. Afin de déterminer si le déficit des faibles lecteurs est indépendant du niveau de maîtrise des habiletés phonologiques, les tâches proposées comporteront un matériel verbal et également un matériel non verbal. Enfin, nous proposerons des tâches simples auxquelles un CE sera ajouté. Les différentes composantes exécutives seront différenciées et testées séparément afin de déterminer leur impact respectif sur le décodage en lecture. Ces tâches de CE seront adaptées à l'âge des enfants. Elles ne feront pas appel au raisonnement comme dans la tour de Hanoï par exemple, ne satureront pas la mémoire et ne solliciteront pas des traitements irréalisables par les enfants. En effet, le problème que posent les tâches de CE est que le contrôle ne peut s'exercer (et donc ne peut être mesuré) que si les traitements de bas niveau proposés dans la tâche sont suffisamment maîtrisés et automatisés. Des traitements trop exigeants, mobiliseraient l'ensemble des ressources attentionnelles des enfants. La tâche serait alors trop coûteuse pour déterminer si elle mobilise ou non un CE.

Nous tenterons également de déterminer si les troubles de CE sont présents en début d'apprentissage de la lecture, s'ils persistent avec l'âge, l'amélioration de l'expertise en lecture et la maturation cérébrale. Il s'agira de vérifier si les enfants les plus jeunes ou ayant un niveau de lecture plus faible sont capables de contrôler leur activité et de mettre en place des stratégies sur les traitements de plus bas niveau.

Enfin, nous réaliserons une étude exploratoire auprès de jeunes adultes possédant différents niveaux de décodage en lecture. Cette étude sera menée à l'aide d'un dispositif de suivi oculaire qui permet de contrôler l'activité en cours. Il s'agira de déterminer si le déficit de CE est présent lorsque le contrôle est mobilisé dans une tâche dont le coût cognitif est élevé (ce qui suppose des difficultés de stockage) ou seulement lorsque la tâche mobilise une quantité de ressources importantes.

Chapitre 4 : Contribution du contrôle exécutif, de la MdT et des traitements phonologiques dans le décodage en lecture. Comparaison entre faibles et normolecteurs de CE2

Dans cette première étude, le rôle joué par le contrôle exécutif en lecture est étudié en comparant la capacité de faibles et normolecteurs de CE2 à exercer deux types de contrôle généralement mobilisés dans les paradigmes classiques de double-tâches : la mise à jour et l'alternance. La mise en œuvre de ces deux types de contrôle, testés indépendamment, est mesurée dans une tâche de Conjonction Illusoire (CI) qui nécessite la sélection des caractéristiques d'une lettre dans un mot.
Le CE s'exerçant sur des traitements non exécutifs et au sein d'un système dont les ressources sont limitées, l'influence du coût cognitif de la tâche sur ce contrôle est examinée en manipulant les unités linguistiques utilisées dans la tâche de CI. Les relations entre les capacités de MdT, de CE et l'efficience en lecture sont également étudiées avec des tâches complexes de MdT et de CE portant sur un matériel verbal et non verbal.
Cette méthodologie permet de tester l'hypothèse d'un déficit du CE chez les faibles lecteurs et de confronter cette hypothèse aux autres hypothèses de MdT proposées pour expliquer les difficultés en lecture (déficit phonologique et défaillance de la BP, ressources mnésiques/attentionnelles réduites). Les analyses de variance montrent que les capacités de CE des faibles lecteurs sont inférieures à celles des normolecteurs. La relation entre le CE dans l'alternance et l'efficience en lecture se révèle être indépendante de la Mdt verbale (régressions).

.1 Introduction

Dans cette première étude, le rôle joué par le contrôle exécutif en lecture a été étudié en comparant la capacité de faibles et normolecteurs de CE2 à exercer deux types de contrôle généralement mobilisés dans les paradigmes classiques de doubles tâches : la mise à jour et l'alternance. Ces deux types de contrôle, testés indépendamment, s'exerçaient sur des traitements mobilisés dans le décodage. L'enfant devait se prononcer sur la caractéristique d'une lettre cible présente dans un mot (tâche de conjonction illusoire, Prinzmetal, Ivry, Beck, & Shimizu, 2002 ; Treisman, 1996). La tâche de Conjonction Illusoire (CI) est une tâche de sélection utilisée pour étudier les traitements réalisés lors de l'identification des mots. Dans la tâche avec alternance il devait juger soit de la couleur soit de la casse de cette lettre et dans la tâche avec mise à jour, il devait mémoriser une partie des lettres cible. Si le contrôle exécutif fait défaut aux faibles lecteurs, la difficulté des contrôles mobilisés par les tâches exécutives d'alternance et de mise à jour devrait se répercuter sur l'exactitude et la vitesse de réponse à la tâche de CI. Cette difficulté plus importante des faibles lecteurs à exercer un contrôle devrait se manifester par un effet plus délétère de

l'ajout d'un contrôle à la tâche de CI (condition de base sans contrôle exécutif). En effet, selon l'hypothèse des ressources partagées, les ressources attentionnelles des faibles lecteurs étaient davantage mobilisées par le traitement lié à la tâche de CI, l'effet de la tâche exécutive devrait être plus délétère chez ces derniers que dans le groupe de normolecteurs.

Cette hypothèse d'un défaut de contrôle exécutif chez les faibles lecteurs a également été étudiée ici en examinant si l'effet délétère des tâches exécutives était modulé par le niveau d'automatisation des tâches non exécutives. Deux versions de la tâche de CI ont été proposées à cet effet : dans une première condition, la lettre cible appartenait à un graphème, dans la deuxième condition elle se situait à la frontière syllabique d'un mot bi syllabique. La première condition était supposée refléter un traitement graphémique, la seconde un traitement syllabique. Le traitement de conversion des graphèmes en phonèmes qui est généralement utilisé au début de l'apprentissage de la lecture est plus automatisé que celui qui consiste à segmenter le mot en syllabes pour l'identifier. Cette dernière procédure de décodage se mettrait en place durant la deuxième année d'apprentissage de la lecture (Ballaz, Marendaz & Valdois, 1999 ; Colé, Magnan, & Grainger, 1999; Valdois, Ballaz, Marendaz & Walch, 2001). Les normolecteurs maîtrisent la procédure graphémique dès le CP et la procédure syllabique au cours du CE2. Par contre, pour les faibles lecteurs les procédures syllabique et graphémique ne sont pas encore maîtrisées au cours du CE2. Compte-tenu de l'âge des enfants dans cette étude, les normolecteurs sont supposés maîtriser la procédure graphémique mais pas la procédure syllabique et les faibles lecteurs ne sont supposés maîtriser aucune des deux procédures. Selon ces profils, chez les normolecteurs le coût de la tâche exécutive devrait être plus important dans la condition de traitement syllabique que dans celle de traitement graphémique. En revanche, chez les faibles lecteurs ce coût devrait être aussi marqué quelle que soit la condition. La comparaison entre les tâches exécutives (alternance vs mise à jour) devait également permettre d'étudier la question de la pluralité ou de l'unicité des composantes exécutives.

Le second objectif de cette étude était d'approfondir la question de l'implication du contrôle exécutif dans les difficultés en lecture. L'observation chez les faibles lecteurs de plus faibles performances à des tâches exécutives ne suffit pas à elle seule pour attribuer l'origine de ces moindres performances à un défaut de contrôle.

Le contrôle exécutif s'exerce en effet sur d'autres traitements, qui sont eux-mêmes plus ou moins efficients ; et ces traitements et les produits de ces traitements doivent être

maintenus temporairement dans un espace généralement considéré comme limité. Spécifier le rôle du contrôle exécutif dans l'activité de lecture nécessite donc d'examiner ses relations avec les traitements sur lesquels il s'exerce et le maintien temporaire des informations. Diverses conceptions sont proposées pour expliquer le lien entre les performances à des tâches exécutives et/ou de MdT et l'efficience en lecture.

Les difficultés en lecture sont supposées être la conséquence d'un déficit du contrôle exécutif, et/ou de la boucle phonologique et/ou d'une saturation des ressources en MdT (ou attentionnelles). La saturation des ressources peut selon la conception théorique provenir soit d'un déficit phonologique qui perturbe la BP et la mise en œuvre d'un contrôle et/ou les ressources, soit de ressources mnésiques/attentionnelles insuffisantes (difficulté de maintien et/ou de contrôle en l'absence d'un déficit phonologique), soit enfin, de la difficulté à assurer la mise à jour, l'alternance (hypothèse purement exécutive : Palmer, 2000 ; Smith-Spark & Fisk, 2007 ; Swanson & Beringer, 1995).

L'hypothèse d'un déficit général (ressources mnésiques/attentionnelles insuffisantes) implique que la saturation des ressources se produise indépendamment de la nature du matériel impliqué dans les tâches (Engle & Kane, 2004 ; Turner & Engle, 1989).

Selon cette hypothèse, les difficultés des faibles lecteurs apparaissent que les tâches comportent un matériel verbal ou non verbal. Cette hypothèse s'oppose à celle considérant qu'un déficit phonologique vient perturber le fonctionnement de la BP. Selon cette celle-ci, la nature du matériel traité influence les performances mnésiques des enfants et probablement le contrôle exercé sur les traitements. L'utilisation d'un matériel verbal contraint les performances des faibles lecteurs, alors qu'une tâche non verbale ou spatiale leur permet d'obtenir des performances équivalentes à celles de normolecteurs.

Ce déficit phonologique peut aussi être associé à une limitation des ressources en MdT. Selon cette hypothèse, les enfants présentent des difficultés dans des tâches verbales de mémorisation et non dans des tâches non verbales puisque la lenteur et l'imprécision des traitements verbaux saturent les faibles ressources de ces enfants.

L'hypothèse d'un déficit spécifique du contrôle exécutif suggère quant à elle que le matériel n'est pas impliqué dans les difficultés en lecture. Les faibles lecteurs ont des difficultés à réaliser des tâches de CE et ceci quelle que soit la nature du matériel traité, le coût des traitements et du maintien temporaire des informations en MdT. Il est également probable que contrôle exécutif et ressources mnésiques interagissent. Dans ce cadre, les faibles lecteurs devraient avoir des difficultés à réaliser les tâches de CE et à gérer l'augmentation de la charge de traitement.

.2 Méthode

.2.1 *Population*

Les enfants ont été recrutés dans des écoles primaires avec le consentement éclairé du directeur et de l'enseignent et avec l'accord de l'inspecteur d'académie concerné. Avant toute passation, les parents étaient informés au moyen d'un courrier des objectifs de l'étude, des conditions de passation. Par le biais d'un coupon réponse, ils autorisaient ou non leur enfant à participer à l'étude (annexe 1, page 264). Enfin, les enfants étaient prévenus qu'ils pouvaient refuser de participer ou arrêter à tout moment la passation. Nous précisions aux adultes et aux enfants que les passations étaient anonymes et qu'aucun résultat nominatif ne serait remis aux enseignants ou au directeur. Enfin, un retour était proposé aux écoles, sous la forme d'un document écrit ou d'intervention orale sur les temps pédagogiques.

Pour cette étude, un groupe de 26 faibles lecteurs et un groupe de 24 normolecteurs ont été constitués à partir d'un échantillon de 155 enfants non bilingues et non redoublants scolarisés dans 8 classes différentes et dont l'âge lexique obtenu au test de l'Alouette était de 8;11 ans en moyenne. Sont considérés comme faibles lecteurs les enfants dont le score à l'Alouette correspond à un retard de 6 à 12 mois par rapport à cet âge lexique moyen (entre 8;5 ans et 7;9 ans), ce qui permet de garder des groupes homogènes et de ne pas inclure d'enfants susceptibles d'être dyslexiques. Le groupe de normolecteurs, quant à lui, est constitué des enfants dont l'âge lexique est au moins égal à l'âge lexique moyen ou supérieur de 15 mois (entre 8;11 ans et 10;4 ans). De plus, trois autres épreuves standardisées ont permis de s'assurer que les deux groupes avaient des compétences équivalentes au niveau de : 1/ la compréhension en lecture (test de Aubret & Blanchard, 1991) ; 2/ le vocabulaire (Légé & Dague, 1976) ; 3/ l'efficience intellectuelle (NNAT ; Naglieri, 1996) qui permet d'évaluer les capacités de raisonnement et de compréhension en résolution de problèmes sans que l'enfant ait besoin de lire, d'écrire ou de parler (descriptif de ces tâches préalables en annexe 2, pages 265 à 273). Les enfants ayant obtenu des scores très faibles à l'une de ces épreuves préalables ont été écartés (10 enfants sur les 155). Le tableau 1 présente les scores obtenus par les deux groupes aux différentes épreuves préalables (tableau des scores bruts obtenus aux épreuves préalables en annexe 7, pages 299 et 302).

Tableau 1 : *Caractéristiques moyennes des deux groupes de lecteurs (écarts-types entre parenthèses).*

	Moyenne normolecteurs	Moyenne faibles lecteurs	F	P
Sexe	♀ = 14 ♂ = 10	♀ = 12 ♂ = 14		
Age chronologique (mois)	105 (3,31)	104 (3,03)	1,21	ns
Age lexique (mois)	116,8 (5,53)	96,8 (2,73)	324,01	<.001
Compréhension	25,00 (2,93)	22,38 (5,13)	4,7	<.05
Raisonnement (NNAT) /10	7,6 (0,49)	7,3 (1,52)	<1	ns
Vocabulaire / 48	42,83 (3,91)	38,46 (4,64)	12,81	<.01

.2.2 *Matériel*

.2.2.1 Matériel utilisé pour les tâches de Conjonctions Illusoires

Nous avons repris le paradigme de CI développé auprès d'adultes par Prinzmetal et al. (2002) et Treisman (1996), puis utilisé chez les enfants par Ballaz et al. (1999). Le déroulement de la tâche est le suivant. Le sujet voit une lettre cible suivie d'un mot écrit en deux couleurs au centre d'un écran blanc. Il doit alors indiquer la couleur de la lettre cible dans le mot en appuyant sur une touche parmi deux. Dans la présente étude, cette tâche de CI a été appliquée à deux localisations différentes de la lettre cible dans le mot : dans la présentation « syllabe », la lettre cible est située à la frontière syllabique, et dans la présentation « graphème » la lettre cible appartient à un graphème situé au centre du mot. La présentation de cette tâche a été programmée au moyen du logiciel « Superlab » (version 2.01) ; son déroulement est décrit dans la figure 10 qui illustre la condition syllabique. La séquence des événements pour un item est la suivante : un point de fixation présenté pendant 800 ms est remplacé par une lettre cible apparaissant durant 1 seconde, elle-même est cachée par un masque présent durant 800 ms ; puis un mot cible s'affiche pendant 230 ms, ce mot est alors caché par un masque restant à l'écran jusqu'à la réponse de l'enfant. La taille des mots à l'écran a été calculée de telle sorte que le mot puisse être visualisé en une seule fixation sans avoir recours à un balayage oculaire. La distance entre l'écran et les yeux des lecteurs est maintenue constante.

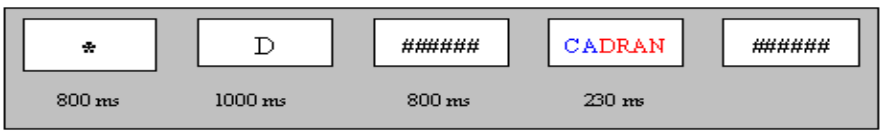


Figure 10 : Dispositif expérimental inspiré de l'étude de Ballaz et al. (1999).

Les mots utilisés ont été sélectionnés dans la base de données MANULEX (Lété, Sprenger-Charolles & Colé, 2004) en exploitant les données du corpus entier, sans distinction d'âge de 7 à 11 ans (groupe G1-G5). Le détail du matériel est présenté en annexe 3, pages 274-275.

Pour la présentation syllabique, des noms communs de six lettres et de basse fréquence d'occurrence (Standard Frequency Index <50) ont été choisis. Ces mots rares obligent les enfants à utiliser la voie d'assemblage, donc à décoder les mots. Les mots sélectionnés sont bi syllabiques et contiennent deux consonnes médianes non identiques, correspondant à la 3ème et 4ème lettre (CVCCVC ou CVCCVV). Afin de différencier nettement cette présentation syllabe de la présentation graphème, les items en présentation syllabique ne contiennent pas de digraphe au début ou au milieu du mot (par exemple les mots : cochon et danger ont été rejetés). Sur le total des 34 items, la moitié possède une syllabe initiale de type CV (CA-DRAN) et l'autre moitié de type CVC (PER-SAN). La lettre cible correspond à la première lettre de la seconde syllabe (CADRAN / PERSAN)[6]. Les deux syllabes sont de deux couleurs différentes, la première en bleu et la seconde en rouge et dans la moitié des cas la couleur de la lettre cible ne correspond pas à la couleur de la syllabe à laquelle elle appartient afin de tester l'effet de CI en comparant cette condition incongruente à la condition congruente. Ainsi, dans la condition de compatibilité syllabique, dite « condition congruente », la lettre cible est de la même couleur que les lettres de la syllabe à laquelle elle appartient (CAdran / PERsan[7]), inversement, dans la condition d'incompatibilité syllabique, ou « incongruente », la lettre cible n'est pas de la même couleur que les lettres de la syllabe à laquelle elle appartient (BAVard / CORDon). Un mot n'apparaît que dans l'une de ces deux conditions expérimentales (tableau 2). La latéralisation de la présentation sur l'écran et de la touche réponse (effet Simon) sont fixés afin de prendre en compte les effets de compatibilité spatiale Stimulus-Réponse : le début du mot cible coloré en bleu et à gauche de l'écran correspond toujours à la touche de réponse bleue [Q] (à gauche du clavier) ; et inversement la touche de réponse [M] se situant à droite du clavier indique toujours la couleur rouge de la fin du mot.

---

[6] Remarque : afin de faciliter la compréhension du lecteur, la lettre à détecter (cible) est ici soulignée dans le mot (« cadran » signifie que la lettre cible à détecter est « d »), ce qui n'est bien sûr pas le cas à l'écran.

[7] Afin de faciliter la compréhension, dans le texte, les lettres en majuscules symbolisent les lettres de couleur bleue et les lettres en minuscules, celles de couleur rouge. A l'écran, les mots présentés aux enfants étaient entièrement en majuscules.

Pour la présentation graphémique, les mots utilisés sont des noms communs uni-syllabiques de cinq lettres, de basse fréquence d'occurrence (<50), et comportant un digraphe situé en 2ème et 3ème position (X00XX=court) ou en 3ème et 4ème position (XX00X=flair). Selon le même principe que pour la présentation syllabique, l'une des frontières graphémiques est marquée par un changement de couleur (tableau 2). En situation de compatibilité graphémique (congruente), la cible est de la même couleur que la lettre du digraphe auquel elle appartient (COUrt / FLair), alors qu'en situation d'incompatibilité graphémique (incongruente), la cible a la couleur du digraphe auquel elle n'appartient pas (SOurd / PLAnt).

Tableau 2 : *Conditions expérimentales pour les tâches utilisant la syllabe et le graphème.*

Présentation syllabe		Congruent	Incongruent
Structure syllabique de l'item	CVXXX	CAdran	BAVard
	CVCXX	PERsan	COrdon
Présentation graphème		**Congruent**	**Incongruent**
Structure phonologique de l'item	X00XX	COUrt	SOurd
	XX00X	FLair	PLAnt

Afin de s'assurer que les deux conditions étaient comparables, nous avons examiné dans une étude préalable si la position de la lettre dans le mot et la structure syllabique du mot influençaient la vitesse de détection de la couleur de la lettre cible. A cet effet, nous avons proposé à un échantillon de 35 enfants typiques scolarisés en CE2 (différents de ceux présentés dans cette étude), une tâche de CI dans laquelle étaient manipulées la place de la lettre cible (début, centre ou fin du mot), la nature du découpage (items uni-syllabiques *vs.* bi syllabiques) et la lexicalité (mot *vs.* pseudo-mot). Le seul effet principal significatif observé correspond à la nature de l'item : la détection de la lettre cible dans un mot est plus rapide que dans un pseudo-mot (effet de supériorité mot/non mot, Johnston & McClelland, 1974). Il ne semble donc pas y avoir d'incidence de la position de la lettre cible et de la nature du découpage sur les temps de réaction. Ces données permettent de considérer cette tâche, et par extension les tâches de CI utilisées ici, comme des épreuves mettant en jeu non seulement des mécanismes perceptifs mais aussi des mécanismes lexicaux et sub-lexicaux.

Cette version classique de la tâche de CI a ensuite été modifiée en introduisant une tâche exécutive afin de mesurer l'impact de ce contrôle sur les performances de détection de la couleur de la lettre cible, donnant lieu à trois conditions : CI classique (contrôle), CI classique avec tâche d'alternance et CI classique avec mise à jour (le matériel est présenté en annexe 3, pages 276 à 277).

- Pour l'alternance, il s'agissait d'inciter l'enfant à passer d'une procédure perceptive à une autre en lui demandant de détecter la couleur de la lettre cible (C) (bleue ou rouge, 9 items) ou la casse (G) (gras/non gras, 8 items). Les items sont donc soit « découpés » en bleu/rouge : PLomb, NECtar soit en gras/non gras : **CRE**UX, **BER**LUE. Lorsque le mot apparaissait en couleur, l'enfant devait préciser si la lettre cible dans le mot était de couleur rouge ou bleue. Si le mot apparaissait en « gras/non gras», il devait indiquer le caractère de la lettre cible dans le mot.

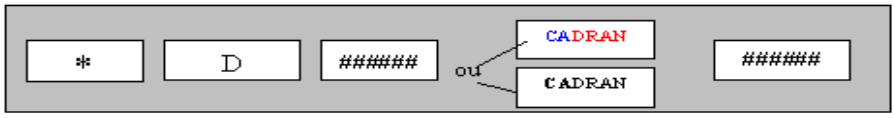


Figure 11 : Dispositif expérimental pour la tâche d'alternance

Les mots apparaissaient de façon successive selon une alternance GGCCGGCC. Le dispositif expérimental est présenté dans la figure 11. L'enfant devait donc porter son attention alternativement, tous les deux items, sur l'une ou l'autre des caractéristiques et fournir une réponse en appuyant sur la touche correspondante du clavier (une touche est utilisée pour la réponse « bleu » ou « gras » et une seconde pour la réponse « rouge » ou « fin »). Pour cette épreuve, les temps de réponses traités correspondent aux temps des items comportant une alternance (passage couleur-casse ou casse-couleur).

- Pour la mise à jour, il s'agissait de conduire l'enfant à supprimer des informations devenues non pertinentes pour la tâche en cours. Pour cela, il devait détecter la couleur de la lettre cible et mémoriser la lettre pour répondre à une deuxième tâche qui consistait à détecter deux cibles successives identiques, puis à les maintenir en mémoire jusqu'aux prochaines lettres successives identiques. A la fin de la liste des 17 mots, l'enfant devait rappeler la dernière lettre qui avait été répétée deux fois successivement. Trois paires de lettres cibles identiques apparaissaient dans l'épreuve. Par exemple : le [C] en 3ème et 4ème position, le [R] en 10ème et 11ème et enfin le [N] en 14ème et 15ème position. La lettre à rappeler était donc le [N]. Cette tâche nécessite une gestion active des informations maintenues en MdT. La réussite à cette tâche nécessite de supprimer le nom de la dernière

paire de lettres identiques, information devenue non pertinente, pour pouvoir maintenir l'information récente adéquate jusqu'à ce qu'une nouvelle information pertinente se présente. Notons que les enfants retenus pour l'étude ont tous réussi cette épreuve c'est-à-dire qu'ils ont rappelé la lettre cible apparaissant deux fois de suite. Les enfants qui n'ont pas réussi ce rappel (19 des 155 enfants) ont été écartés. Ils se sont probablement concentrés sur la tâche de CI sans porter attention à la répétition des lettres cibles ni à leur mémorisation. Or, si la tâche de mise à jour n'est pas réalisée, son coût ne peut être mesuré, d'ou la nécessité d'écarter ces résultats. Les consignes de ces tâches figurent en annexe 3, page 278

Afin de dissocier les traitements verbaux des traitements non verbaux nous avons proposé ces trois tâches de conjonction illusoire en présentation non verbale (symboles). Les tâches de CE utilisées avec un matériel non verbal permettent de distinguer plus précisément les effets sous-tendus par des traitements phonologiques de ceux qui résultent des processus plus généraux de CE dans les tâches de lecture. Dans ces tâches de CE non verbales, la police « Times New Roman » a été remplacée par une suite de signes non signifiants mais proches graphiquement des caractéristiques de l'alphabet ( )[8]. Les items utilisés étaient strictement appareillés à ceux de la condition « syllabes ». C'est-à-dire qu'à chaque lettre correspondait un symbole particulier.

Les variables dépendantes retenues pour ces tâches de CI sont les temps de réponse et le pourcentage d'erreurs.

.2.2.2 Matériel utilisé pour les tâches de MdT

La tâche de MdT conçue s'inspire de l'étude de Daily, Lovett, & Reder (2001). Elle combine deux tâches, une tâche de mémorisation d'éléments cible qui doivent être rappelés à la fin de chaque essai et une tâche de jugements d'autres éléments. Elle est adaptée aux compétences des enfants de CE2 et a été proposée dans une condition verbale et dans une condition non verbale (le détail du matériel est présenté en annexe 4, pages 279 à 281). Chacune de ces conditions comportait 24 essais constitués de deux ou trois suites. En

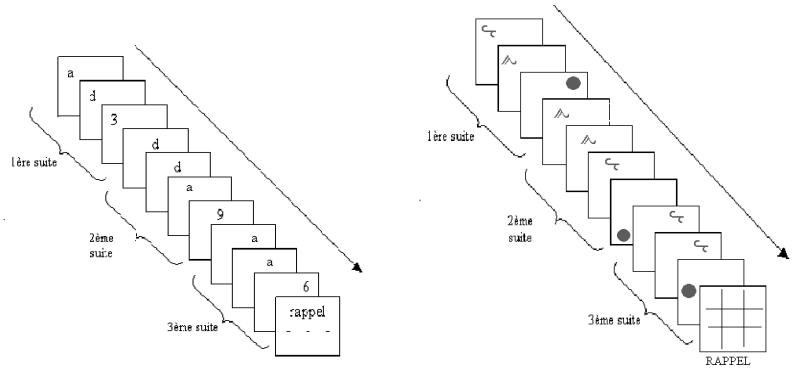
[8] Par la suite, nous utiliserons le terme « symboles » pour désigner ces graphies sans signification utilisées dans les conditions non-verbales.

condition verbale, une suite était formée de une à quatre lettres apparaissant successivement à l'écran et se terminait par un chiffre (tableau 3).

Tableau 3: *Items présentés aux tâches de MdT verbale et non verbale*

	Tâche verbale MdT			**Tâche non-verbale de MdT**		
	1-2 lettres par suite	2-3 lettres par suite	3-4 lettres par suite	1-2 lettres par suite	2-3 lettres par suite	3-4 lettres par suite
2 suites par essai	d 4	da 1	a a d 2	4	1	2
	A A 2	a d 8	A d m d 7	2	8	1
3 suites par essai	a 5	A d 4	a a d 1	5	4	7
	d a 9	d d m 1	A d d 9	9	1	0
	D 8	D m 8	D a a 5	8	8	5

Lorsqu'une lettre apparaissait, l'enfant devait dire si cette lettre était un « d » et lorsque le chiffre apparaissait, il devait le mémoriser jusqu'à la fin, afin de pouvoir rappeler oralement et dans l'ordre l'ensemble des chiffres présents dans la série. Par exemple pour la série suivante « ea 4, ddh 1, ud 8 », le rappel correct est 4-1-8 (figures 12).



Verbale Non verbale

Figures 12a et 12b : Illustration d'un essai composé de trois suites

L'identification des lettres correspond à un traitement de bas niveau de l'assemblage phonologique, procédure d'identification des mots généralement utilisée par l'apprenti-lecteur. L'intérêt de l'utilisation de la lettre dans ce type de tâche est qu'elle ne nécessite pas l'accès au lexique et ne subit pas l'influence du vocabulaire ce qui ne lèse pas les faibles lecteurs.

En condition non verbale, la même procédure était appliquée mais les lettres étaient remplacées par des symboles (police « Thorass : ») et le chiffre par un point pouvant apparaître à neuf endroits différents sur l'écran. L'enfant devait dire si le symbole [ ] était présent ou non, et devait mémoriser la position du point sur l'écran. A

la fin de la série, l'enfant devait indiquer, dans l'ordre, en pointant l'écran, la position du point pour chaque suite. La présentation des suites se faisait dans un ordre croissant de difficulté.

La variable dépendante retenue pour cette tâche de mémorisation est le nombre d'essais correctement rappelés, c'est-à-dire les essais pour lesquels la suite de chiffres ou de positions aura été intégralement rappelée et dans le bon ordre. Pour les deux conditions (verbale et non verbale) a été calculé le nombre de rappels corrects en fonction du nombre de lettres ou symboles par suite (1-2 ; 2-3 ; 3-4) et en fonction du nombre de suites par essai (2 ou 3).

.2.3 *Procédure*

L'expérience a eu lieu au cours de l'année scolaire durant les mois de mars à juin. Dans un premier temps, tous les enfants ont réalisé collectivement en classe les épreuves de NNAT, de vocabulaire et de compréhension en lecture. Ensuite, individuellement, chaque enfant lisait le texte de l'Alouette.

Dans un second temps, les enfants ont participé à deux rencontres individuelles, d'environ 25 minutes chacune, dans une salle calme. Lors de la première rencontre, ils réalisaient les tâches de CI en présentation syllabes puis en présentation graphèmes. Lors de la seconde rencontre, ils réalisaient les tâches de CI en présentation symboles et les tâches de MdT verbale et non verbale. Pour chaque présentation de la tâche de CI, les épreuves étaient proposées dans un ordre constant : la tâche de CI classique, la tâche de CI avec alternance et enfin, la tâche de CI avec mise à jour.

.3 Résultats

La totalité des analyses a été réalisée à l'aide du logiciel Statistica 7.

Lorsque les analyses portent sur les temps de réponse, seuls les temps correspondant aux réponses correctes ont été conservés. De plus, les temps individuels aberrants (inférieurs à 200 ms ou supérieurs à 4000 ms) et ceux inférieurs ou supérieurs à deux écart-types ont été écartés de l'analyse individuelle des résultats. Les enfants pour qui plus de 4 temps ont été enlevés dans une même condition n'ont pas été retenus lors de la constitution des deux groupes (13 enfants sur 155). Pour les 28 sujets présentés ici, un item a été éliminé dans 27 % des cas, deux items dans 28 %, trois items dans 12 %, quatre items dans 3 % des cas et aucun dans 30 % des cas.

.3.1 *Validité des épreuves de Conjonctions Illusoires*

- Epreuves de CI verbales

L'utilisation du paradigme de CI auprès d'enfants et son adaptation au graphème requiert avant toute analyse statistique sur les facteurs manipulés, de tester la pertinence et la validité de la tâche. Dans les études classiques utilisant le paradigme de CI, la comparaison entre les erreurs de détection de la couleur pour les items congruents et incongruents indique un pourcentage d'erreurs plus important pour les items incongruents. Les résultats obtenus dans la condition contrôle de notre étude sont conformes à cet effet : pour la condition « syllabe » le pourcentage d'erreurs est de 8,83 % pour les items congruents et passe à 32,2 % pour les items incongruents [comparaisons : $F(1,48) = 26,12$; $p<.001$] ; en condition « graphème » les pourcentages sont respectivement de 6,95 et de 25,11 % [comparaisons : $F(1,48) = 21,68$; $p<.001$]. Les normolecteurs commettent de 9,63 % à 27 % d'erreurs pour les syllabes (σ : 15,96) et de 8,84 % à 25,7 % d'erreurs pour les graphèmes (σ : 18.18). Les faibles lecteurs commettent de 8,09 % à 32,9 % d'erreurs (σ : 19.21) pour les syllabes et de 6,33 % à 24,8 % pour les graphèmes (σ : 17,23).
La présence d'un plus grand nombre d'erreurs en situation « incongruente » confirme l'effet de migration des couleurs selon la structure en syllabes des mots (Ballaz et al., 1999), et suggère que les tâches de CI permettent d'étudier également l'effet du regroupement des lettres en graphèmes.

Concernant la sensibilité des tâches de CI avec alternance ou mise à jour, une première analyse des résultats indique que les temps de réponse (TR) présentent une bonne variabilité. Sur l'ensemble du groupe, ces scores ne sont ni plancher, ni plafond. En alternance les scores varient de 611 ms à 1468 ms (σ : 192) pour les graphèmes et de 654 ms à 1437 ms (σ : 185) pour les syllabes. En mise à jour, ils varient de 612 ms à 1465 ms (σ : 178) pour les graphèmes et de 639 ms à 1420 ms (σ : 189) pour les syllabes. Pour ces quatre épreuves, la distribution des temps suit une distribution normale.
Concernant les erreurs, les tests de normalité soulignent que ces mesures ne suivent pas une distribution normale en présentation graphèmes notamment. Dans cette situation, peu d'erreurs sont commises et une grande majorité des enfants obtient un score d'erreurs plancher : les scores varient de 0 % à 37,5 % (σ : 11,22) pour l'alternance et de 0 % à 35,3 % (σ : 10,23) pour la mise à jour. Notons la grande variabilité interindividuelle puisque la valeur des écart-types égale ou surpasse celle de la moyenne du groupe. Cette dispersion

est moins forte pour la présentation syllabes : les scores varient de 0 % à 37,1 % (σ : 10,1) pour l'alternance et de 0 % à 29,41 % (σ : 7,21) pour la mise à jour.
Les tests de normalité soulignent que les distributions ne sont pas normales hormis pour l'épreuve « mise à jour syllabes ».

- ❖ Épreuves de CI non verbales

L'analyse des données obtenues aux tâches de CI non verbales avec alternance ou mise à jour indique que les temps de réponse (TR) recueillies présentent une bonne variabilité. Sur l'ensemble du groupe, ces scores ne sont ni plancher, ni plafond. En alternance, les scores varient de 607 ms à 1344 ms (σ : 186), en mise à jour, ils varient de 611 ms à 1500 ms (σ : 189). La distribution des temps suit une distribution normale.
Concernant les erreurs, les tests de normalité, soulignent que ces mesures suivent également une distribution normale. En condition Alternance, les enfants commettent entre 0 % et 37,5 % d'erreurs (σ : 9,19) et en mise à jour entre 0 % et 23,5 % (σ : 5,64).

Afin de répondre aux trois objectifs de cette étude ; les analyses qui suivent sont divisées en trois grandes parties. Dans un premier temps, nous testons l'influence d'un contrôle exécutif sur un traitement impliqué dans le décodage en comparant les performances des deux groupes de lecteurs aux tâches de CI en présentation syllabes et graphèmes. Puis, afin d'étudier l'implication de la capacité de stockage en MdT sur le niveau en lecture, nous comparons les résultats obtenus par ces deux groupes de lecteurs aux tâches de MdT verbales et non verbale. Enfin nous étudions le coût de l'ajout d'un contrôle à une tâche de CI selon la nature verbale ou non verbale du matériel en opposant les présentations non verbale et verbale des différentes tâches de CI.

.3.2 Analyse 1 : influence d'un contrôle exécutif sur un traitement impliqué dans le décodage.

Les analyses qui suivent examinent les effets du niveau en lecture, de la présentation (graphème, syllabe) et de l'ajout d'une tâche mettant en jeu l'une des deux composantes exécutives (alternance ou mise à jour) sur les erreurs et les temps de réponse obtenus aux tâches de CI. Ces analyses ne porteront que sur les items congruents, pour éviter tout biais ou bruit qu'engendrerait la prise en compte d'items incongruents dans l'analyse des résultats. Les analyses de variance réalisées s'appuient sur les pourcentages d'erreurs et les

temps de réponse moyens pour chaque condition et chaque groupe de lecteurs. Les scores bruts sont présentés en annexe 7, pages 300 et 301 et le détail des analyses est présenté en annexe 7 pages 303 et 304.

.3.2.1 Analyse du pourcentage d'erreurs

Dans un premier temps une analyse sur les erreurs a été effectuée (tableau 4) suivant le plan S<N2>*C3*P2 où N représente les deux Niveaux de lecture, C les trois Conditions, CI classique, CI avec alternance, CI avec mise à jour et P les Présentations graphème et syllabe (figure 13).

Tableau 4 : *Récapitulatif des résultats de l'analyse de variance aux trois tâches de CI verbales (erreurs)*

	Ddl	*F*	*p*
Niveau lecture	(1, 48)	3,98	<.05
Condition	(2, 96)	2,06	ns
Niv Lec*Condition		4,33	<.05
Présentation	(1, 48)	<1	ns
Niv Lec*Présentation		1,09	ns
Niv Lec*Condition*Présentation	(2, 96)	1,93	ns

Parmi les effets principaux, seul l'effet du Niveau de lecture est significatif, les faibles lecteurs commettant davantage d'erreurs (10,25 %) que les normolecteurs (7,64 %).

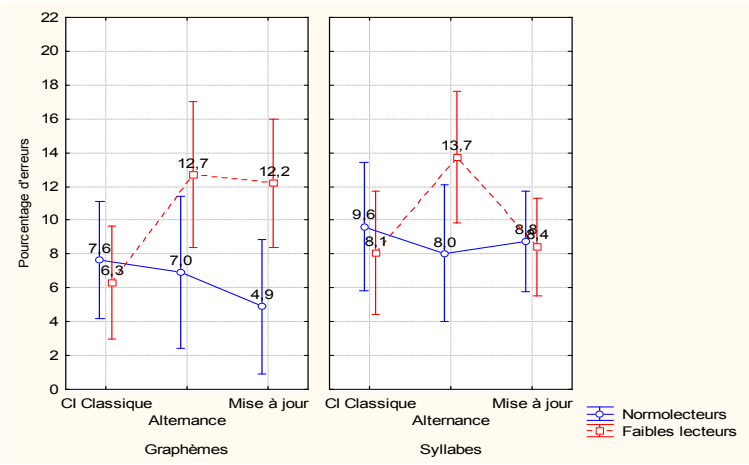


Figure 13 : Pourcentages d'erreurs aux tâches de CI classique, CI avec alternance et CI avec mise à jour en fonction de la Présentation (graphème, syllabe) pour chaque groupe de lecteurs**.**

L'analyse de variance indique que seul l'effet d'interaction Niveau en lecture*Condition est significative. En Condition CI classique, les deux groupes obtiennent un pourcentage d'erreurs semblable (8,62 % pour les normolecteurs contre 7,15 % pour les faibles lecteurs). Par contre, les faibles lecteurs commettent un nombre plus important d'erreurs que les normolecteurs, lorsqu'une tâche de CE est ajoutée. En mise à jour le pourcentage

d'erreurs est de 10,3 pour les FL contre 6,85 pour les NL et en alternance de 13,2 % pour les FL contre 7,48 % pour les NL.

Afin d'étudier plus précisément les effets liés à l'ajout d'une tâche impliquant une composante exécutive à la tâche de CI classique, les conditions CI avec alternance et CI avec mise à jour vont être comparées séparément à la condition de CI classique.

❖ Coût de la tâche d'alternance

L'analyse selon le plan S<N2>*C2*P2 indique que parmi les effets principaux, seul celui de la Condition est significatif (tableau 5). Les enfants commettent davantage d'erreurs en condition alternance par rapport à la condition CI classique.

Tableau 5 *: Récapitulatif des résultats de l'analyse de variance aux tâches de CI classique et alternance verbales (erreurs)*

	Ddl	*F*	*p*
Niveau lecture	(1, 48)	1,79	ns
Condition	(1, 48)	3,81	<.05
Niv Lec*Condition		8,21	<.05
Présentation	(1, 48)	1,01	ns
Niv Lec*Présentation		<1	ns
Niv Lec*Condition*Présentation	(1, 48)	<1	ns

Seul l'effet d'interaction simple Niveau en lecture*Condition est significatif. Le coût de la tâche d'alternance s'observe chez les faibles lecteurs (CI classique 7,21 %, CI avec alternance 24,45 %) mais pas chez les normolecteurs (CI classique 8,61 % et CI avec alternance 7,5 %).

❖ Coût de la tâche de mise à jour

L'analyse selon le plan S<N2>*C2*P2 indique qu'aucun effet principal n'est significatif. Peu d'erreurs sont commises et les deux groupes de lecteurs n'obtiennent donc pas de résultats significativement différents (tableau 6).

Tableau 6 : *Récapitulatif des résultats de l'analyse de variance aux tâches de CI classique et mise à jour verbales (erreurs)*

	Ddl	*F*	*P*
Niveau lecture	(1, 48)	<1	Ns
Condition	(1, 48)	<1	Ns
Niv Lec*Condition		6,01	<.05
Présentation	(1, 48)	<1	Ns
Niv Lec*Présentation		2,05	Ns
Niv Lec*Condition*Présentation	(1, 48)	3,51	Ns

Seul l'effet d'interaction Niveau en lecture*Condition est significatif. En situation de CI classique, faibles et normolecteurs obtiennent des scores similaires [F(1, 48) <1 ; ns] alors qu'en situation de mise à jour l'écart augmente significativement entre ces deux groupes [F(1, 48) = 4,03 ; p<.05] : le coût de la tâche de mise à jour s'observe chez les faibles lecteurs (CI classique 7,21 %, CI avec mise à jour 10,32 %) mais pas chez les normolecteurs (CI classique 8,61 % et CI avec mise à jour 6,84 %). L'effet d'interaction double n'est pas significatif.

.3.2.2 Analyse des temps de réponse

L'analyse de variance selon le plan S<N2>*C3*P2 indique que, parmi les effets principaux, l'effet du Niveau en lecture est significatif, les faibles lecteurs mettant davantage de temps pour répondre (1055 ms) que les normolecteurs (975 ms). L'effet de la Condition est également significatif (tableau 7).

Tableau 7 *: Récapitulatif des résultats de l'analyse de variance aux trois tâches de CI verbales (temps de réponse)*

	Ddl	*F*	*p*
Niveau lecture	(1, 48)	4,17	<.05
Condition	(2, 96)	11,84	<.001
Niv Lec*Condition		4,36	<.05
Présentation	(1, 48)	<1	ns
Niv Lec*Présentation		2,19	ns
Niv Lec*Condition*Présentation	(2, 96)	<1	ns

L'effet d'interaction simple Niveau en lecture*Condition est significatif. Comme l'illustre la figure 14, la différence de temps de réponse entre faibles et normolecteurs est plus importante sur les conditions les plus coûteuses (alternance et mise à jour) que dans la condition CI classique. Pour les normolecteurs, les temps de réponse d'une condition à l'autre restent stables (CI classique : 952 ms ; Alternance : 987 ms ; Mise à jour : 986 ms), pour les faibles lecteurs, une augmentation de temps de réponses apparaît lorsque qu'une tâche de mise à jour ou d'alternance est ajoutée à la tâche de CI (CI classique : 978 ms ; Alternance : 1121 ms ; Mise à jour : 1065 ms).

En résumé, la charge liée aux tâches exécutives (mise à jour, alternance) semble plus élevée pour les faibles lecteurs que pour les normolecteurs. Le profil des résultats est similaire pour les présentations graphèmes et syllabes.

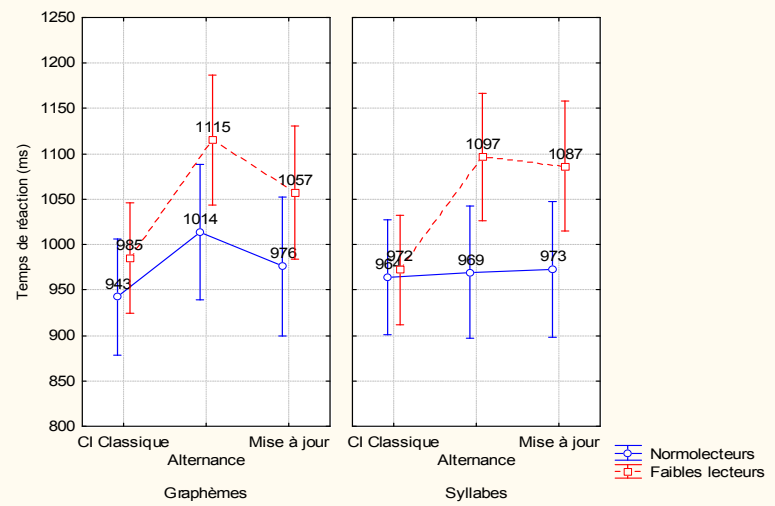


Figure 14 : Temps de réponse (ms) aux tâches de CI classique, CI avec alternance et CI avec mise à jour en fonction de la Présentation (graphème, syllabe) pour chaque groupe

Tout comme pour les erreurs, les conditions CI avec alternance et CI avec mise à jour ont été comparées séparément à la condition de CI classique.

❖ Coût de la tâche d'alternance

L'analyse de variance selon le plan S<N2>*C2*P2 indique que les effets principaux du Niveau en lecture et de la Condition sont significatifs (tableau 8).

Tableau 8 : *Récapitulatif des résultats de l'analyse de variance aux tâches de CI classique et alternance verbales (temps de réponse)*

	Ddl	*F*	*p*
Niveau lecture	(1, 48)	3,89	<.05
Condition	(1, 48)	28,67	<.001
Niv Lec*Condition		11,03	<.01
Présentation	(1, 48)	1,19	ns
Niv Lec*Présentation		4,52	<.05
Niv Lec*Condition*Présentation	(1, 48)	<1	ns

L'effet d'interaction simple Niveau en lecture*Présentation est significatif. La différence de temps de réponse entre faibles et normolecteurs est plus importante sur les graphèmes (FL : 1056 ms ; NL : 950 ms) que sur les syllabes (FL : 1043 ms ; NL : 988 ms). En présentation graphèmes les faibles lecteurs répondent plus lentement que les normolecteurs [F(1,48) =6,31 ; p<.01]) alors qu'en présentation syllabes les deux groupes de lecteurs obtiennent des temps similaires [F(1,48) =1,65 ; ns].

L'effet d'interaction simple Niveau en lecture*Condition est significatif : en condition CI classique, les temps de réponse des normolecteurs et des faibles lecteurs sont proches

(respectivement 952 ms et 978 ms) ; lorsqu'une alternance est ajoutée les faibles lecteurs sont défavorisés : ils ont besoin de davantage de temps pour donner leur réponse par rapport aux normolecteurs (1121 ms *vs.*. 986 ms).

Les analyses en sous-plans comparant les temps de réponse des deux conditions pour chaque groupe de lecteurs soulignent que les temps de réponses des faibles lecteurs augmentent significativement d'une condition à l'autre [F(1,48) =39,2 ; p<.001], alors que les temps de réponses obtenus par les normolecteurs dans la condition alternance n'augmentent pas de manière significative par rapport à la condition CI classique [F(1,48) = 1,98 ; ns].

- Coût de la tâche de mise à jour

L'analyse de variance selon le plan S<N2>*C2*P2 indique que les effets principaux ne sont significatifs que pour la Condition. Les temps de réponse diffèrent selon la condition : conditions CI classique 966 ms, CI avec mise à jour 1027 ms (tableau 9).

Seul l'effet d'interaction simple Niveau en lecture*Condition est significatif. Les lecteurs obtiennent des scores proches en condition CI classique (NL : 952 ms ; FL : 978 ms) mais diffèrent sur leurs temps de réponse à la tâche de mise à jour (NL : 975 ms ; FL : 1055 ms).

Tableau 9 : Récapitulatif des résultats de l'analyse de variance aux tâches de CI classique et mise à jour verbales (temps de réponse)

	Ddl	*F*	*p*
Niveau lecture	(1, 48)	2,2	ns
Condition	(1, 48)	9,47	<.001
Niv Lec*Condition		3,77	<.05
Présentation	(1, 48)	<1	ns
Niv Lec*Présentation		<1	ns
Niv Lec*Condition*Présentation	(1, 48)	1,78	ns

Les analyses par contraste indiquent que la différence de temps entre les conditions CI classique et mise à jour (23 ms) n'est pas significative pour les normolecteurs [F(1, 48) = 1,52 ; ns) alors que cette différence (77 ms) est significative pour les faibles lecteurs [F(1,48) =11,56 ; p<.01] : ces faibles lecteurs ont davantage de difficultés à gérer le coût de la mise à jour ce qui conduit à une augmentation des temps de réponse dans cette condition

par rapport à la condition plus simple de CI classique. Cet effet semble indépendant du type d'unité utilisé.

.3.3 Analyse 2 : implication de la capacité de stockage en MdT sur le niveau en lecture

.3.3.1 Effets principaux

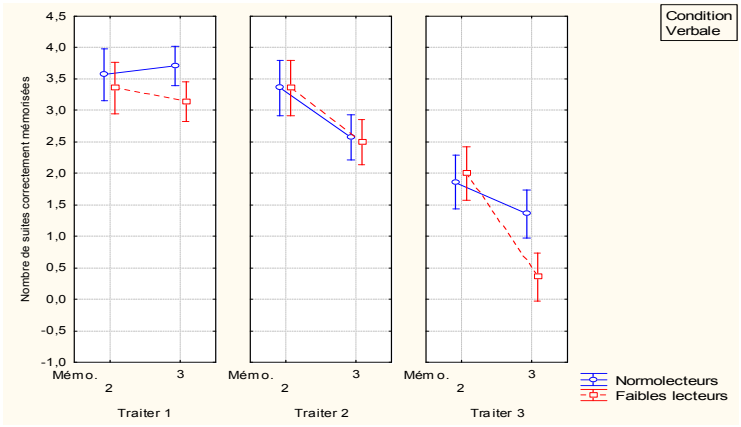
Les performances obtenues à la tâche de MdT sont représentées dans les figures 15a et 15b. Elles ont fait l'objet d'une ANOVA selon le plan S<N2>*C2*M2*T3 permettant d'analyser les effets principaux et d'interaction des 4 facteurs : le facteur inter-groupes Niveau en lecture (N : normo et faibles lecteurs) et les trois facteurs intra-groupes : Conditions (C : verbales et non verbales), items à Mémoriser (M : 2 ou 3 items) et items à Traiter (T : 1-2, 2-3 et 3-4 items) (tableau 10).

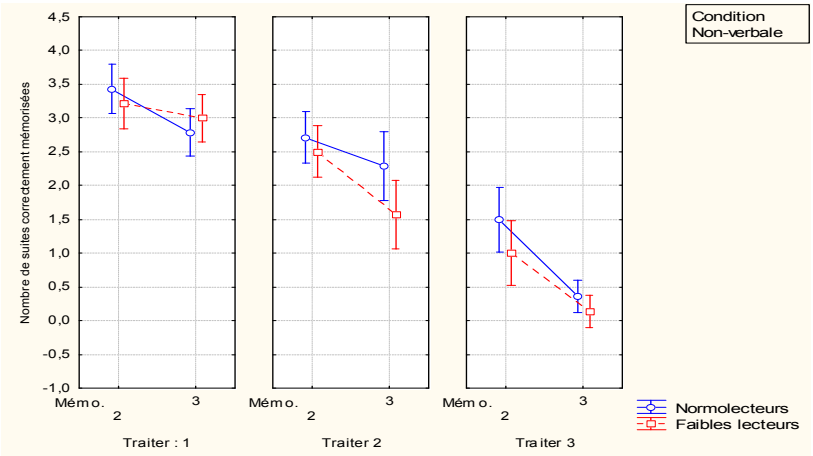
Tableau 10 : *Récapitulatif des résultats de l'analyse de variance aux tâches de MdT verbales et non verbales*

	ddl	*F*	*P*
Niveau lecture	(1, 48)	5,7	<.05
Condition	(1, 48)	68,21	<.001
Niv Lec*Condition		<1	ns
Mémorisation	(1, 48)	132,27	<.001
Niv Lec*Mémorisation		9,16	<.01
Traitement	(2, 96)	462,39	<.001
Niv Lec*Traitement		<1	ns
Niv Lec*Cond*Mem	(1, 48)	2,46	ns
Niv Lec*Cond*Trait	(2, 96)	<1	ns
Niv Lec*Mem*Trait	(2, 96)	<1	ns
Niv Lec*Cond*Mem*Trait	(2, 96)	<1	ns

L'effet principal du niveau en lecture est significatif, tout comme l'effet principal de la Condition : en moyenne les normolecteurs sont plus performants que les faibles lecteurs et les enfants obtiennent des scores plus faibles aux tâches non verbales qu'aux tâches verbales. Ce type d'exercice n'étant pas courant en CE2, le traitement de la sous-tâche qui consiste à analyser les chiffres en vue d'une reconnaissance est une tâche plus facile que la mémorisation de la localisation d'un point, ce qui expliquerait les scores plus faibles dans cette condition. L'analyse de variance met également en avant des effets significatifs du nombre d'items à Mémoriser et du nombre d'items à Traiter dans le sens où, plus ils sont élevés, plus la tâche est difficile pour les enfants.

L'effet d'interaction simple Niveau en lecture*Items à Mémoriser est le seul significatif. Par rapport aux normolecteurs, les faibles lecteurs sont plus sensibles à l'augmentation du nombre d'items à mémoriser. Ils rappellent moins de suite que les normolecteurs lorsqu'il faut restituer trois items.





Figures 15a (verbal) et 15b (non verbal) : Nombre de suites correctement mémorisées par les lecteurs en fonction de nombre d'items à traiter et à mémoriser.

.3.3.2 Effets du nombre d'items à traiter et à mémoriser

Dans les analyses de variance qui vont suivre, les aspects verbaux et non verbaux sont traités séparément. Les analyses porteront sur l'effet du nombre d'items à traiter, c'est-à-dire du nombre de lettres ou symboles pour lesquels l'enfant devait réaliser une reconnaissance (1-2 ; 2-3 ; 3-4), puis sur le nombre d'items à mémoriser (deux ou trois) et le niveau en lecture (voir tableau 11 ci-dessous).

Tableau 11 : *Nombre moyen d'items rappelés (sur 4) de chacun des groupes de lecteurs aux tâches de MdT verbale et non verbale (les indications entre parenthèse correspondent aux écarts-types)*

	Items à mémoriser	Items à traiter	Normolecteurs	Faibles lecteurs
MDT Verbale	V 2 12 items	**V 1,2** 4 items	3,5 (0,66)	3,69 (0,55)
		V 2,3 4 items	3,33 (0,70)	3,19 (0,80)
		V 3,4 4 items	1,92 (0,72)	1,81 (0,94
	V 3 12 items	**V 1,2** 4 items	3,63 (0,50)	3,00 (0,75)
		V 2,3 4 items	2,83 (0,76)	2,38 (0,57)
		V 3,4 4 items	1,29 (0,81)	0,69 (0,62)
	Ensemble des essais total de 24 items		16,5 (2,40)	14,76 (1,69)
MDT Non Verbale	NV 2 12 items	**NV 1,2** 4 items	3,21 (0,59)	3,0 (0,57)
		NV 2,3 4 items	2,83 (0,82)	2,73 (0,83)
		NV 3,4 4 items	1,50 (0,93)	1,50 (0,81)
	NV 3 12 items	**NV 1,2** 4 items	2,92 (0,72)	2,77 (1,03)
		NV 2,3 4 items	2,13 (0,74)	1,77 (1,03)
		NV 3,4 4 items	0,58 (0,71)	0,31 (0,62)
	Ensemble des essais total de 24 items		13,16 (2,68)	11,99 (2,13)

❖ Condition verbale

En condition verbale, l'analyse de variance réalisée selon le plan S<N2>C2 mettant en relation le Niveau en lecture (comparaison inter-groupes), le Nombre de lettres à traiter et le Nombre d'items à mémoriser (comparaison intra-groupe) souligne un effet simple significatif du Niveau en lecture, du Nombre d'items à traiter et du Nombre d'items à mémoriser (tableau 12). Les faibles lecteurs obtiennent des résultats plus élevés. Plus le nombre d'items à mémoriser et à traiter est élevé, plus les performances des enfants diminuent.

Tableau 12 : *Récapitulatif des résultats de l'analyse de variance aux tâches de MdT verbales*

	ddl	*F*	*P*
Niveau lecture	(1, 48)	8,44	<.01
Mémorisation	(1, 48)	43,46	<.001
Niv Lec*Mémorisation		8,68	<.01
Traitement	(2, 96)	324,96	<.001
Niv Lec*Traitement		<1	ns
Niv Lec*Mem*Trait	(2, 96)	<1	ns

Une interaction significative apparaît entre le Niveau en lecture et le Nombre d'Items à Mémoriser : lorsqu'il s'agit de mémoriser 2 items, les performances des deux groupes sont similaires mais lorsque la charge de stockage augmente, les faibles lecteurs obtiennent des scores plus faibles que les normolecteurs. Lorsque deux items sont à mémoriser, faibles et normolecteurs obtiennent des scores proches de 8,69/12 et 8,75/12 (analyse en sous-plans : $F<1$; ns). Par contre, lorsque la tâche s'avère un peu plus coûteuse, c'est-à-dire lorsqu'un troisième item est à mémoriser, les faibles lecteurs se trouvent davantage en difficulté, dans le sens où ils obtiennent un score de 6,08/12 alors que les normolecteurs conservent un score de 7,75/12 [analyse en sous-plans : $F(1,48) = 21,96$; $p<.001$].

L'effet d'interaction Niveau en lecture*traitement n'est pas significatif. Les analyses en sous-plans montrent cependant que réaliser la tâche en traitant 1,2 items par suite a un effet similaire pour les deux groupes [$F(1,48) = 3,7$; ns], les normolecteurs obtenant un score moyen de 7,12/8 et les faibles lecteurs de 6,69/8, alors que lorsqu'il s'agit de traiter 2,3 ou 3,4 items entre chaque élément à mémoriser, les normolecteurs obtiennent des scores significativement plus élevés que les faibles lecteurs (respectivement [$F(1,48) = 4,19$; $p<.05$] ; [$F(1,48) = 5,32$; $p<.05$]). Dans la première situation, les faibles lecteurs obtiennent un score de 5,57/8 et les normolecteurs un score de 6,16/8 et dans la deuxième, ils obtiennent respectivement des scores de 2,36/8 et 3,2/8.

- Condition non verbale

Ces mêmes analyses appliquées à la situation non verbale révèlent des effets différents. Seuls les effets simples du nombre d'items à traiter et du nombre d'items à mémoriser sont significatifs (tableau 13).

Tableau 13 : *Récapitulatif des résultats de l'analyse de variance aux tâches de MdT non verbales*

	ddl	*F*	*p*
Niveau lecture	(1, 48)	1,95	ns
Mémorisation	(1, 48)	90,85	<.001
Niv Lec*Mémorisation		1,08	ns
Traitement	(2, 96)	199,95	<.001
Niv Lec*Traitement		<1	ns
Niv Lec*Mem*Trait	(2, 96)	<1	ns

Les performances ne diffèrent pas significativement selon le niveau en lecture des enfants. Normo et faibles lecteurs ne se différencient sur aucun critère, que l'on considère la quantité d'information à stocker ou le nombre d'items à traiter.

En résumé, les différences entre faibles et normolecteurs ne s'observent qu'en situation verbale, ce qui corroborerait l'idée de mécanismes spécifiques verbaux et non verbaux impliqués différemment dans la lecture et tendrait à rejeter l'hypothèse d'un déficit unique général des ressources en MdT. Ces résultats suggèrent que les difficultés des faibles lecteurs proviendraient de déficit au niveau du traitement des aspects verbaux gérés par la BP. L'efficacité de ces traitements verbaux dépendrait de la vitesse d'identification des lettres (recouvrement en MLT) et/ou de la maîtrise plus ou moins importante des traitements permettant le maintien de l'information dans la BP (stratégie d'autorépétition mieux maîtrisée) ce qui expliquerait pourquoi ils seraient maîtrisés différemment par les faibles et les normolecteurs. Reste à savoir si cette différence entre normo et faibles lecteurs est due à des traitements mnésiques verbaux plus efficients (utilisation de la BP et/ou CE) chez les normolecteurs ou au contraire à un déficit de ces traitements chez les faibles lecteurs. En comparant pour chaque groupe de lecteurs la différence entre les scores obtenus en conditions verbale et non verbale pour chacune des six conditions (M2*T3), l'écart entre ces deux conditions est souvent plus réduit pour les faibles lecteurs que pour les normolecteurs. Ceci amène à penser que si les normolecteurs obtiennent de meilleurs scores aux tâches verbales ce serait parce que, dans les conditions imposées par la tâche, ils font fonctionner plus efficacement leur BP. Ceci peut-être attribué à une plus grande facilité d'accès à l'information, ou à une plus grande efficience dans l'utilisation de l'auto-répétition ou encore du CE.

La tâche de MdT fait intervenir les systèmes esclaves de la MdT, mais également des capacités de contrôle et de résistance à l'interférence. Il est donc difficile de déterminer ce qui résulte de l'effet de l'un et/ou de l'autre. Il semblerait d'ailleurs que ce soit l'effet cumulé de ces deux traitements qui avantagerait les bons lecteurs et qui contraindrait et pénaliserait les faibles lecteurs. Pour les enfants des deux niveaux de lecture, l'ajout d'éléments supplémentaires a un effet sur le rappel du matériel verbal mais aussi non verbal. Si la BP est en jeu ici, les processus de contrôle et de gestion du CE interviennent également.

.3.4 *Analyse 3 : coût de l'ajout d'un contrôle à une tâche de CI selon la nature verbale ou non verbale du matériel*

Les analyses qui suivent examinent les effets du niveau en lecture (N2), de la présentation (P2 : Verbale -syllabes- *vs.* Non Verbale -symboles-) et des tâches mettant ou non en jeu

une composante exécutive (C3 : CI, Alternance et Mise à jour) sur les temps de réponse obtenus aux tâches de CI. L'analyse portera d'abord sur les erreurs, puis sur les temps de réponse.

.3.4.1 Analyse du pourcentage d'erreurs

❖ Étude du coût lié au contrôle exécutif : plan complet

Dans un premier temps une analyse sur les erreurs a été effectuée (tableau 14) suivant le plan S<N2>*C3*P2.

Tableau 14 *: Récapitulatif des résultats de l'analyse de variance aux trois tâches de CI verbales et non verbales (erreurs)*

	Ddl	*F*	*p*
Niveau lecture	(1, 48)	3,55	<.06
Condition	(2, 96)	4,67	<.05
Niv Lec*Condition		3,2	<.05
Présentation	(1, 48)	<1	ns
Niv Lec*Présentation		1,81	ns
Niv Lec*Condition*Présentation	(2, 96)	<1	ns

L'analyse de variance indique que parmi les effets principaux, seul l'effet de la Condition est significatif, un nombre plus important d'erreurs est commis en condition alternance (11,9 %) par rapport à la condition Mise à jour (7,85 %) ou CI classique (9,3 %). L'effet principal du Niveau de lecture est marginal.

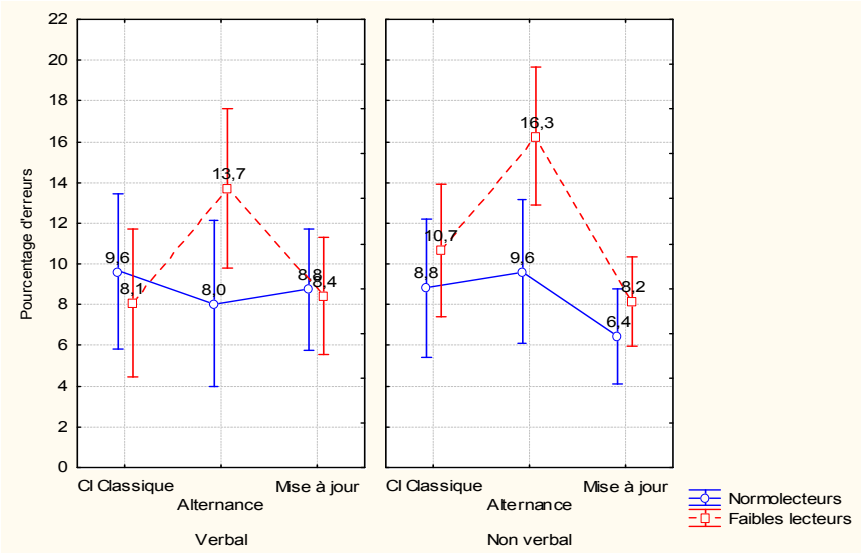


Figure 16 : Pourcentages d'erreurs aux tâches de CI classique, CI avec alternance et CI avec mise à jour en fonction de la Présentation (syllabe, symbole) pour chaque groupe de lecteurs.

Concernant les effets d'interactions simples, seul celui mettant en relation Niveau en lecture*Condition est significatif. Comme l'illustre la figure 16, toutes présentations

confondues, les faibles lecteurs commettent davantage d'erreurs que les Normolecteurs dans la condition alternance (30 % contre 17,5 %), alors que dans les Conditions CI classique et mise à jour, le taux d'erreurs reste faible pour les deux groupes.

Afin d'étudier plus précisément les effets liés à l'ajout d'une tâche impliquant une composante exécutive à la tâche de CI classique, les conditions CI avec alternance et CI avec mise à jour ont ensuite été comparées séparément à la condition de CI classique.

- Coût de la tâche d'alternance

L'analyse selon le plan S<N2>*C2*P2 indique que parmi les effets principaux, celui du Niveau en lecture est significatif et celui de la Condition est marginal (tableau 15).

Tableau 15 : *Récapitulatif des résultats de l'analyse de variance aux tâches de CI classique et alternance verbales et non verbales (erreurs)*

	Ddl	*F*	*p*
Niveau lecture	(1, 48)	3,85	<.05
Condition	(1, 48)	3,4	<.07
Niv Lec*Condition		4,55	<.05
Présentation	(1, 48)	1,95	ns
Niv Lec*Présentation		1,06	ns
Niv Lec*Condition*Présentation	(1, 48)	<1	ns

Seul l'effet d'interaction simple Niveau en lecture*Condition est significatif. En situation de CI classique, faibles et normolecteurs obtiennent des scores proches [F(1,48) <1 ; ns] alors qu'en situation d'alternance les pourcentage d'erreurs diffèrent en fonction du niveau en lecture [F(1, 48) = 7,29 ; p<.01]. Autrement dit, le coût de la tâche d'alternance s'observe chez les faibles lecteurs (CI classique 9,4 %, CI avec alternance 15 %) mais pas chez les normolecteurs (CI classique 9,2 % et CI avec alternance 8,8 %).

- Coût de la tâche de mise à jour

L'analyse selon le plan S<N2>*C2*P2 indique qu'aucun effet simple, ni effet d'interaction n'est significatif. Le pourcentage d'erreurs des deux groupes de lecteurs n'augmente pas avec l'ajout de la tâche de mise à jour et ne varie pas en fonction du type de présentation.

.3.4.2 Analyse des temps de réponse

❖ Étude du coût lié au contrôle exécutif : plan complet

L'analyse de variance selon le plan S<N2>*C3*P2 indique que l'effet principal du Niveau en lecture est marginal, les faibles lecteurs mettant davantage de temps pour répondre (1075 ms) que les normolecteurs (975 ms) (tableau 16).

Tableau 16 : *Récapitulatif des résultats de l'analyse de variance aux trois tâches de CI verbales et non verbales (temps de réponse)*

	Ddl	*F*	*p*
Niveau lecture	(1, 48)	3,44	<.07
Condition	(2, 96)	9,75	<.001
Niv Lec*Condition		3,88	<.05
Présentation	(1, 48)	<1	ns
Niv Lec*Présentation		1,12	ns
Niv Lec*Condition*Présentation	(2, 96)	<1	ns

L'effet principal de la Condition est significatif. Comme le montre la figure 17, cet effet est lié à des temps de réponse plus lents dans les conditions alternance et mise à jour par rapport à la tâche de CI classique. Cette augmentation semble plus marquée pour les faibles lecteurs. Cette impression est confirmée par l'effet d'interaction simple Niveau en lecture*Condition qui s'avère également significatif : le coût du contrôle de l'alternance et celui de la mise à jour (augmentation des TR par rapport à la condition CI classique) sont plus marqués chez les faibles lecteurs que chez les normolecteurs lorsque les présentations verbale et non verbale sont confondues.

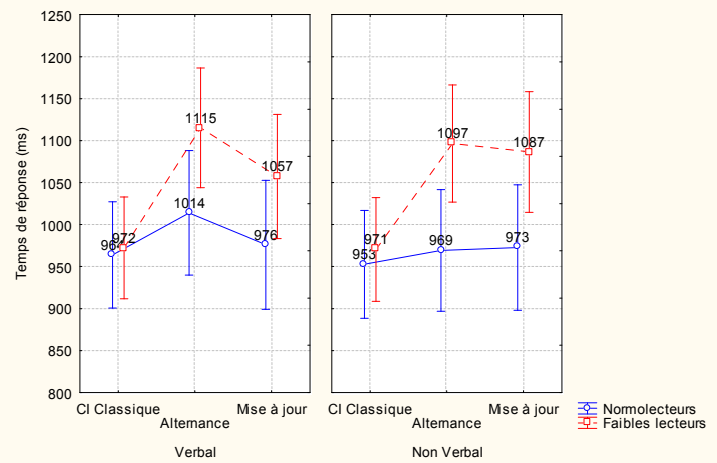


Figure 17 : Temps de réaction (ms) selon le type de condition (contrôle, alternance, mise à jour) en présentation verbale et non verbale pour chaque groupe de lecteurs

L'effet d'interaction simple Niveau en lecture*Présentation n'est pas significatif. Les performances obtenues par les deux groupes conservent le même profil quelle que soit la

nature du matériel utilisé. En résumé, pour les faibles lecteurs, la charge liée aux tâches exécutives (mise à jour, alternance) semble plus élevée que pour les normolecteurs aussi bien en présentation non verbale qu'en présentation verbale.

Dans les analyses qui suivent, les conditions CI avec alternance et CI avec mise à jour ont été comparées séparément à la condition de CI classique.

❖ Coût du contrôle engendré par l'ajout de la tâche d'alternance

L'analyse de variance selon le plan S<N2>*C2*P2 indique que l'effet simple de la Condition est significatif, mais pas l'effet du Niveau en lecture (tableau 17). En moyenne, les temps sont plus élevés en situation d'alternance que dans la tâche de CI classique (1048 ms en alternance contre 965 ms à la tâche de CI classique).

Tableau 17 : *Récapitulatif des résultats de l'analyse de variance aux tâches de CI classique et alternance verbales et non verbales (temps de réponse)*

	Ddl	*F*	*p*
Niveau lecture	(1, 48)	2,43	ns
Condition	(1, 48)	21,27	<.001
Niv Lec*Condition		7,7	<.05
Présentation	(1, 48)	2,81	ns
Niv Lec*Présentation		<1	ns
Niv Lec*Condition*Présentation	(1, 48)	<1	ns

L'interaction Condition*Niveau en lecture s'avère également significative. L'ajout de la tâche d'alternance est bien plus coûteux pour les faibles lecteurs (971 ms en CI classique contre 1106 ms en alternance) que pour les normolecteurs (960 ms en CI classique contre 991 ms en alternance). Bien que l'effet soit plus important en présentation verbale (FL : 972 ms, 1115 ms et NL : 964 ms, 1014 ms) qu'en présentation non verbale (FL : 971 ms, 1097 ms et NL : 953 ms, 9693 ms), l'effet d'interaction Niveau en lecture*Présentation n'est pas significatif.

❖ Coût du contrôle engendré par l'ajout de la tâche de mise à jour

L'analyse de variance selon le plan S<N2>*C2*P2 indique que le seul effet principal significatif concerne la Condition (tableau 18). Les temps de réponse diffèrent selon la condition : conditions CI classique 965 ms, CI avec mise à jour 1021 ms. L'effet du Niveau en lecture n'est pas significatif (faibles lecteurs 1041 ms ; normolecteurs 964 ms).

Tableau 18 : *Récapitulatif des résultats de l'analyse de variance aux tâches de CI classique et mise à jour verbales et non verbales (temps de réponse)*

	Ddl	*F*	*p*
Niveau lecture	(1, 48)	1,82	ns
Condition	(1, 48)	9,01	<.01
Niv Lec*Condition		4,74	<.05
Présentation	(1, 48)	<1	ns
Niv Lec*Présentation		<1	ns
Niv Lec*Condition*Présentation	(1, 48)	<1	ns

Comme pour les autres analyses, seul l'effet d'interaction simple Condition*Niveau en lecture est significatif. L'écart entre normo et faibles lecteurs est plus important lorsque la mise à jour est ajoutée (970 ms contre 1072 ms) que dans la condition CI classique (958 ms et 971 ms). Tout comme dans la tâche d'alternance, ni l'effet d'interaction simple Niveau en lecture*Présentation, ni l'effet d'interaction double ne sont significatifs.

.3.4.3 Étude de la contribution spécifique du CE et de la MdT dans le décodage en lecture

Les résultats obtenus dans cette dernière analyse sont contradictoires avec ceux de l'analyse 2. Alors que la nature du matériel a une influence sur le rappel des faibles lecteurs dans la tâche de MdT, cette nature du matériel n'a plus d'effet dans les tâches de CE. Les résultats de la première analyse confortent l'hypothèse de difficultés de traitement-stockage du matériel verbal chez les faibles lecteurs, alors que ceux de la deuxième analyse vont dans le sens de difficultés de CE.

Les analyses de régression proposées dans la partie suivante permettent d'étudier le lien entre différentes composantes du CE et le décodage. Un tel lien peut apparaître parce que les tâches (CE décodage) nécessitent le maintien en MdT de certaines informations ou parce qu'elles mobilisent une composante exécutive particulière (alternance ou mise à jour). Pour distinguer ces deux aspects susceptibles d'expliquer[9] la relation entre CE et décodage, nous allons examiner les relations entre différents indicateurs de la tâche de MdT, différentes tâches de CE et le décodage. La démarche retenue pour les analyses sera la suivante.

[9] Le terme « expliquer » n'est pas employé ici pour décrire une relation causale entre deux facteurs mais pour indiquer qu'un facteur rend compte d'une partie relative de la variance d'un autre facteur. La relation de causalité ne peut être testée avec de telles analyses.

Il s'agira tout d'abord d'examiner les relations des variables préalables (QI, compréhension, vocabulaire) avec le décodage en lecture et les indicateurs de la tâche de MdT et de CE. Ces facteurs contrôlés pourraient en effet exercer une influence voire expliquer la relation entre les épreuves destinées à rendre compte du fonctionnement de la MdT et du CE et le décodage.

Il s'agira ensuite d'examiner les relations des indicateurs de la tâche de MdT et de CE avec le décodage une fois la contribution de ces variables préalables prise en compte. Nous verrons dans un premier temps si ces différentes épreuves contribuent à expliquer une part de la variance en décodage. Puis dans un deuxième temps, nous étudierons si les épreuves de CE continuent à expliquer une part de variance une fois l'indicateur de MdT pris en compte. Cette analyse permet de distinguer l'aspect maintien temporaire de l'information en MdT et l'aspect composante exécutive.

Notons que pour prendre en compte uniquement le coût du contrôle exécutif et non pas la vitesse de traitement particulière à chaque enfant, ces analyses porteront sur la différence entre les temps obtenus dans les conditions alternance ou mise jour moins les temps obtenus dans la condition CI classique.

Par ailleurs, la comparaison entre les contributions spécifiques apportées par chaque épreuve de CE à l'explication de la variance en décodage permettra d'étudier le rôle respectif de ces composantes exécutives et leur importance relative. En effet, comme nous l'avons précisé dans la partie théorique, la complexité de la notion de CE rend indispensables la distinction des composantes exécutives et la précision des tâches pour étudier avec rigueur cette dimension du fonctionnement cognitif. C'est pourquoi nous avons utilisé plusieurs tâches de CE : des tâches d'alternance et de mise à jour.

Ces différentes analyses ont été réalisées tout d'abord pour l'ensemble des épreuves verbales, puis pour l'ensemble des épreuves non verbales et enfin, pour les épreuves verbales et non verbales simultanément. Elles permettront de déterminer si le contrôle exécutif contribue encore à expliquer les performances en décodage une fois les aspects stockage-traitement de la MdT pris en compte et ceci pour les aspects verbaux comme pour les aspects non verbaux. Si cette contribution du CE est significative quelle que soit la nature du matériel, le CE pourra être considéré comme une dimension susceptible d'expliquer les difficultés en lecture des faibles lecteurs.

❖ Corrélations

Les analyses des corrélations portant sur l'ensemble des deux groupes de lecteurs (n=50) rapportées dans les tableaux 19a et 19b permettent de relever les points suivants.

Tableaux 19a et 19b: *Coefficients de corrélation entre les différentes épreuves préalables et les épreuves de CE et de MdT. Pour la présentation verbale (1a) puis pour la présentation non verbale (1b)*

	Epreuves Préalables		
	Compré-hension	Raisonne-ment (NNAT)	Vocabulaire
Age lexique	**0,29**	0,06	**0,49**
Ep. CE Verbales			
Alternance TR	-0,17	0,26	-0,06
Mise à jour TR	-0,20	0,27	-0,22
Ep. MdT Verbales			
M2 T1/2	-0,16	-0,03	-0,05
M2 T2/3	-0,19	0,01	0,03
M2 T3/4	-0,08	0,02	0,11
M3 T1/2	0,04	0,14	**0,33**
M3 T2/3	**0,32**	0,08	**0,41**
M3 T3/4	-0,03	0,07	**0,32**

	Epreuves Préalables		
	Compré-hension	Raisonne-ment (NNAT)	Vocabulaire
Age lexique	**0,29**	0,06	**0,49**
Ep. CE Non-Verb.			
Alternance TR	**-0,32**	0,24	-0,27
Mise à jour TR	**-0,29**	0,23	**-0,30**
Ep.MdT Non Verb.			
M2 T1/2	0,21	0,15	0,27
M2 T2/3	0,13	0,05	0,12
M2 T3/4	-0,01	0,21	0,26
M3 T1/2	0,02	-0,04	0,06
M3 T2/3	-0,09	0,04	0,19
M3 T3/4	0,11	0,03	0,26

Coefficient en gras = p<.05

- Parmi les épreuves préalables, seul le score de raisonnement au test du NNAT n'est pas corrélé au niveau de décodage (correspondant ici à l'indicateur de l'âge lexique en mois obtenu au test de l'Alouette). Les corrélations de ces épreuves préalables avec les épreuves de CE et de MdT présentent le même profil : les capacités de raisonnement des enfants, mesurées à l'aide du NNAT, ne sont pas corrélées avec ces épreuves. Ce point est important car certaines études soulignent qu'il existerait un lien entre QI et performances à ce type de tâches complexes. La compréhension ne corrèle pas avec les performances aux épreuves de CE mais corrèle avec certaines variables de MdT.

Le vocabulaire corrèle uniquement avec l'âge lexique et certaines mesures de MdT. Ce lien pourrait s'expliquer par le fait que la tâche de vocabulaire comportait une phase de mémorisation (mémoriser le mot donné par l'expérimentateur afin de retrouver l'image correspondante). Au final, nous ne prendrons en compte dans les analyses de régression que le score de vocabulaire, car en toute logique celui de compréhension est fortement lié à celui des capacités de décodage puisqu'il s'agit d'une épreuve de compréhension en lecture. Prendre en compte le poids de ce facteur dans l'explication de la variabilité dans l'âge lexique risquerait d'introduire un biais dans les analyses.

- Pour les indicateurs de la tâche de MdT, en présentation verbale, trois des six mesures corrèlent avec le niveau en lecture (tableau 20). Il s'agit des trois mesures M3, c'est-à-dire correspondant aux situations où trois items sont à mémoriser. En présentation non verbale, deux mesures sur six corrèlent avec le niveau en lecture (tableau 21). Il s'agit de la

situation la plus complexe (M3 T3/4) et de la mesure globale M3 correspondant à l'ensemble des situations où trois items sont à mémoriser.

- Pour les épreuves de CE, le temps de réponse à la tâche d'alternance verbale (tableau 20), et les temps aux tâches d'alternance et de mise à jour non verbales (tableau 21) corrèlent avec l'âge lexique.

Tableau 20 : *Coefficients de corrélation entre les différentes mesures verbales de MdT, de CE et l'âge lexique*

		1	2	3	4	5	6	7	8
1	Age lexique	-							
	Ep. CE Verbales								
2	Alternance TR	**-0,29**	-						
3	Mise à jour TR	-0,24	**0,44**	-					
	Ep. MdT Verbales								
4	M2 T1/2	-0,11	-0,04	-0,02	-				
5	M2 T2/3	0,20	-0,13	-0,07	**0,46**	-			
6	M2 T3/4	0,10	0,14	0,14	0,09	0,26	-		
7	M3 T1/2	**0,39**	-0,02	-0,15	-0,24	0,08	**0,32**	-	
8	M3 T2/3	**0,44**	-0,03	0,13	0,00	0,05	0,22	0,25	-
9	M3 T3/4	**0,44**	0,08	-0,05	-0,24	0,04	0,00	0,27	0,14

Coefficient en gras = p<.05

Tableau 21 : *Coefficients de corrélation entre les différentes mesures non verbales de MdT, de CE et l'âge lexique*

		1	2	3	4	5	6	7	8
1	Age lexique	-							
	Ep. CE Non-Verb.								
2	Alternance TR	**-0,31**	-						
3	Mise à jour TR	**-0,30**	**0,42**	-					
	Ep.MdT Non Verb.								
4	M2 T1/2	0,17	-0,12	-0,19	-				
5	M2 T2/3	0,08	0,07	-0,17	-0,13	-			
6	M2 T3/4	0,09	0,19	0,09	**0,43**	0,04	-		
7	M3 T1/2	0,13	-0,10	-0,21	**0,43**	**0,29**	0,11	-	
8	M3 T2/3	0,22	-0,16	0,00	**0,32**	0,09	0,27	0,01	-
9	M3 T3/4	**0,34**	-0,10	-0,09	**0,30**	0,18	0,21	**0,39**	**0,38**

Coefficient en gras = p<.05

Remarquons que le nombre de corrélations significatives avec l'âge lexique est plus élevé en verbal qu'en non verbal pour l'épreuve de MDT alors qu'il est plus élevé en non verbal pour le CE (nombre de corrélations significatives sur le nombre testées : MdT verbal 3/6 ; MdT non verbal 1/6 ; CE verbal 1/2 ; CE non verbal 2/2). Ceci pourrait s'expliquer par le fait que les tâches de CE sont plus contraignantes que les tâches de MdT en condition non verbale.

❖ Analyses en Composantes Principales

Un grand nombre de variables est susceptible d'être entré dans l'analyse car nous avons utilisé plusieurs tâches de CE (alternance et mise à jour) et plusieurs indicateurs pour la

tâche de MdT (six mesures correspondant aux six niveaux de difficultés de la tâche : ou 3 items à mémoriser * 1/2, 2/3 ou 3/4 items à traiter). Pour ne pas entrer dans les régressions un nombre trop important de variables qui fausseraient l'analyse, nous avons au préalable réalisé des Analyses en Composantes Principales (ACP) à la française qui permettent de déterminer quelles variables se regroupent.

La mesure M3 T3/4 ne sera pas prise en compte car elle correspond à des scores planchers et les données recueillies ne suivent donc pas une distribution normale, aussi bien en présentation verbale que non verbale.
Nous avons procédé comme suit : dans un premier temps, les données des différentes variables ont été transformées en scores Z. Ces scores Z ont été utilisés dans les ACP. Les variables se regroupant ont ensuite été transformées en scores composites. Ces scores ont été utilisés dans les analyses de régression.

- Épreuves de CE

Le premier facteur principal explique 58,22 % de la variance (valeur propre). Il n'oppose aucune des épreuves de CE. Le deuxième facteur principal représente 22,76 % de la variance et oppose les épreuves de CE avec alternance, aux épreuves de CE avec mise à jour. Le troisième facteur principal explique 12,52 % de la variance et oppose les conditions verbales et non verbales (total 3 axes 93,5 %). Cette analyse montre bien que les composantes d'alternance et de mise à jour se différencient. Elles ne font pas parti d'un tout indifférencié car elles s'opposent et ceci indépendamment de la nature du matériel. Dans les régressions toutes ces mesures de CE seront prises en compte séparément. Aucun score composite ne sera constitué.

- Épreuves de MdT verbale

Le premier facteur principal explique 32,78 % de la variance (valeur propre). Il n'oppose aucune des épreuves de CE. Le deuxième facteur principal représente 29,36 % de la variance. Il oppose les mesures les moins coûteuses en mémorisation et en traitement (M2 T12 et M2 T23) aux épreuves qui saturent davantage la MdT (M2 T34 ; M3 T12 ; et M3 T23). Le troisième facteur principal explique 16,45 %. Il oppose la variable M2 T12, où les enfants obtiennent pour la plupart, de bons scores aux quatre autres variables qui présentent une plus grande variabilité inter-individuelle dans les temps de réponse (total 3 axes 78,59 %). Dans les analyses de régressions, seront pris en compte d'une part le score

composite des variables les moins coûteuses M2 T12 et M2 T23 (ce score sera appelé « NV1 »).et d'autre part le score composite des variables les plus coûteuses M2 T34, M3 T12 et M3 T23 (ce score sera appelé « NV2 »).

- Épreuves de MdT non verbale

Le premier facteur principal explique 32,78 % de la variance (valeur propre). Il n'oppose aucune des épreuves de CE. Le deuxième facteur principal représente 24,01 % de la variance. Il oppose les variables M2 T23 et M3 T12 aux variables M1 T23 ; M2 T34 ; et M3 T23. Les premières mesures ne saturent pas la MdT que ce soit au niveau du traitement ou de la mémorisation et présentent une plus grande variabilité inter-individuelle dans les temps de réponse que les autres mesures de MdT. Le troisième facteur principal explique 19,13 %. Il oppose les variables exigeant peu de traitement (M2 T12 et M3 T12) aux variables plus exigeantes à ce niveau (total 3 axes 75,92 %). Dans les analyses de régressions serons donc pris en compte deux scores composites. Le premier est composé des variables M2 T23 et M3 T12 qui sont des variables qui ne saturent pas la MdT. Le second comprend les variables M2 T34 et M3 T23 où la combinaison des items à mémoriser et à traiter engendre un coût cognitif important.

❖ Analyses de régressions

Les régressions à ordre fixé réalisées indiquent la contribution spécifique de chacune des variables et le modèle qui permet le mieux de rendre compte de la variabilité dans l'âge lexique (tableau 22). L'empan en MdT verbal a une contribution spécifique significative après l'entrée du vocabulaire uniquement lorsque les mesures les plus coûteuses sont prises en compte (MdT verbal 2 : ß = .25 ; $p<.05$). En revanche, l'apport spécifique des mesures d'empan en MdT non verbal n'est jamais significatif.

En ce qui concerne les tâches de CE, en présentation verbale, la contribution spécifique du CE mesurée à l'aide des temps de réponse à la tâche d'Alternance reste significative même après contrôle du vocabulaire et de l'empan verbal ((Alternance après MdT verbal1 : ß = -.28 ; $p<.05$; Alternance après MdT verbal2 ß = -.30 ; $p<.05$). De plus, on observe que la significativité de la part expliquée par la MdT 2 disparaît après entrée de cette mesure du CE. La tâche de mise à jour n'apporte jamais de contribution spécifique.

En présentation non verbale, l'ajout d'une mesure de CE alternance au modèle apporte une contribution significative supplémentaire qu'elle soit entrée après ou avant les mesures d'empan non verbal (pour les temps ß = -.26 ; p<.05). Les contributions de l'empan mnésique non verbal et des mesures de CE semblent indépendantes. La tâche de mise à jour n'apporte jamais de contribution significative.

Tableau 22 : *Contribution spécifique des différentes mesures de CE et de MdT verbale et non verbale aux capacités de décodage après contrôle du niveau en vocabulaire.*

Age lexique (Alouette)							
Verbal				Non-Verbal			
Variables indépendantes	ß	R^2	Augmentation R^2	Variables indépendantes	ß	R^2	Augmentation R^2
1° Vocabulaire		**.21*****		1° *Vocabulaire*		**.21****	
2a° *Voca + MdT verbal 1*		**.22****	.01	2a° *Voca + MdT non verbal 1*		**.22****	.01
Vocabulaire	**.46 *** **			Vocabulaire	**.45 *** **		
Mdt verbal 1	.02			MdT non- verbal 1	.04		
2b° *Voca + MdT verbal 2*		**.28*****	.07	2b° *Voca + MdT non verbal 2*		**.21****	.00
Vocabulaire	**.37 ****			Vocabulaire	**.46 ****		
Mdt verbal 2	**.25 ***			MdT non- verbal 2	.01		
2c° *Voca + CE*		**.29*****	.08	2c° *Voca + CE*		**.27****	.06
Vocabulaire	**.47 *** **			Vocabulaire	**.39 ****		
Alternance	**-.29 ***			Alternance (nv)	**-.26 ***		
2d° *Voca + CE*		**.23****	.02	2d° *Voca + CE*		**.25****	.04
Vocabulaire	**.43 *** **			Vocabulaire	**.40 ****		
Mise à jour	-.15			Mise à jour (nv)	-.20		
3a° *Voca + MdT v 1 +CE*		**.29****	.08	3a° *Voca + MdT nv 1 + CE*		**.27****	.06
Vocabulaire	**.44 ****			Vocabulaire	**.39 ****		
Mdt verbal 1	.05			MdT non- verbal 1	.04		
Alternance	**-.28 ***			Alternance (nv)	**-.26 ***		
3b° *Voca + MdT v 2 +CE*		**.35*****	.14	3b° *Voca + MdT nv 2 + CE*		**.27****	.06
Vocabulaire	**.34 ****			Vocabulaire	**.39 ****		
Mdt verbal 2	.25			MdT non- verbal 2	.03		
Alternance	**-.30 ***			Alternance (nv)	**-.26 ***		
3c° *Voca + MdT v 1 +CE*		**.23****	.02	3c° *Voca + MdT nv 1 + CE*		**.25****	.04
Vocabulaire	**.43 ****			Vocabulaire	**.40 ****		
Mdt verbal 1	.14			MdT non- verbal 1	.04		
Mise à jour	-.02			Mise à jour (nv)	-.20		
3d° *Voca + MdT v 2 +CE*		**.29****	.08	3d° *Voca + MdT nv 2 + CE*		**.25****	.04
Vocabulaire	**.32 ***			Vocabulaire	**.40 ****		
Mdt verbal 2	.17			MdT non- verbal 2	.03		
Mise à jour	-.24			Mise à jour (nv)	-.20		

* p<.05 ; ** p<.01 ; *** p<.001

De manière générale, quelles que soient les présentations, il apparaît que le modèle qui rend le mieux compte des différences d'âge lexique reste un modèle comprenant à la fois le vocabulaire, l'empan verbal et les capacités de CE dans la tâche d'alternance. Cependant des différences apparaissent en fonction de la nature du matériel : lorsque les mesures portent sur des tâches verbales de MdT et de CE, le modèle rend généralement mieux compte de la variance au test de l'Alouette que lorsque les tâches sont non verbales. Dans le premier cas, le modèle peut rendre compte de 35 % de la variance alors que dans le second, les modèles n'expliquent au maximum que 27 % de cette variance. Cette différence résulte en partie de la contribution quasi-nulle de l'empan non verbal (qu'il corresponde ou non aux mesures les plus coûteuses). Notons également, en lien avec la question majeure qui nous intéresse ici, que l'alternance continue à avoir une contribution significative à l'explication de la variance en décodage une fois la MdT considérée. Ceci signifie qu'au-delà des aspects de mémorisation, la tâche de CE corrèle avec le décodage. La capacité à alterner entre deux traitements aurait une influence sur les performances en décodage. Cet effet apparaît dans les deux présentations, pour les temps de réponse et le pourcentage d'erreurs à la tâche d'alternance. Enfin, la contribution de l'empan non verbal n'est jamais significative et celle de l'empan verbal ne se maintient pas après l'entrée de la mesure de CE dans l'analyse.

Ces différentes constatations amènent à conclure que la contribution du CE n'est pas à négliger dans les explications des difficultés en lecture. Cette contribution apparaît même comme surpassant les capacités de traitements et de stockage des informations verbales en MdT. Le retard en lecture de certains enfants de CE2 pourrait ainsi dépendre des capacités de traitement et de stockage du matériel verbal mais également des capacités de CE (notamment la capacité à alterner entre différents traitements).

.4 DISCUSSION

Le premier objectif de cette étude était d'étudier l'influence d'un contrôle exécutif sur un traitement impliqué dans le décodage. Le principe de la tâche proposée est celui de la double tâche (MdT) utilisé dans la littérature pour démontrer la relation entre MdT et lecture. Elle combine une tâche de Conjonction Illusoire (CI) et une tâche exécutive Elle nécessite la mise en œuvre de différents processus de traitement. Ces processus spécifiques requièrent la planification de multiples stratégies de maintien et de retrait de procédures, de

changement de but, de maintien de résultats intermédiaires… La réalisation de la tâche requière donc la mise en œuvre de traitements contrôlés.

Les données obtenues avec la tâche de CI, dans sa version classique, répliquent l'effet observé par d'autres chercheurs auprès d'enfants (Ballaz et al., 1999). La présence d'un plus grand nombre d'erreurs en situation incongruente confirme l'effet de migration des couleurs selon la structure en syllabes des mots. Cet effet est également observé pour le regroupement des lettres en graphèmes. Ces effets s'observent chez les faibles et les normolecteurs. Cette tâche permet donc de mesurer l'influence des traitements lexicaux et sub-lexicaux.

L'ajout d'une tâche exécutive de mise à jour ou d'alternance à la tâche de CI conduit les enfants à commettre davantage d'erreurs. De façon générale, en situation de CI classique, les erreurs sont peu nombreuses sur les items congruents pour les enfants des deux niveaux de lecture. Cela montre qu'ils réalisent la tâche sans trop de difficultés. En revanche, les erreurs sont plus nombreuses lorsque qu'une tâche de CE est ajoutée (à l'exception de la condition mise à jour en présentation syllabe). Cette augmentation du pourcentage d'erreurs, lorsqu'une tâche de CE est ajoutée, est indépendante du type d'information (unité) à traiter. On observe également qu'en moyenne les faibles lecteurs commettent plus d'erreurs que les normolecteurs. Les effets d'interaction entre Niveau en lecture et Condition sont significatifs dans les trois plans d'analyse. Ils indiquent que les deux groupes obtiennent des performances similaires en condition CI classique, mais que lorsqu'une tâche de CE est ajoutée à la tâche de CI classique, les faibles lecteurs commettent plus d'erreurs que les normolecteurs. Chez ces derniers, il n'y a pas d'augmentation significative entre les conditions CI classique et CI avec alternance ou mise à jour. Cet effet ne s'observe que si l'on compare la condition CI classique à la condition d'alternance ou à la condition de mise à jour. Toutefois, l'hétérogénéité importante des erreurs intra-groupes invite à rester prudent par rapport aux effets observés.

Le coût engendré par l'ajout d'une tâche exécutive apparaît également sur les temps de réponse : l'effet simple de la condition est significatif dans les trois plans utilisés. Les analyses comparant chacune des conditions avec contrôle exécutif à la condition contrôle de CI indiquent cependant que le coût du contrôle exécutif n'est pas significatif pour les normolecteurs (quelle que soit la présentation), alors que ce coût se manifeste chez les faibles lecteurs. Toutefois, l'effet d'interaction simple Niveau en lecture*Condition est significatif lorsque la tâche de CI est comparée à la mise à jour mais pas lorsqu'il s'agit de l'alternance.

Partant du postulat que les processus exécutifs se manifesteraient davantage lorsque le traitement cognitif est plus coûteux, nous avons utilisé deux versions de la tâche de CI, l'une induisant l'utilisation des graphèmes (procédure apprise au début de l'apprentissage de la lecture) et l'autre induisant l'utilisation des syllabes (procédure qui s'installe ultérieurement ; Colé et al., 1999 ; Valdois et al., 2001). Chez les faibles lecteurs, le surcoût est présent lorsqu'une alternance est ajoutée et que la cible est à la frontière syllabique, ou lorsqu'une mise à jour est ajoutée et que la cible se trouve à la frontière syllabique ou appartient à un graphème. Cet effet peut être expliqué par une moins bonne maîtrise des unités graphémiques et syllabiques chez les faibles lecteurs puisque pour les normolecteurs, plus efficients dans l'identification des mots, aucun effet de la tâche ajoutée n'est observé. Précisons toutefois que les effets d'interaction double ne sont pas significatifs. Ainsi pour les faibles lecteurs, l'ajout d'une tâche exécutive semble engendrer un coût supplémentaire, qu'ils ne peuvent gérer. De fait, le type de traitement mobilisé dans la tâche de CI n'a généralement que peu d'influence sur les performances. Les effets simples de la présentation ne sont jamais significatifs (pour les erreurs comme pour les TR). De même, pour les effets d'interaction simple Niveau en lecture*Présentation si ce n'est pour la tâche d'alternance.

En conclusion, cette première analyse montre que l'ajout d'une tâche de contrôle exécutif à une tâche de sélection de lettres dans un mot conduit à une forte augmentation des temps de réponse chez des enfants scolarisés en CE2 avec un retard de lecture. Cette difficulté à gérer différents processus pourrait, par extension, expliquer les difficultés de régulation des traitements mis en jeu dans une tâche de décodage en lecture qui est coûteuse pour les enfants faibles lecteurs. Les résultats obtenus plaident-ils davantage en faveur de l'hypothèse de la saturation des ressources partagées ou d'un déficit du contrôle exécutif ?

Les résultats ne permettent pas de différencier ces deux hypothèses. L'influence de la présentation qui devait permettre de manipuler le coût de la tâche n'est pas significatif (effets simples et effet d'interaction N*P), excepté lorsque l'analyse comporte les modalités CI et Alternance (pour les TR). Comme cet effet d'interaction n'est pas significatif lorsque l'analyse comporte les modalités CI et mise à jour, il est difficile d'en déduire que ce sont les ressources sollicitées ou le type de contrôle qui est en jeu.

Les données indiquent de plus que les profils de performances diffèrent selon le type de tâche exécutive. Pour les TR, l'interaction N*C n'est pas significative lorsque l'analyse comporte les modalités CI et alternance mais est significative lorsqu'il comporte les modalités CI et mise à jour. Compte-tenu de ces profils différents, il est probable que le

coût de la tâche combinant CI et tâche exécutive résulte à la fois du coût de la tâche exécutive à réaliser et du traitement non exécutif. La manipulation du coût cognitif, telle que nous l'avons opérationnalisée dans cette étude en faisant varier le type de traitement non exécutif, n'est pas pertinente.

Enfin, le protocole utilisé dans cette première analyse ne permet pas d'exclure que les effets observés soient liés aux difficultés de traitement du matériel verbal ou de décodage des faibles lecteurs. La tâche non exécutive porte en effet sur un matériel verbal et suppose l'effet d'informations descendantes issues des traitements liés à l'identification du mot. C'est pourquoi, dans une seconde analyse, nous avons contrôlé cet effet éventuel en utilisant une tâche non exécutive portant sur du matériel non verbal.

Le second objectif de la recherche présentée dans ce chapitre était d'étudier l'implication des composantes de la MdT et du CE dans le décodage en lecture, en comparant faibles lecteurs et normolecteurs de CE2 dans des tâches verbales et non verbales. Les premières études portant sur les relations entre la MdT et la lecture supposent que les difficultés des faibles lecteurs résultent d'une saturation des ressources en MdT (ou ressources attentionnelles). Cette saturation serait la conséquence d'une BP inefficiente (Conway & Engle, 1996 ; Ellis, 1988 ; Liberman, 1973 ; Seigneuric et al., 2000 ; Shankweiler, 1999). Chez les faibles lecteurs, l'utilisation d'un matériel verbal diminuerait leurs performances aux tâches impliquant ce type de matériel. Cette saturation pourrait également provenir d'un déficit des capacités générales de la MdT. Les faibles lecteurs possèderaient à la base, des ressources mnésiques ou attentionnelles trop faibles, ce qui les empêcheraient de réaliser efficacement des tâches cognitivement coûteuses, quelles soient verbales ou non verbales (Engle & Kane, 2004 ; Turner & Engle, 1989 voir chapitre 2 page 68). Ces deux difficultés (traitement verbal et ressources en MdT) pourraient constituer un déficit unique ou s'additionner.

Enfin, une hypothèse plus récente considère que le CE joue un rôle primordial dans la lecture (Engle, Cantor et al., 1992 ; Palmer, 2000 ; Swanson, 1993 ; Swanson 1999 ; Swanson, Ashbaker et al., 1996). Si le CE est impliqué, les faibles lecteurs devraient se trouver en difficultés lorsqu'ils doivent réaliser des tâches nécessitant du contrôle (l'inhibition ou l'alternance de réponses ou encore la mise à jour d'informations en mémoire) et ceci indépendamment de la nature du matériel présenté.

Pour tester ces différentes hypothèses, des tâches de MdT verbale et non verbale ont été proposées. Elles ont la particularité de prendre en compte la capacité de gestion et de

stockage en faisant varier séparément le nombre d'éléments à traiter et le nombre d'éléments à rappeler. Les résultats n'indiquent aucune différence significative entre les deux niveaux de lecture lorsque la tâche est non verbale. Pour l'ensemble des enfants et de manière similaire, les temps de réponses augmentent proportionnellement à l'ajout d'items à mémoriser et d'items à traiter. Par contre, lorsque la tâche est verbale, les résultats des faibles lecteurs mettent en avant des difficultés spécifiques qui apparaissent lorsque le nombre d'items à mémoriser est élevé. Les différences observées dans une tâche nécessitant de reconnaître des lettres pourraient être dues à un effet du matériel : les faibles lecteurs mobiliseraient moins rapidement que les normolecteurs cette reconnaissance des lettres et cette moindre efficience se répercuterait sur la BP. Cependant, les tâches proposées sont complexes et nécessitent de contrôler constamment l'action et d'alterner les tâches de mémorisation, de décision et de rappel. La question est alors de savoir si les effets observés ici résultent d'un effet unique du matériel ou d'un effet du matériel ajouté à un effet du contrôle plus ou moins bien maîtrisé. Il est possible de penser que la moindre efficience de la reconnaissance des lettres perturbe également le CE ou, à l'inverse, qu'une faible efficience dans le CE perturbe la régulation de la tâche qui se révèle être difficile pour l'enfant.

Pour répondre à ces interrogations, nous avons étudié plus minutieusement, dans une troisième analyse, les interactions entre le CE, les différentes composantes de la MdT (nature du matériel utilisé) et la lecture. Les résultats soulignent que les normolecteurs arrivent plus facilement à contrôler l'alternance et la mise à jour des informations que les faibles lecteurs. Ces derniers se trouvent en difficulté face à la tâche d'attention sélective portant sur des mots mais aussi sur des suites de symboles non significatifs décontextualisées de la lecture. Plus précisément, en situation verbale pour les normolecteurs, aucun effet de l'ajout de la tâche de CE n'est observé : les temps de réponse obtenus dans cette situation ne diffèrent pas significativement des temps de la condition CI classique. Pour les faibles lecteurs, l'effet de l'ajout de la tâche de CE apparaît bien. En situation non verbale, l'effet de la charge supplémentaire se traduit par une diminution de la vitesse d'exécution de la tâche. En chargeant la mémoire des faibles lecteurs, ceux-ci réalisent moins efficacement l'ensemble des tâches. Le fait que les faibles lecteurs soient moins efficients que les normolecteurs dans la réalisation de tâches verbales mettant en jeu un CE peut être interprété comme la conséquence d'un traitement lexical

lent et coûteux. Toutefois, comme cette difficulté se manifeste également en situation non verbale, il est possible de considérer que l'effet observé est lié à la mise en œuvre du CE.
Notons enfin, que les scores obtenus par les enfants en condition non verbale (dans la tâche de MdT comme dans celles de CI avec alternance et mise à jour) sont plus faibles qu'en condition verbale. Il semblerait donc qu'en CE2, si les faibles et les normolecteurs se différencient au niveau de la BP et non au niveau du CVSP, ce serait non pas parce que les deux groupes de lecteurs auraient automatisé le fonctionnement du CVSP mais, au contraire, parce qu'encore aucun enfant ne le maîtriserait efficacement. Pour beaucoup d'auteurs d'ailleurs, le développement de l'empan verbal est plus tardif que celui de l'empan non verbal (Logie & Pearson, 1997 ; Fayol & Gaonac'h 2007 ; Pross, Gaonac'h, Gaux, 2008). Cette constatation conduit à envisager plusieurs interprétations. Pour les FL, les traitements plus difficiles en verbal et non verbal se répercuteraient sur le fonctionnement de la BP et du CE dans les situations verbales et sur le fonctionnement du CVSP et du CE dans les conditions non verbales. Deuxième possibilité : les conditions plus difficiles chez les faibles lecteurs ne leurs permettent tout simplement pas de mettre en œuvre un contrôle efficace. Une autre interprétation consiste à considérer que les différences entre faibles et normolecteurs ne résulteraient pas ainsi d'un simple effet du matériel mais sont la conséquence de difficultés dans la mise en œuvre du CE. Les performances inférieures des faibles lecteurs résulteraient de difficultés à coordonner des processus contrôlés et automatisés. Cette interprétation est confortée par les analyses de régression qui soulignent que la contribution spécifique du CE apparaît systématiquement et s'avère indépendante des mesures d'empan complexe aussi bien en présentation verbale que non verbale. On peut alors se demander, comme le suggère Bauer (1977), si les faibles lecteurs ne souffrent pas d'un déficit de stratégie. Ce ne serait pas une composante spécifique (en l'occurrence la BP) qui serait la cause de ces difficultés mais l'utilisation qui en est faite, c'est-à-dire la mise en place des traitements phonologiques adéquats sur le matériel verbal. Les difficultés des faibles lecteurs pourraient provenir d'une difficulté à alterner entre différentes procédures et/ou à maintenir un traitement efficace pour décoder et lire les mots.

Chapitre 5 : Alternance et décodage en lecture : approche transversale

Résumé :
Dans cette deuxième étude, la relation entre le contrôle exécutif et l'efficience en lecture est étudiée en comparant la capacité de faibles et normolecteurs de CE1 et CM1 à exercer un contrôle dans une tâche d'alternance : l'enfant doit alterner un jugement portant sur la couleur de stimuli et un traitement mobilisé dans le décodage en lecture. Selon les hypothèses proposées dans la littérature, la capacité de l'enfant à exercer un contrôle dans cette tâche peut dépendre de différentes dimensions : la nature des traitements non exécutifs (verbale ou non verbale), la charge cognitive imposée (automatisation), les ressources mnésiques et/ou les capacités de contrôle de l'enfant. Afin de dissocier ces différentes dimensions cinq versions de la tâche d'alternance sont proposées. L'enfant doit se prononcer sur une caractéristique d'une lettre, d'un symbole, la forme du stimulus, sa localisation spatiale ou la catégorie sémantique d'un mot. L'effet de la charge cognitive est également mesuré en entraînant les enfants à juger la couleur du stimulus, ce qui exige ensuite une inhibition de cette tâche dominante. Par ailleurs, l'effet de l'efficience des processus exécutifs est étudié en comparant des enfants de CE1 et de CM1, les capacités de CE évoluant durant l'enfance.
Les analyses de variance montrent que les capacités de CE augmentent avec l'âge et que le coût de l'alternance est en général plus élevé chez les faibles lecteurs. Les capacités de CE ne suffisent pas à elles seules à expliquer les faibles performances de CE des FL de CM1 car ces derniers sont davantage ralentis par l'alternance que les NL de même âge lexique de CE1 lorsque le matériel est verbal ou plus complexe à traiter. Dans ce cas, le contrôle semble plus difficile à mobiliser. La contribution des capacités de CE à l'efficience en lecture se maintient après contrôle des mesures de MdT et de segmentation phonémique (régressions).

Les résultats obtenus dans notre première recherche corroborent l'hypothèse selon laquelle le CE serait impliqué dans les difficultés de lecture. Nous avons en effet observé que les faibles lecteurs avaient davantage de difficultés à réaliser une mise à jour et une alternance comparativement aux bons lecteurs de même âge chronologique et ceci quel que soit le matériel à traiter dans la tâche (symboles/mots). La méthodologie utilisée dans la précédente recherche ne permet toutefois pas de s'assurer que la capacité de CE soit la seule dimension permettant d'expliquer les performances inférieures des faibles lecteurs aux tâches de CE. L'automatisation des traitements non exécutifs et les ressources mnésiques/attentionnelles peuvent venir entraver le contrôle et s'ajouter à des difficultés de contrôle. Cette deuxième étude a donc été conçue de manière à tester ces différentes dimensions.

La relation entre le contrôle exécutif et l'efficience en lecture a été étudiée en comparant la capacité de faibles et normolecteurs de CE1 et CM1 à exercer un contrôle dans une tâche

d'alternance. Nous nous sommes centrés sur la tâche d'alternance qui, dans notre première étude, est apparue comme étant la composante exécutive dont la contribution était la plus importante dans les analyses de régression.
Le principe de la tâche d'alternance consistait à alterner un jugement portant sur la couleur de stimuli et un traitement caractéristique des traitements mobilisés dans le décodage en lecture. Ce traitement variait selon deux dimensions : son coût ou niveau d'automatisation et la nature verbale ou non verbale du matériel. Cette tâche d'alternance a été déclinée en cinq versions. L'enfant devait préciser la caractéristique d'une lettre, la caractéristique d'un symbole, la forme du stimulus, la localisation spatiale du stimulus, ou encore la catégorie sémantique d'un mot.

Ces tâches étant nouvelles, nous avons étudié leur pertinence et examiné si elles étaient adaptées aux enfants typiques et permettaient de rendre compte de l'évolution développementale des capacités de contrôle exécutif. Comme nous l'avons précisé précédemment, peu de tâches censées mesurer les capacités de CE sont réellement adaptées aux enfants et une grande majorité d'entre elles reste imprécise. On observe, par exemple, que certaines tâches de CE mesurent plusieurs composantes simultanément. La tâche utilisée ici mesure principalement l'alternance.
L'évolution des capacités de CE durant l'enfance est susceptible de modifier les relations entre le CE et l'efficience en lecture. La comparaison entre des enfants scolarisés en CE1 et en CM1 constitue donc un moyen d'étudier l'effet de l'efficience des processus exécutifs sur les performances aux différentes versions de la tâche d'alternance.

Par ailleurs, l'influence de la charge cognitive imposée par les traitements non exécutifs dans ces différentes versions de la tâche d'alternance a également été étudiée en augmentant la familiarité et la prégnance de la tâche de jugement de la couleur en la renforçant au préalable (par augmentation de la pratique de la tâche). En renforçant le jugement de la couleur, nous souhaitions augmenter la charge d'inhibition. L'enfant devait inhiber ce traitement dominant pour réaliser l'alternance demandée dans la tâche.

.1 Méthode

.1.1 *Population*

Ont participé à l'étude, 78 enfants de CE1 et 69 enfants de CM1, appartenant à cinq écoles différentes de la ville de Laval ou de communes situées à quelques kilomètres de la ville d'Angers. Ils sont tous non bilingues et non redoublants. Les conditions de recrutement étaient les mêmes que dans l'étude 1 (se référer à la page 122).

Pour dissocier les effets liés à l'apprentissage de la lecture de ceux liés à l'évolution du CE, trois comparaisons ont été réalisées entre : faibles et normolecteurs de CE1, faibles et normolecteurs de CM1, et enfin entre faibles lecteurs de CM1 et lecteurs de CE1 appareillés en âge lexique.

Le groupe de normolecteurs de CE1 est constitué d'enfants dont l'âge lexique est égal ou dépasse de 15 mois l'âge lexique moyen obtenu par l'ensemble des élèves de CE1 (soit entre 93 et 108 mois). Ont été considérés comme faibles lecteurs, les enfants dont le score au test de l'Alouette correspond à un retard de 6 à 12 mois par rapport à cet âge lexique moyen (entre 81 et 87 mois).

Pour constituer les groupes de lecteurs de CM1, des critères de sélection moins restrictifs ont été utilisés. Ces enfants plus âgés ayant plus d'expertise en lecture, ils obtiennent des scores au test de l'Alouette plus dispersés que les CE1. Au vue de cette grande variabilité inter-individuelle, sont considérés comme faibles lecteurs de CM1, les enfants présentant un retard de 6 à 20 mois par rapport à l'âge lexique moyen obtenu par l'ensemble des élèves de CM1 (entre 94 et 108 mois). Le groupe des normolecteurs de CM1 est quant à lui constitué d'enfants ayant un âge lexique égal ou dépassant de 18 mois l'âge lexique moyen (soit entre 114 et 132 mois).

Les âges chronologiques et lexiques de ces groupes de différents Niveaux en lecture sont précisés dans le tableau 23.

Au final, la première comparaison porte sur 18 faibles lecteurs de CE1 et 23 normolecteurs de CE1. La deuxième comparaison oppose 15 faibles lecteurs de CM1 à 16 normolecteurs de CM1. Enfin, la troisième comparaison porte sur 15 faibles lecteurs de CM1 avec un âge lexique moyen de 106 mois (compris entre 103 et 109 mois) et 15 enfants de CE1 de même âge lexique (âge lexique moyen 106 mois, compris entre 103 et 110 mois).

Le test de lecture utilisé (L'Alouette) étant parfois sujet à controverses, nous avons proposé aux enfants une seconde épreuve d'évaluation des capacités en lecture : le test de « Vitesse en lecture » de Khomsi (2005). Les résultats obtenus valident les comparaisons réalisées

avec le test de l'Alouette (tableau 27 page 173). Des épreuves de décodage de pseudo-mots, de mots réguliers et de mots irréguliers (épreuves issues de la batterie L2MA) ont également été proposées.

Tableau 23 : *Caractéristiques des groupes de différents Niveaux en lecture constitués*

	CE1 FL-NL		CM1 FL-NL		CM1 FL - CE1 NL	
	Faibles lecteurs N=18 ♀ = 9 ♂ = 9	Normo lecteurs N=23 ♀ = 10 ♂ = 13	Faibles lecteurs N=23 ♀ = 12 ♂ = 11	Normo lecteurs N=21 ♀ = 13 ♂ = 8	Faibles lecteurs N=23 ♀ = 12 ♂ = 11	Normo lecteurs N=23 ♀ = 13 ♂ = 10
Âge chronologique	94 mois (3,04)	96 mois (4,06)	117 mois (3,41)	119 mois (3,50)	117 mois (3,41)	96 mois (4,06)
Âge lexique (Alouette)	84 mois (1,75)	99 mois (5,02)	101 mois (4,74)	123 mois (6,20)	101 mois (4,74)	99 mois (5,02)

De plus, d'autres épreuves ont permis de vérifier si ces groupes de différents niveaux en lecture se différenciaient sur : 1/ la compréhension en lecture (test de Aubret et Blanchard, 1991) ; 2/ le vocabulaire (Légé & Dague, 1976) ; 3/ l'efficience intellectuelle (NNAT de Naglieri, 1996) qui permet d'évaluer les capacités de raisonnement), 4/ les capacités de conscience phonémique (Gaux, 1997) mesurée à l'aide d'une tâche de segmentation phonémique consistant à segmenter oralement les phonèmes de 16 mots uni ou bi syllabiques (annexe 5 page 282) ; 5/ ainsi que la capacité à mémoriser des informations avec une tâche concurrente à l'aide des tâches de MdT verbales et non verbales présentées dans l'étude 2 (annexe 4, pages 279 à 280). Les résultats obtenus par chacun des groupes à ces différentes épreuves sont synthétisés dans le tableau 5 en partie résultats.

.1.2 *Matériel*

Dans cette étude cinq tâches d'alternance ont été proposées. Chacune obéissait au même principe : l'enfant était placé face à un écran. Au centre de celui-ci apparaissait successivement des items (mots, symboles ou formes) entourés d'un cadre. Pour chaque tâche, deux critères de réponse étaient possibles. Un critère couleur (A), qui restait constant pour l'ensemble des tâches proposées, et un critère spécifique à chaque tâche : casse, catégorie sémantique, forme ou position (B). Tous les deux items le critère de réponse changeait suivant une alternance AABBAABB. L'enfant devait donc porter son attention, alternativement, sur l'une ou l'autre des caractéristiques des items et fournir la réponse correspondante. Les réponses étaient données oralement et enregistrées à l'aide d'un

micro-casque. L'apparition de chaque item n'était pas automatique après chaque réponse orale, afin d'éviter un enchaînement accidentel des items, l'expérimentateur contrôlait leur apparition qui ne pouvait être déclenchée que par appui volontaire sur une touche du clavier. Nous prenions en compte le pourcentage d'erreurs ainsi que les temps de réponse.

Nous avons également manipulé la familiarité des items. Chaque tâche d'alternance (couleur + un autre critère de réponse) était précédée d'une tâche identique mais présentée sans alternance c'est-à-dire portant sur le critère de réponse « couleur ». Ces épreuves préalables étaient composées de 20 items, différents de ceux utilisés dans la phase expérimentale mais qui possédaient les mêmes caractéristiques (forme, fréquence, nombre de lettres…). Ces tâches simples, antérieures aux tâches d'alternance, permettaient aux enfants d'automatiser le critère de réponses « couleur ». Nous considérions que le critère de réponse était automatisé lorsque les temps de réponse des derniers items diminuaient significativement puis restaient stables (Bonnet, 1986). Plus précisément, nous considérions que la tâche était automatisée si la moyenne des 5 derniers items était une fois et demie inférieure à la moyenne des 10 premiers et quand l'écart type de ces 5 derniers items correspondait au maximum à 20 % de la moyenne.
Dans la tâche d'alternance proposée ensuite, cet entraînement sur la réponse « couleur » rend plus coûteux l'inhibition de ce type de réponse et l'engagement dans une nouvelle procédure de réponse peu habituelle. Nous avons étudié si la familiarité de la réponse sur le critère couleur engendrait une augmentation du coût de la tâche d'alternance (mesuré par les TR et le pourcentage d'erreurs) chez tous les enfants et si elle variait en fonction de leur âge, de leur niveau en lecture.
Ces tâches comportaient un matériel linguistique ou non linguistique et portaient sur la caractéristique d'une lettre, la caractéristique d'un symbole, la forme du stimulus, la localisation spatiale du stimulus, ou encore la catégorie sémantique d'un mot. Le principe et le matériel de chacune des cinq tâches d'alternance sont décrits ci-dessous.

.1.2.1 Tâches linguistiques

- **Alternance dans une tâche de catégorisation sémantique**

Quarante mots appartenant à deux catégories sémantiques distinctes (l'école ou les vacances) étaient présentés. Ces mots pouvaient être écrits en jaune ou gris. L'enfant devait alterner tous les deux items entre un critère de réponse « sémantique » et un critère

de réponse « couleur ». En fonction des caractéristiques du cadre qui entourait le mot, l'enfant savait sur quel critère devait porter sa réponse (figure 18).

PLAGE Lorsque le cadre était noir, l'enfant devait dire à quelle catégorie appartenait le mot présenté en répondant « École » ou « Vacances ».

TABLEAU Lorsque le cadre était bicolore, il devait indiquer la couleur de l'encre en répondant par « Jaune » ou « Gris ».

En utilisant des cadres noirs ou bicolores, congruents avec le type de réponse attendu, il s'agissait de limiter les confusions possibles et de pallier les éventuels soucis de mémorisation qui peuvent notamment perturber les enfants les plus jeunes.

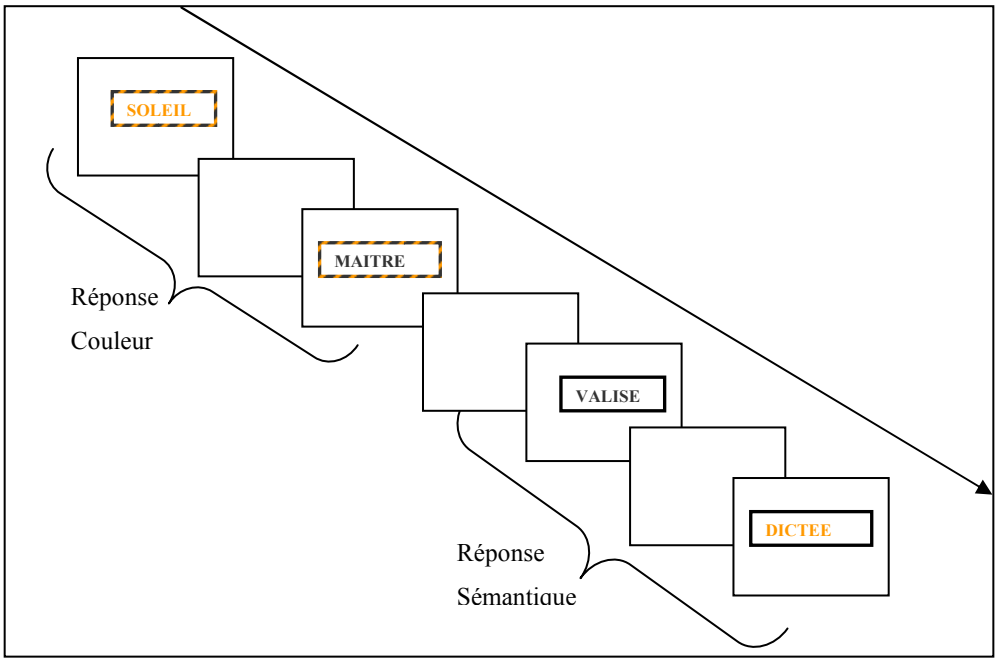


Figure 18 : Dispositif expérimental de la tâche d'alternance couleur-sémantique

Les mots utilisés pour cette tâche ont été sélectionnés dans la base de données MANULEX. Nous avons choisi des mots de fréquence d'occurrence courante (*Standard Frequency Index* : comprise entre 50 et 70) de façon à proposer aux enfants des mots usuels dont ils connaissaient la signification (détail du matériel utilisé en annexe 5, pages 283 à 284). Puisque cette tâche se basait sur des critères sémantiques, il était important que les enfants, quel que soit leur âge et leur niveau en lecture, soient capables de lire et comprendre chaque mot, pour ensuite les catégoriser ; l'intérêt n'étant pas d'évaluer leur compétence sémantique ou leur niveau de vocabulaire, mais bien d'étudier l'impact de l'efficacité de l'alternance dans une tâche de lecture sollicitant l'accès au sens des mots, c'est-à-dire nécessitant la mise en place de traitements plus complexes que le décodage.

Des pré-tests ont été réalisés afin de vérifier la pertinence de la répartition des items dans chaque catégorie (annexe 5, page 283).

❖ Tâche de détection des caractéristiques d'une lettre cible dans un mot

Pour cette tâche, nous avons repris le même principe que la tâche de CI de l'étude 1. Au centre de l'écran apparaissaient successivement quarante mots précédés d'une lettre cible située au centre (2ème, 3ème ou 4ème position) de ces mots (figure 19). Les mots présentés étaient uni-syllabiques et comportaient 5 lettres dont un graphème central (exemple : PLOMB). Les premières lettres de ces mots étaient en bleu-gras et les dernières lettres en rouge-fin : par exemple : **PL**OMB ou **MOI**NE (détail du matériel annexe 5, page 285).

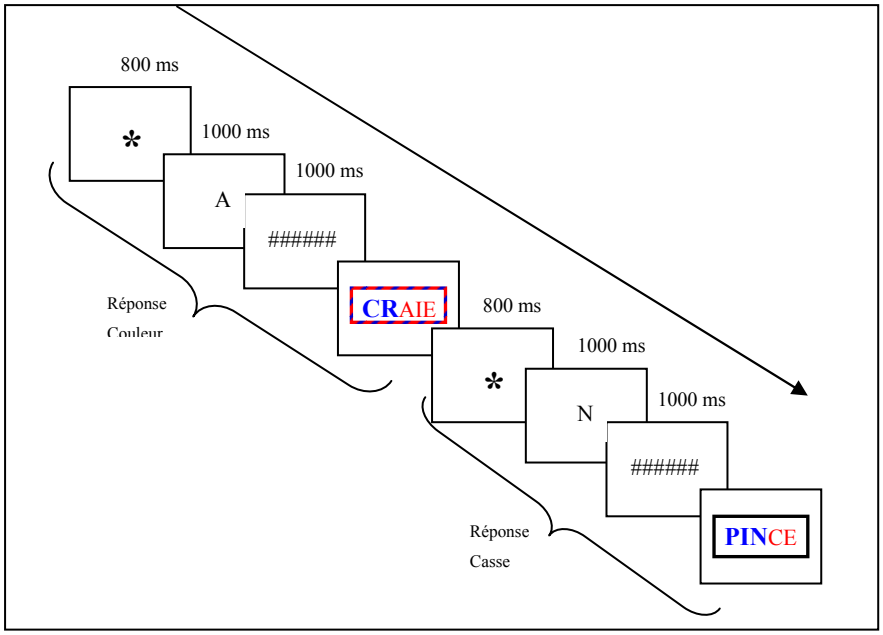


Figure 19 : Dispositif expérimental pour la tâche d'alternance mots

L'enfant devait mémoriser chaque lettre cible puis la repérer dans le mot qui suivait et fournir le plus rapidement possible une réponse sur la couleur (« bleue » ou « rouge ») ou la casse (« gras » ou « fin »). Le critère de réponse (« couleur » ou « casse ») à utiliser était déterminé par les caractéristiques du cadre entourant le mot.

Si le cadre était bicolore (rouge-bleu), l'enfant devait préciser oralement si la lettre cible dans le mot était de couleur rouge ou bleue. Si le cadre était noir, l'enfant devait dire si la lettre cible dans le mot était en caractère gras ou fin.

.1.2.2 Tâches non linguistiques

❖ **Tâche de détection des caractéristiques d'un symbole**

Afin de dissocier les traitements linguistiques des traitements perceptifs nous avons conçu cette tâche de CI avec un matériel non linguistique. Dans la tâche précédente, nous avons utilisé une suite de lettres constituant des mots (boule, tronc) ; dans cette épreuve qui obéit au même principe, nous avons utilisé une suite de signes non signifiants mais proches graphiquement des caractéristiques de l'alphabet (figure 20).

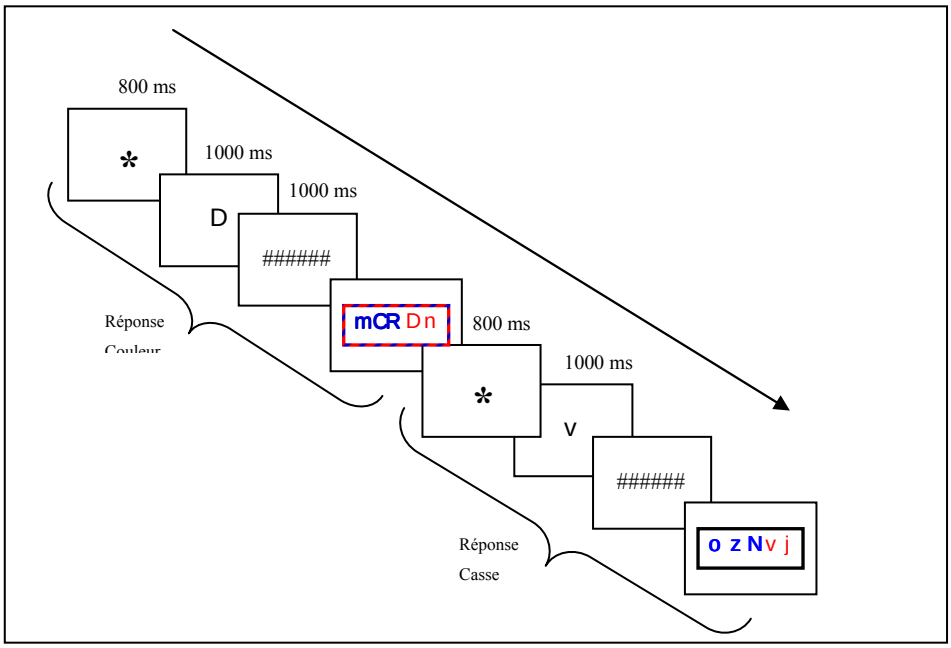
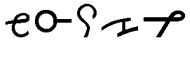


Figure 20 : Dispositif expérimental pour la tâche d'alternance symboles

Les quarante suites de signes non significatifs étaient appareillées aux quarante suites de lettres : nous changions simplement la police de caractère « Times New Roman » par une police non verbalisable : « Thoras » (Police « imaginaire » téléchargée sur Internet). Par exemple, les mots : « CLAIR » et « PLOMB » devenaient : «  » et « » (détail du matériel annexe 5, page 285).

❖ **Alternance dans une tâche de reconnaissance portant sur des formes**

Quarante figures (des ronds et des cœurs) de couleur (rose ou vert) étaient présentées aux enfants. Si la figure était encadrée par un rectangle noir l'enfant devait dire s'il s'agissait

d'un rond ou d'un cœur, si la figure était entourée d'un cadre bicolore rose et vert il devait dire si la figure était rose ou verte (figure 21).

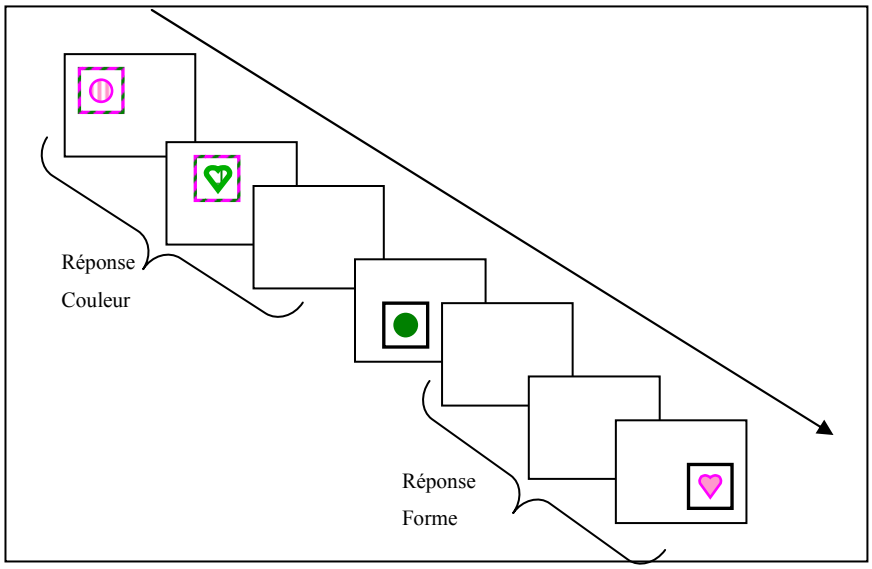


Figure 21 : Dispositif expérimental de la tâche d'alternance formes

Les deux formes ont été choisies parce qu'elles constituent des figures simples et connues. De plus, nous avons présenté ces deux formes de façons différentes (contour continu ou en pointillés, différents motifs de remplissage, grosseurs de traits...) de façon à proposer une situation plus en adéquation avec ce que l'enfant connaît au quotidien dans l'activité de lecture, à savoir, des formes variées et des présentations différentes pour chaque mot ou lettre. Un même mot peut, en effet, être écrit dans des polices, casse ou graphies différentes (détail du matériel en annexe 5, page 286).

❖ Alternance dans une tâche spatiale

La tâche d'alternance « spatiale » portait sur des critères spatiaux c'est-à-dire la position d'un item dans l'espace de l'écran (figure 22). Cette tâche faisait varier la couleur et la position d'une étoile sur l'écran. Cette étoile pouvait être présente en haut ou en bas de l'écran (ce qui constituait un premier critère de réponse « position ») et être de couleur blanche ou mauve (critère de réponse « couleur ») (détail du matériel annexe 5, page 287).

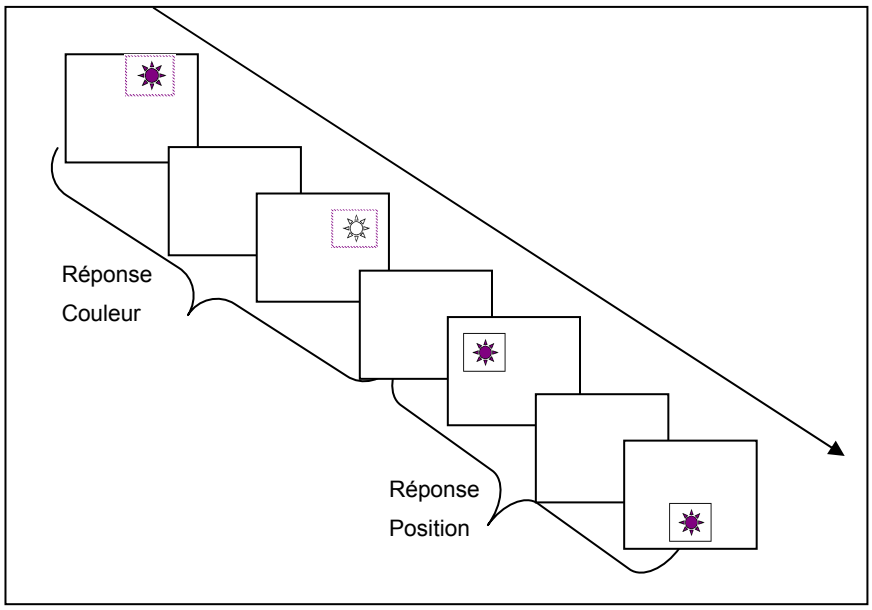


Figure 22 : Dispositif expérimental pour la tâche d'alternance spatiale

Une étoile entourée d'un cadre noir indiquait que l'enfant devait répondre par « haut » ou « bas », en fonction de la position de cette étoile sur l'écran (symboliquement divisé en deux dans le sens de la longueur), un cadre bicolore mauve et blanc enjoignait par contre, de donner la couleur de l'étoile en répondant par « blanc » ou « mauve ». Quarante items étaient proposés.

.1.3 *Procédure*

Cette étude s'est déroulée durant les mois de mars à juin. Dans un premier temps, tous les enfants ont réalisé collectivement les épreuves de NNAT, de vocabulaire (lors d'une 1ère séance), de vitesse en lecture et de compréhension (lors d'une 2ème séance). Ensuite, individuellement, chaque enfant lisait le texte de l'Alouette.

Dans un second temps, les enfants ont participé à deux rencontres individuelles, d'environ 20 minutes chacune, dans une salle calme. Ces deux séances individuelles étaient espacées de 10 jours au maximum. Les épreuves étaient donc regroupées en deux blocs : le bloc 1 comprenait les épreuves d'alternance mots, symboles et de MdT et le bloc 2 était constitué des tâches d'alternance sémantique, formes et spatiale. A l'intérieur de chaque bloc, les épreuves étaient toujours présentées dans le même ordre.

.2 RESULTATS

Les analyses réalisées ont porté sur les temps de réponse, puis sur les pourcentages d'erreurs. Lorsque les analyses portent sur les temps de réponse, seuls les temps correspondant aux réponses correctes sont conservés. De plus, les temps individuels aberrants (inférieurs à 200 ms ou supérieurs à 6000 ms) et ceux inférieurs ou supérieurs à deux écart-types pour un individu donné sont écartés de l'analyse des résultats. Les enfants pour qui plus de quatre temps ont enlevés dans une même condition, ont été écartés de l'étude.

.2.1 *Validation des tâches utilisées : comparaison des performances obtenues par tous les enfants de CE1 et de CM1*

- Pertinence des tâches et sensibilité développementale

L'analyse des données a porté, dans un premier temps, sur l'évaluation de la pertinence des épreuves proposées. Il s'agissait de valider la sensibilité développementale des tâches en étudiant les effets de l'âge et du matériel sur les résultats obtenus, indépendamment du niveau en lecture. Les comparaisons ont porté sur l'ensemble des enfants. Parmi les 147 enfants ayant participé à cette étude, seuls les résultats de 126 d'entre eux (66 enfants de CE1 et 60 enfants de CM1) ont été conservés dans les analyses. Sur ces 126 enfants, aucun n'a obtenu de performances anormalement faibles aux différentes épreuves préalables et leurs temps de réponse et le nombre d'erreurs concordent avec les critères présentés ci-dessus.

Les analyses de variance ont été réalisées tâche par tâche, selon le plan S<A2>C2*R2, où « A » correspond au niveau scolaire des enfants (CE1/CM1), « C » correspond aux deux Conditions (Alterné ou Répété) et « R » indique le type de réponse attendu (Familière -couleur- ou Non familière -autre réponse-). Les données de ces analyses sont synthétisées dans le tableau 24 ci-dessous.

Lorsque ces analyses portent sur les temps de réponse, elles montrent que l'effet de l'âge est significatif. Sur l'ensemble des tâches, les performances moyennes des enfants de CM1 sont supérieures à celles des enfants de CE1. Les enfants les plus âgés commettent moins d'erreurs et répondent plus rapidement, que la tâche porte sur un matériel verbal ou non verbal. Les tâches proposées semblent donc adaptées pour évaluer le contrôle exécutif chez les enfants et apprécier son développement.

Pour l'ensemble des épreuves verbales, les enfants de CE1 gèrent moins efficacement ce coût du contrôle supplémentaire. Le passage d'un type de réponse à un autre engendre une augmentation des temps de réponse bien plus importante que celle présente chez les enfants de CM1. Cet effet est accentué par la familiarité de la réponse dans les tâches verbales uniquement (sémantique et mots). Dans ce cas, lorsque la réponse porte sur un critère entraîné (couleur), les deux groupes d'enfants obtiennent des temps de réponse proches, mais lorsque la réponse porte sur un critère non entraîné (catégorisation sémantique, casse), les temps de réponse des enfants de CE1 sont significativement plus élevés que ceux des enfants de CM1. Cet effet de la familiarité des réponses en fonction de l'âge ne s'observe pas sur les trois autres tâches, peut être parce que les deux types de réponses attendues dans ces tâches non verbales et spatiales sont plus proches que dans les tâches verbales.

Tableau 24 : *Tableau récapitulatif des effets pour les temps de réponse et les erreurs pour les enfants de CE1 et de CM1 indépendamment du niveau en lecture (écarts-types entre parenthèses)*

	Verbal								Non-Verbal											
	Tâche Sémantique				**Tâche Mots**				**Tâche Symboles**				**Tâche Formes**				**Tâche Visuo-spatial**			
	Entraînée (couleur)		Non entraînée (cat. sem.)		Entraînée (couleur)		Non entraînée (casse)		Entraînée (couleur)		Non entraînée (casse)		Entraînée (couleur)		Non entraînée (forme)		Entraînée (couleur)		Non entraînée (position)	
	Répété	Alterné	Répété	Alterné	Répété	Alterné	Répété	Alterné	Répété	Alterné	Répété	Alterné	Répété	Alterné	Répété	Alterné	Répété	Alterné	Répété	Alterné
Temps de réponse																				
CE1	2449 (468)	2577 (440)	3354 (890)	3526 (892)	2569 (539)	2712 (518)	2640 (541)	2975 (576)	2526 (493)	2669 (510)	2542 (540)	2776 (488)	2028 (342)	2122 (397)	2149 (370)	2363 (559)	2015 (468)	2045 (366)	2030 (408)	2215 (482)
CM1	1996 (269)	2281 (455)	2344 (337)	2606 (381)	2286 (280)	2354 (259)	2533 (284)	2725 (361)	2220 (268)	2365 (295)	2382 (213)	2674 (349)	1928 (289)	2031 (280)	2074 (227)	2145 (244)	1934 (205)	2043 (284)	1992 (262)	2107 (258)
Effet âge	64,51 ***				15,14 ***				12,41 ***				5,55 *				5,54 *			
Effet condition	56,90 ***				72,20 ***				90,45 ***				31,77 ***				31,65 ***			
Effet réponse	38,80 ***				46,82 ***				25,01 ***				46,79 ***				19,13 ***			
A*C	4,85 *				6,27 *				<1				2,49				1,37			
A*R	38,79 ***				4,14 *				8,65 **				1,29				1,02			
A*C*R	<1				<1				<1				3.38				3,18			
Pourcentage d'erreurs																				
CE1	5.30 (7.89)	7.74 (10.48)	5.76 (9.62)	15.82 (13.06)	6.09 (6.02)	12.32 (9.36)	8.40 (11.78)	16.73 (11.99)	5.79 (6.32)	11.68 (8.68)	5.92 (6.55)	11.26 (9.80)	5.02 (6.61)	8.21 (9.24)	3,82 (6.73)	11.73 (11.25)	4.70 (6.61)	6.11 (8.36)	5.15 (8.27)	12.29 (11.46)
CM1	2.50 (5.08)	4.17 (6.96)	4.00 (7.41)	8.67 (9.65)	4.83 (7.01)	8.17 (8.33)	3.00 (5.61)	10.00 (9.74)	4.33 (6.47)	7.17 (7.15)	4.83 (5.67)	7.17 (8.04)	3.17 (6.51)	4.50 (6.22)	4.67 (6.23)	7,01 (8.69)	3.17 (5.37)	3.83 (6.40)	4.02 (6.16)	7,00 (7.66)
Effet âge	**64,15** ***				**17,52** ***				**9,98** **				**6,49** *				**6,71** **			
Effet condition	**56,90** ***				**52,52** *				**44,77** ***				**30,42** ***				**29,38** ***			
Effet réponse	177,86 ***				**99,40** ***				<1				**8,45** **				**17,82** ***			
A*C	4,86 *				2,27				6,11 *				7,71 **				4,68 *			
A*R	38,80 ***				5,53 *				<1				<1				1,10			
A*C*R	<1				<1				<1				2,19				2,93			

A = Groupe (CE1/CM1), C = Condition (Alterné ou Répété), R = Type de réponse attendu (Familière -couleur- ou Non familière -autre réponse-). * p<.05 ; ** p<.05 ; *** p<.001

Concernant le pourcentage d'erreurs, des effets similaires sont observés pour les tâches verbales ; seul l'effet d'interaction Age*Condition disparaît. Pour les tâches non verbales et spatiales, le pourcentage d'erreurs semble être un indicateur plus sensible du développement des capacités de contrôle exécutif que les temps de réponse. Pour ces

tâches, l'effet d'interaction simple Age*Condition qui n'apparaissait pas pour les temps de réponse, se révèle significatif. Les enfants plus jeunes répondent aussi rapidement que les enfants les plus âgés à ce type de tâches, mais au détriment de l'exactitude des réponses.

Les différences inter-niveaux en lecture identifiées pour ces cinq épreuves confirment donc la validité de ces tâches et leur pertinence pour évaluer le développement des capacités de CE notamment. Cette première analyse indique également qu'en fonction de la nature des tâches proposées, la variable dépendante doit être choisie avec discernement (rapidité de la réponse ou justesse).

❖ Effet d'ordre

Les épreuves étaient présentées dans un ordre constant pour tous les participants. Nous avons donc testé si un effet d'ordre apparaissait entre les épreuves. Des analyses de variance ont été réalisées mettant en relation les performances de l'ensemble des enfants aux cinq tâches pour les réponses couleur puis pour les réponses autre et ceci pour les temps de réponse puis pour les pourcentages d'erreurs. Les résultats indiquent qu'un effet d'ordre apparaît systématiquement (tableau 25).

Tableau 25 : *Effets d'ordre*

		Temps de réponse		Pourcentages d'erreurs	
Ordre de présentation		Rép. Couleur	Rép. Autre	Rép. Couleur	Rép. Autre
1	Mots	2490	2725	7,90	9,86
2	Symboles	2454	2598	7,33	7,35
3	Sémantique	2336	2982	5,00	8,71
4	Formes	2032	2139	5,30	6,86
5	Spatiale	2010	2089	4,47	7,17
	F	**92,91*** **	**115,07*** **	**11,63*** **	**5,93*** **

*** p<.001

En général, les temps de réponse et le pourcentage d'erreurs diminuent au fur et à mesure de la présentation des tâches. Il semble donc que les enfants s'habituent aux tâches et mettent en place des stratégies leur permettant de répondre plus efficacement. Cet effet d'ordre pourrait expliquer en partie les performances plus élevées (notamment les temps de réponses plus rapides) obtenues aux tâches d'alternance forme et spatiale.

❖ Effet de renforcement

Nous avons testé les effets de renforcement à l'intérieur de chaque tâche en comparant le temps de réponse et les pourcentages d'erreurs obtenus pour les huit premiers essais et pour les huit derniers essais de chaque tâche (tableau 26).

Tableau 26 : E*ffets de renforcement*

		Temps de réponse		Pourcentage d'erreurs	
		Rép. Couleur	Rép. Autre	Rép. Couleur	Rép. Autre
Mots	essais début	2517	2905	8,12	12,68
	essais fin	2499	2623	8,32	11
	f	**ns**	**85,18*** **	**ns**	**6,12***
Symboles	essais début	2488	2702	7,99	10,58
	essais fin	2512	2547	7,58	6,28
	f	**ns**	**66,47*** **	**ns**	**27,87*** **
Sémantique	essais début	2429	3283	4,23	10,58
	essais fin	2399	2714	5,3	8,33
	f	**ns**	**102,58*** **	**ns**	**9,55** **
Formes	essais début	2079	2186	6,02	7,02
	essais fin	2100	2137	5,12	6,87
	f	**ns**	**9,12***	**ns**	**ns**
Spatiale	essais début	2027	2173	4,58	6,58
	essais fin	1964	2037	4,96	7,11
	f	**ns**	**29,3** **	**ns**	**ns**

* p<.05 ; ** p<.05 ; *** p<.001

Pour les réponses couleur, l'effet de renforcement n'apparaît pas, que les analyses portent sur les temps de réponse ou les pourcentages d'erreurs. Cette absence d'effet confirme que l'entraînement sur les réponses couleur a été suffisamment efficace et que les réponses sont automatisées dès le début de la tâche, comme nous le souhaitions.

Pour les réponses « autres », l'effet consécutif au renforcement de la réponse couleur est présent pour toutes les tâches. Ces réponses nouvelles non entraînées génèrent des temps de réponse plus élevés aux premiers qu'aux derniers essais. Lorsque les analyses portent sur les pourcentages d'erreurs, cet effet de renforcement apparaît uniquement pour les trois premières tâches proposées. Pour les tâches formes et spatiale, les pourcentages d'erreurs varient pas ou peu du début à la fin de la tâche.

.2.2 *Implication du CE dans le décodage en lecture : épreuves préalables*

Dans le tableau 27 ci-dessous, sont recensés les résultats moyens obtenus aux épreuves préalables par chacun des six groupes de lecteurs (scores bruts en annexe 8, pages 305-306 et 311-312). Des analyses de variance ont été répétées trois fois, elles permettent de comparer les scores des groupes CE1-FL[10] et CE1-NL, puis les scores des groupes CM1-FL et CM1-NL et enfin les scores des groupes CM1-FL et CE1-NL appareillés sur l'âge lexique.

Tableau 27 : *Scores obtenus aux épreuves préalables pour chaque groupe de lecteurs et résultats des analyses de variance*

	CE1 FL N=18	CE1 NL N=23		CM1 FL N=23	CM1 NL N=21		CM1 FL N=23	CE1 NL N=23	
Âge chronologique	94 mois (3,04)	96 mois (4,06)	ns	117 mois (3,41)	119 mois (3,50)	ns	117 mois (3,41)	96 mois (4,06)	***
Âge lexique (Alouette)	84 mois (1,75)	99 mois (5,02)	***	101 mois (4,74)	123 mois (6,20)	***	101 mois (4,74)	99 mois (5,02)	ns
Vitesse en lecture	7 .22 (1.06)	9.34 (1.61)	***	11.44 (2.66)	22.52 (5.86)	***	11.44 (2.66)	9.34 (1.61)	ns
Pseudo-mots /20	19.17 (1.10)	19.52 (0.66)	ns	19.57 (0.73)	19.71 (0.46)	ns	19.57 (0.73)	19.52 (0.66)	ns
Mots réguliers /10	9.67 (0.59)	9.96 (0.21)	*	10 (0)	10 (0)	ns	10 (0)	9.96 (0.21)	ns
Mots irréguliers/10	9.22 (0.81)	9.61 (0.66)	ns	9.35 (0.83)	9.71 (0.56)	ns	9.35 (0.83)	9.61 (0.66)	ns
Compréhension	20.33 (3.43)	22.78 (3.41)	*	23.70 (2.87)	24.67 (2.24)	ns	23.70 (2.87)	22.78 (3.41)	ns
Raisonnement /10	6.44 (1.98)	7.56 (1.27)	ns	6.83 (1.61)	6.95 (1.53)	ns	6.83 (1.61)	7.56 (1.27)	ns
Vocabulaire / 48	39.72 (3.75)	41.00 (4.13)	ns	66.13 (8.77)	70,76 (5.88)	ns	66.13 (8.77)	41.00 (4.13)	***
Seg. Phon. /16	4.55 (3.56)	7.34 (3.56)	*	9.21 (3.40)	11.52 (2.56)	*	9.21 (3.40)	7.34 (3.56)	*
Score total MdT verbal	9.66 (2.67)	11.17 (2.36)	ns	15.48 (2.71)	16.52 (2.84)	ns	15.48 (2.71)	11.17 (2.36)	***
Score total MdT non verbal	10.33 (3.08)	11.69 (2.36)	ns	11.95 (3.87)	13.29 (2.76)	ns	11.95 (3.87)	11.69 (2.36)	ns

p<.05 ; ** p<.05 ; *** p<.001

.2.2.1 Comparaison : Faibles lecteurs de CE1 et Normolecteurs de CE1

Les analyses de variance confirment que les NL et les FL se différencient sur leur niveau en lecture. Cette différence est valable que l'on considère l'âge lexique obtenu au test de l'Alouette ou le score obtenu au test de vitesse en lecture. De même, ces deux groupes se

[10] CE1-FL : CE1 faibles lecteurs ; CE1-NL : CEI normolecteurs ; CM1-FL : CM1 faibles lecteurs ; CM1-NL : CM1 normolecteurs.

différencient sur la tâche de segmentation phonémique. Les deux groupes se distinguent également sur la lecture de mots réguliers. Concernant les performances de décodage des pseudo-mots et des mots irréguliers, les deux groupes obtiennent des performances similaires. Ces trois derniers résultats indiquent qu'il n'y a pas de difficultés liées à une voie de lecture (adressage ou assemblage), comme cela peut-être observé chez certains dyslexiques.

Ces deux groupes se distinguent sur la tâche de compréhension de texte (score moyen de 20,33 pour les FL et de 22,78 pour les bons lecteurs). Cette différence s'explique car la compréhension est directement liée à l'habileté de décodage-identification des mots, critère qui différencie ces deux groupes.

Faibles et normolecteurs ont des scores comparables en ce qui concerne les épreuves de raisonnement (NNAT), de vocabulaire et de MdT.

.2.2.2 Comparaison : Faibles lecteurs de CM1 et Normolecteurs de CM1

Les NL et les FL se différencient sur leur niveau en lecture mesuré par l'âge lexique obtenu au test de l'Alouette et le score au test de vitesse en lecture.

Aucune différence significative n'est observée aux épreuves de décodage de pseudo-mots, de mots réguliers et irréguliers (L2MA), de vocabulaire. De même, faibles et normolecteurs ont des scores comparables en ce qui concerne les capacités de raisonnement, de compréhension de texte et de MdT.

Enfin, comme chez les enfants plus jeunes de CE1, les FL et NL se distinguent sur la tâche de segmentation phonémique (score moyen de 9,21 pour les FL et de 11,52 pour les NL).

.2.2.3 Comparaison : Faibles lecteurs de CM1 et normolecteurs de CE1 de même âge lexique

Les FL de CM1 et les NL de CE1 de même âge lexique obtiennent, de façon inhérente à la logique de constitution de ces groupes, des performances identiques au test de l'Alouette mais aussi au test de vitesse en lecture. Les FL de CM1 obtiennent à ce test un score de 11,44 nettement inférieur à la note moyenne obtenue à cet âge (20,2) et les NL une note de 9,34 se situant dans la moyenne de cette classe d'âge (9,3).

Les CM1 sont plus performants sur les tâches de vocabulaire et de MdT verbale. A la tâche de vocabulaire, les CM1 obtiennent un score de 66,13 contre 41,00 pour les CE1. En toute logique, les enfants de CM1, qui ont 3 ans de plus que les enfants de CE1 ont acquis des

connaissances et un vocabulaire plus riche. A la tâche de MdT verbale, le score des faibles lecteurs de CM1 est de 15,48 contre 11,17 pour les normolecteurs de CE1.
Les analyses de variance réalisées sur les autres épreuves ne sont pas significatives. Les performances en décodage de pseudo-mots, de mots réguliers et irréguliers (L2MA) plafonnent pour les deux groupes. De même, les tâches de segmentation phonémique, de MdT non verbale, de compréhension et de raisonnement ne mettent pas en avant de différence particulière entre ces lecteurs.

.2.3 *Analyse du coût de l'alternance en fonction des temps de réponse*

Une analyse sur les temps de réponse a été effectuée suivant le plan S<N2>*C2*R2 où N représente le niveau en lecture (1er plan CE1-NL/FL ; 2ème plan CM1-NL/FL) ou l'âge chronologique (3ième plan CM1-FL/CE1-NL de même âge lexique) ; C les deux Conditions (items répétés ou alternés) et R les Réponses attendues (couleur ou autre). Les scores moyens pour chaque Niveau en lecture sont présentés en annexe 8, pages 307-308. Le lecteur trouvera à la fin de cette partie un tableau synoptique des effets observés pour chacune des tâches (tableau 28 p.189).

.2.3.1 Tâches verbales

.2.3.1.1 Tâche de catégorisation sémantique

- Comparaison : Faibles lecteurs de CE1 et Normolecteurs de CE1

L'analyse de variance indique que les effets principaux du Niveau en lecture, de la Condition et de la Réponse sont significatifs. Les FL sont en moyenne plus lents. L'effet de la tâche d'alternance apparaît sous la forme d'un accroissement des TR lorsque les items sont alternés plutôt que répétés. L'effet du type de réponse correspond à ce qui est attendu, non seulement parce qu'une des réponses est volontairement plus entraînée que l'autre mais aussi parce que réaliser une catégorisation sémantique, est, à la base, une activité plus coûteuse que de détecter une couleur. Il s'agit pour l'enfant de reconnaître le mot, puis d'aller chercher sa signification en MLT pour enfin le relier à la catégorie sémantique qui lui correspond. A l'inverse, détecter la couleur des lettres du mot, met en jeu des traitements automatiques de bas niveau qui ne ralentissent pas ou peu les TR. Pour tous les lecteurs, les TR sont donc plus courts lorsqu'il s'agit de donner une réponse

couleur (critère entraîné avant la réalisation de la tâche), plutôt que lorsqu'il faut fournir une réponse sémantique (critère de réponse nouveau).

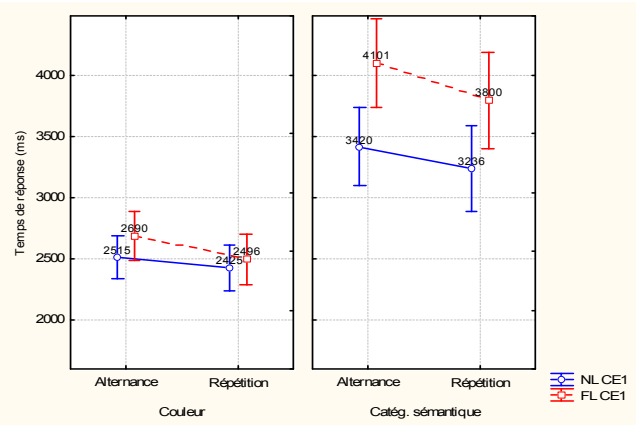


Figure 23 : Temps de réponse à la tâche « sémantique » pour chaque groupe en fonction du type de réponses (couleur ou catégorisation sémantique) et de la condition (répétition ou alternance)

L'effet d'interaction Niveau en lecture*Réponse est significatif. Les NL réalisent plus rapidement des catégorisations sémantiques que les FL (FL : 3950 ms ; NL : 3327 ms), alors que les temps de ces deux groupes sont proches en réponse « couleur » (CE1-FL : 2592 ms; CE1-NL : 2469 ms).

L'effet d'interaction simple Niveau en lecture*Condition n'est pas significatif. Le coût de l'alternance apparaît aussi bien pour les FL (4101 ms en alternance contre 3799ms en répétition) que pour les NL (3436 ms en alternance et 3236 ms en répétition). Il semblerait que dans cette tâche, la catégorisation sémantique soit une réponse très coûteuse qui engendre des TR élevés quelle que soit la condition et le niveau en lecture des enfants de CE1.

L'effet d'interaction double n'est pas significatif.

- ❖ <u>Comparaison : Faibles lecteurs de CM1 et Normolecteurs de CM1</u>

L'analyse de variance indique que les effets principaux de la Condition et de la Réponse sont significatifs mais pas celui du Niveau en lecture.

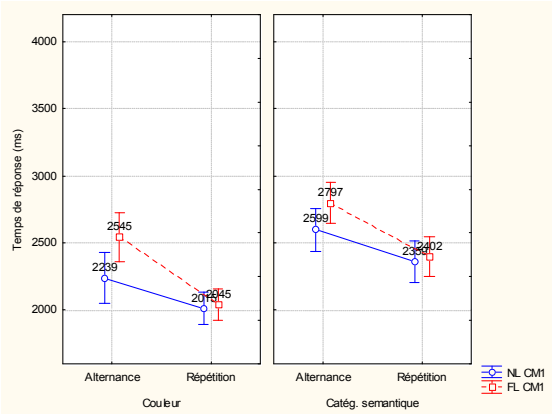


Figure 24 : Temps de réponse à la tâche « sémantique » pour chaque groupe en fonction du type de réponses (couleur ou catégorisation sémantique) et de la condition (répétition ou alternance)

L'effet d'interaction Niveau en lecture*Condition est significatif mais pas l'effet d'interaction simple Niveau en lecture*Réponse. Quel que soit le type de réponse attendu, les FL subissent plus fortement le coût de l'alternance. Le temps de réponse moyen pour les réponses alternées est de 2670ms pour les FL contre 2418 ms pour les NL.

- ❖ <u>Comparaison : Faibles lecteurs de CM1 et Normolecteurs de CE1 de même âge lexique</u>

L'analyse de variance indique que les effets principaux du Niveau en lecture, de la Réponse et de la Condition sont significatifs. Ce qui signifie 1/ que les FL de CM1 répondent plus rapidement que les enfants de CE1 de même niveau en lecture, 2/ que les réponses couleur sont données plus rapidement que les réponses de catégorisation sémantique et 3/ que l'effet de la tâche d'alternance apparaît sous la forme d'une augmentation des TR lorsque les items sont alternés plutôt que répétés.

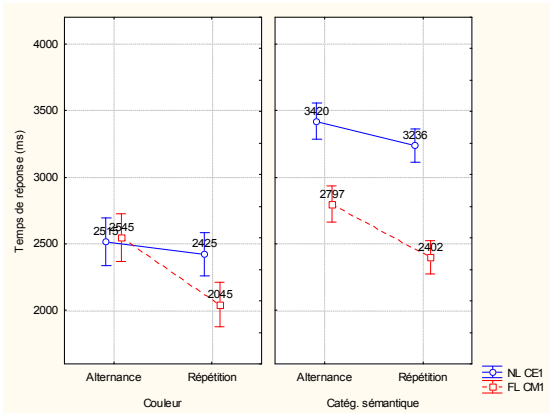


Figure 25 : Temps de réponse à la tâche « sémantique » pour chaque groupe en fonction du type de réponses (couleur ou catégorisation sémantique) et de la condition (répétition ou alternance)

Les effets simples Niveau en lecture*Condition et Niveau en lecture*Réponse sont significatifs. Lorsqu'il s'agit de donner des réponses couleur, les deux groupes obtiennent des TR proches (CE1-APP : 2469 ms ; CM1-FL : 2126 ms) ; mais lorsqu'il s'agit de réaliser des catégorisations sémantiques, les élèves de CE1-APP s'avèrent plus lents que les enfants plus âgés (CE1-APP : 3327 ms ; CM1-FL : 2478 ms). Cependant, l'effet de la Condition (répétition / alternance) montre que le coût de l'alternance est plus élevé pour les CM1-FL (2418 ms en alternance contre 2186 ms en répétition soit une différence de 232 ms) que pour les CE1 (2967 ms en alternance et 2830 ms en répétition soit une différence de seulement 137 ms).

.2.3.1.2 Détection des caractéristiques d'une lettre cible dans un mot

❖ Comparaison : Faibles lecteurs de CE1 et Normolecteurs de CE1

L'analyse de variance indique que les effets principaux de la Condition et de la Réponse sont significatifs mais pas l'effet du Niveau en lecture [F(1,39) = 2,42 ; ns]. L'effet de la tâche d'alternance est révélé par un accroissement des TR lorsque les items sont alternés plutôt que répétés. Ainsi, pour tous les lecteurs, il est plus difficile de répondre lorsqu'il y a un changement de réponse. Enfin, les TR sont plus courts lorsqu'il s'agit de donner une réponse couleur (critère entraîné avant la réalisation de la tâche) plutôt que lorsqu'il faut fournir une réponse casse (critère de réponse nouveau).

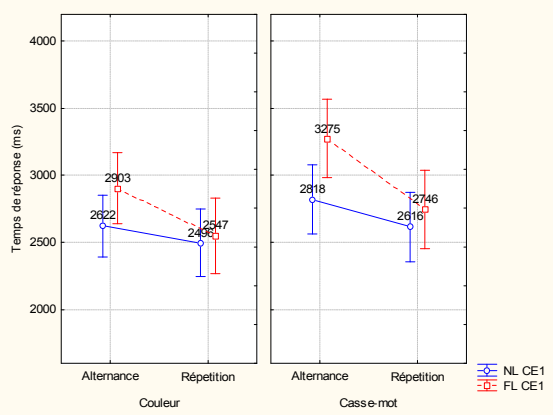


Figure 26 : Temps de réponse à la tâche « décodage mots » pour chaque groupe en fonction du type de réponses (couleur ou casse) et de la condition (répétition ou alternance)

L'analyse de variance indique que seul l'effet d'interaction Niveau en lecture*Condition est significatif. Le coût de l'alternance est plus élevé pour les FL de CM1 (3088 ms pour

les réponses alternées contre 2645 ms pour les réponses répétées) que pour les NL de CE1 (3274 ms *vs.* 2745 ms).

❖ Comparaison : Faibles lecteurs de CM1 et Normolecteurs de CM1

Les effets principaux du Niveau en lecture, de la Condition et de la Réponse sont significatifs.

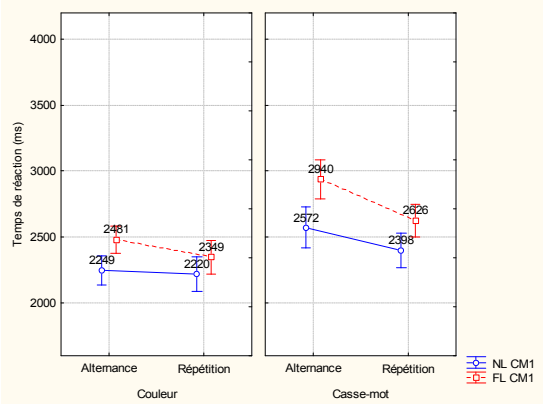


Figure 27 : Temps de réponse à la tâche « décodage mots » pour chaque groupe en fonction du type de réponses (couleur ou casse) et de la condition (répétition ou alternance)

Enfin, seul l'effet d'interaction Niveau en lecture*Condition est significatif. Comme pour la tâche d'alternance sémantique, les FL sont plus lents que les NL, lorsqu'il s'agit d'alterner le type de réponse (2710ms vs. 2487 ms pour les FL contre 2410 ms vs. 2308 ms pour les NL).

❖ Comparaison : Faibles lecteurs de CM1 et Normolecteurs de CE1 de même âge lexique

Les effets principaux de la Condition et de la Réponse sont significatifs mais pas l'effet du Niveau en lecture.

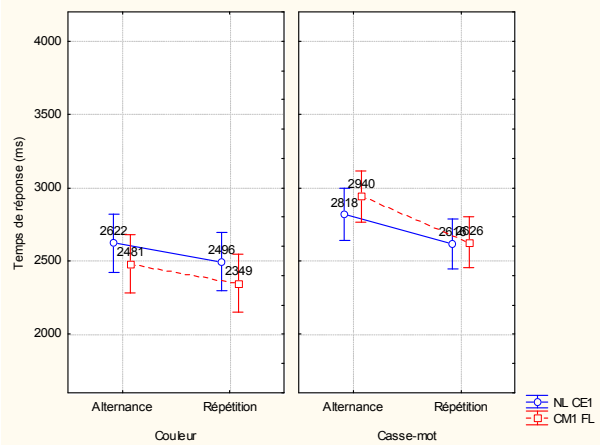


Figure 28 : Temps de réponse à la tâche « décodage mots » pour chaque groupe en fonction du type de réponses (couleur ou casse) et de la condition (répétition ou alternance)

L'analyse de variance indique que seul l'effet d'interaction Niveau en lecture*Réponse est significatif. Les FL de CM1 se différencient des NL de CE1 sur les TR en fonction du type de réponse attendu. Pour les réponses « couleur », les FL de CM1 sont en général un peu plus rapides que les NL de CE1 (2415 ms contre 2558 ms). Ils ont su tirer parti de l'entraînement sur les réponses couleur. Par contre, ils se trouvent en difficulté pour les réponses « casse ». Sur ce type de réponses inhabituelles, les FL de CM1 obtiennent des TR plus élevés que les NL de CE1 (2782 ms contre 2717 ms pour les lecteurs de CE1).

.2.3.2 Tâches non verbales

.2.3.2.1 Détection des caractéristiques d'un symbole

❖ Comparaison : Faibles lecteurs de CE1 et Normolecteurs de CE1

Concernant les effets principaux, seul celui de la Condition est significatif. Il indique que les réponses « répétées » sont plus rapides que les réponses « alternées » indépendamment du niveau en lecture ou de la familiarité des réponses (entraînées ou inhabituelles).

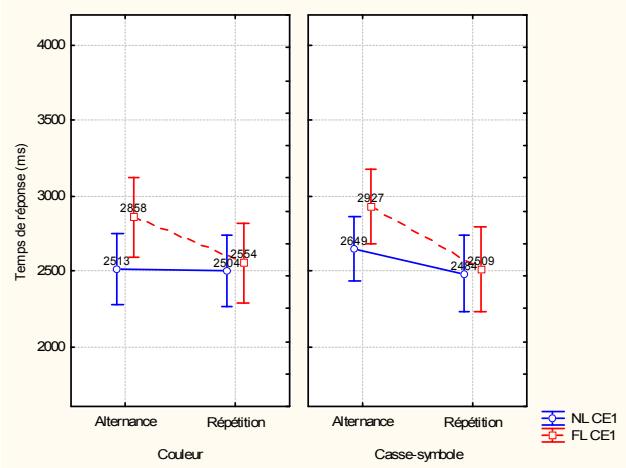


Figure 29 : Temps de réponse à la tâche « symboles » pour chaque groupe en fonction du type de réponses (couleur ou casse) et de la condition (répétition ou alternance).

Seul l'effet d'interaction Niveau en lecture*Condition est significatif. Le coût de l'alternance est plus marqué chez les FL que chez les NL quel que soit le type de réponse attendu. En moyenne les TR des FL passent de 2531 ms à 2891 ms, alors que les TR des NL passent de 2493 ms à seulement 2580 ms.

❖ Comparaison : Faibles lecteurs de CM1 et Normolecteurs de CM1

L'analyse de variance indique que les effets principaux du Niveau en lecture, de la Condition et de la Réponse sont significatifs.

Les effets d'interactions simples sont significatifs : Niveau en lecture*Condition et Niveau en lecture*Réponse. Par rapport aux NL, les FL sont en général plus lents dans les situations qui exigent un changement de réponse et dans les situations peu familières (réponse inhabituelles).

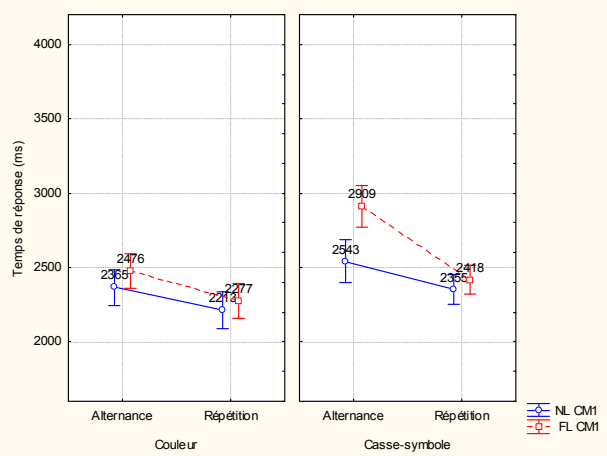


Figure 30 : Temps de réponse à la tâche « décodage symboles » pour chaque groupe en fonction du type de réponses (couleur ou casse) et de la condition (répétition ou alternance).

L'effet d'interaction double est significatif. Les profils des TR obtenus par les deux groupes de lecteurs sont similaires pour les réponses « couleur ». Par contre, pour les réponses « casse » non familières, les FL gèrent difficilement le coût de la tâche d'alternance (ils passent de 2418 ms en condition « répété » à 2909 ms en condition « alterné »). A l'inverse les temps obtenus par les NL aux réponses « casse » sont moins influencés par la condition d'alternance (ils passent de 2354 ms pour les items répétés à 2542 ms pour les items alternés) et sont semblables à ceux obtenus pour les réponses « couleur ».

❖ Comparaison : Faibles lecteurs de CM1 et lecteurs de CE1 appariés sur l'âge lexique

Les effets principaux de la Condition et de la Réponse sont significatifs, mais pas celui du Niveau en lecture.

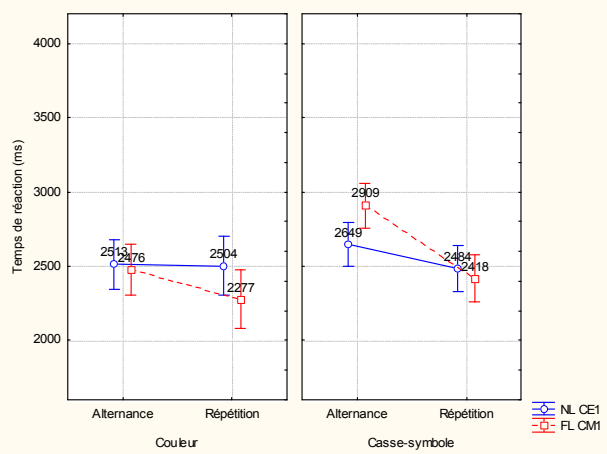


Figure 31 : Temps de réponse à la tâche « décodage symboles » pour chaque groupe en fonction du type de réponses (couleur ou casse) et de la condition (répétition ou alternance).

Les effets d'interaction Niveau en lecture*Condition et Niveau en lecture*Réponse sont significatifs. Le coût de l'alternance est plus marqué chez les FL de CM1 (2692 ms pour les items alternés contre 2347 ms pour les items répétés) que chez les lecteurs de CE1 de même âge lexique (2580 ms pour les items alternés contre 2493 ms pour les items répétés). Par contre, les TR des CE1 sont plus élevés que ceux des CM1 pour les réponses « couleur » (2615 ms contre 2508 ms) mais quasiment identiques pour les réponses « casse » (2593 ms contre 2565 ms). Comme dans la tâche similaire portant sur des mots, les FL de CM1 tirent profit de l'entraînement sur les réponses « couleur » mais se trouvent en difficulté lorsque la tâche devient plus coûteuse (alternance ou critère de réponse inhabituel).

.2.3.2.2 Tâche portant sur le traitement de la forme des items

❖ Comparaison : Faibles lecteurs de CE1 et Normolecteurs de CE1

Tous les effets simples sont significatifs : le Niveau en lecture, la Condition et la Réponse.

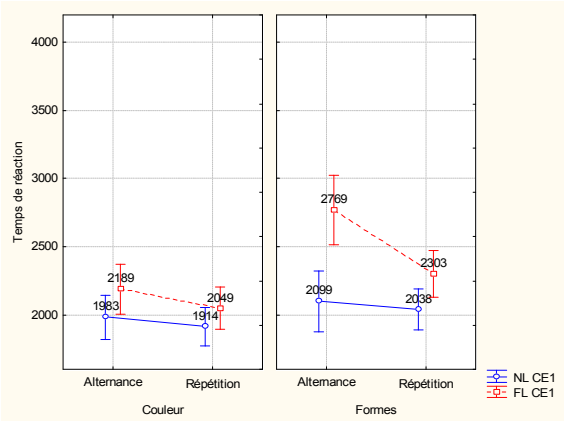


Figure 32 : Temps de réponse à la tâche « formes » pour chaque groupe en fonction du type de réponses (couleur ou forme) et de la condition (répétition ou alternance)

Les effets d'interaction simple Niveau en lecture*Condition et Niveau en lecture*Réponse sont significatifs. Le coût de l'alternance est plus marqué chez les FL (2478 ms vs. 2176 ms) que chez les NL (2040 ms vs. 1975 ms). La familiarité des réponses permet aux FL d'obtenir des temps de réponse proches de ceux des NL. En réponse « couleur », les FL obtiennent des temps moyens de 2118 ms contre 1948 ms pour les NL. En réponse « formes », les FL sont désavantagés, ils répondent beaucoup plus lentement (2536 ms) que les NL (2067 ms).

❖ Comparaison : Faibles lecteurs de CM1 et Normolecteurs de CM1

L'analyse de variance indique que les effets simples de la Condition et de la Réponse sont significatifs mais pas l'effet du Niveau en lecture.

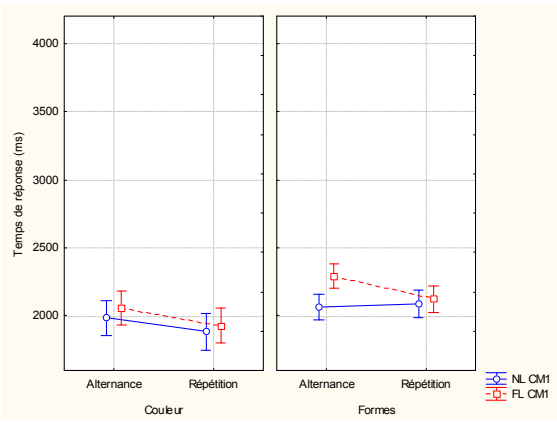


Figure 33 : Temps de réponse à la tâche « formes » pour chaque groupe en fonction du type de réponses (couleur ou forme) et de la condition (répétition ou alternance).

L'effet d'interaction Niveau en lecture*Condition est significatif. Le coût de l'alternance s'avère plus marqué chez les FL (2173 ms pour les items alternés et 2025 ms pour les

items répétés) que chez les NL (2027 ms pour les items alternés et 1987 ms pour les items répétés).

- ❖ Comparaison : Faibles lecteurs de CM1 et lecteurs de CE1 appariés sur l'âge lexique

Comme précédemment, les effets principaux de la Condition et du type de Réponse sont significatifs, mais pas celui du Niveau en lecture.

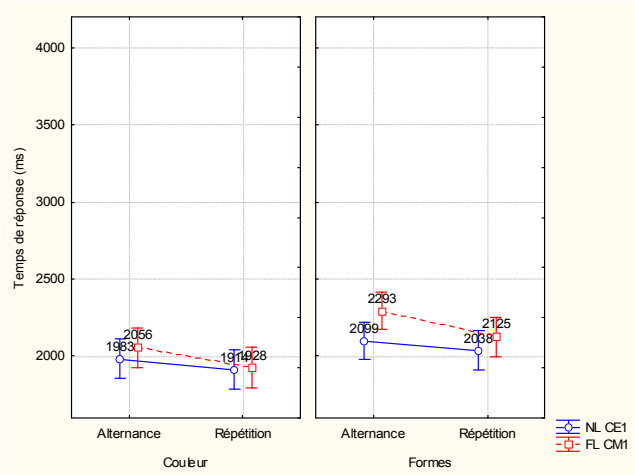


Figure 34 : Temps de réponse à la tâche « formes » pour chaque groupe en fonction du type de réponses (couleur ou forme) et de la condition (répétition ou alternance)

L'analyse de variance indique qu'aucun effet d'interaction n'est significatif.

.2.3.2.3 Tâche spatiale

- ❖ Comparaison : Faibles lecteurs de CE1 et Normolecteurs de CE1

Comme auparavant, les effets principaux significatifs concernent la Condition et la Réponse, mais pas le Niveau en lecture.

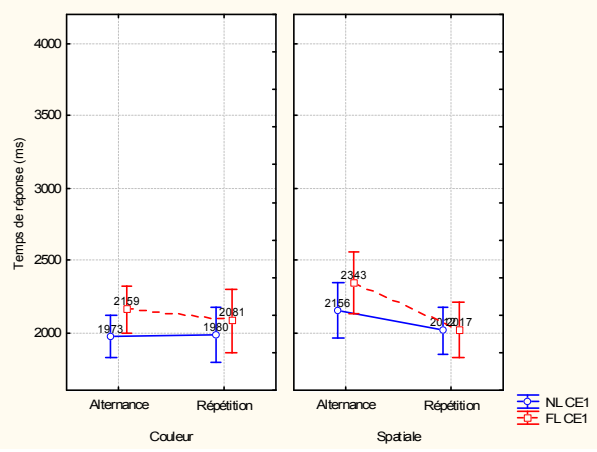


Figure 35 : Temps de réponse à la tâche « spatiale » pour chaque groupe en fonction du type de réponses (couleur ou position) et de la condition (répétition ou alternance).

L'analyse de variance indique que seul l'effet d'interaction simple Niveau en lecture*Réponse est significatif. En moyenne, le coût de l'alternance est plus élevé pour les FL (2250 ms pour les items alternés contre 2048 ms pour les items répétés, soit une différence de 202 ms) que pour les NL (2064 ms pour les items alternés contre 1996 ms pour les items répétés, soit une différence de 68 ms).

- ❖ Comparaison : Faibles lecteurs de CM1 et Normolecteurs de CM1

L'analyse de variance indique que seul l'effet principal de la Condition est significatif, symbolisant le coût de la tâche d'alternance.

L'effet d'interaction simple Niveau en lecture*Réponse est le seul effet d'interaction significatif. Par rapport aux NL, les temps de réponse des FL sont plus élevés pour les réponses « spatial » (2161 ms pour les FL contre 1989 ms pour les NL) alors qu'ils sont proches pour les réponses « couleur » (2024 ms pour les FL contre 2021 ms pour les NL). Par contre, le coût de l'alternance est similaire pour les deux groupes.

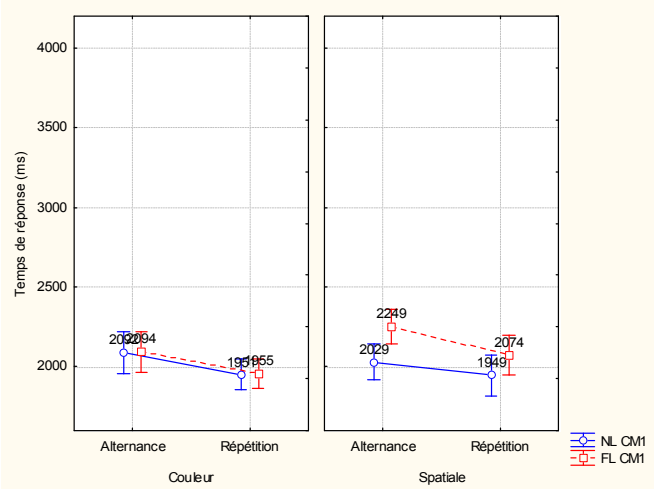


Figure 36 : Temps de réponse à la tâche « spatiale » pour chaque groupe en fonction du type de réponses (couleur ou position) et de la condition (répétition ou alternance).

- ❖ Comparaison : Faibles lecteurs de CM1 et lecteurs de CE1 appariés sur l'âge lexique

Comme auparavant, les effets principaux significatifs concernent la Condition et la Réponse, mais pas le Niveau en lecture.

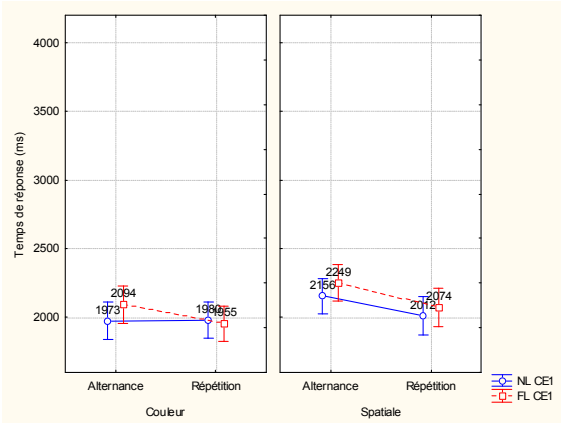


Figure 37 : Temps de réponse à la tâche « spatiale » pour chaque groupe en fonction du type de réponses (couleur ou position) et de la condition (répétition ou alternance).

Comme pour la tâche formes, aucun effet d'interaction n'est significatif. Le niveau en lecture des deux groupes ne semble pas être associé à la capacité à réaliser cette tâche d'alternance, que le type de réponse exigé soit familier ou non.

Tableau 28 *: Tableau synoptique des effets pour les temps de réponse pour chaque comparaison (analyse de variance selon le plan S14<N2>*C2*R2)*

			Niv lecture	Condition	Réponse	N*C	N*R	N*C*R
CE1 NL CE1 FL	Verbal	Sémant.	**5,35***	**13,6*****	**124,4*****	1,1	**6,3***	<1
		Mot	2,4	**41,1*****	**6,5***	**8,7****	<1	<1
	Non Verbal	Symb.	1,4	**29,2*****	<1	**10,9****	<1	<1
		Forme	**10,8****	**14,0*****	**43,4*****	**5,8***	**13,3*****	2,3
		Spatiale	1,0	**25,8*****	4,1	**6,3***	<1	<1
CM1 NL CM1 FL	Verbal	Sémant.	2,7	**100,8*****	**45,0*****	**10,2****	<1	1,5
		Mot	**10,3****	**32,4*****	**74,9*****	**4,5***	2,6	<1
	Non Verbal	Symb.	**5,1 ***	**74,6*****	**49,4*****	**8,6****	**4,1***	**5,9***
		Forme	2,1	**21,2*****	**26,2*****	**7,1****	1,1	3,1
		Spatiale	<1	**22,5*****	3,4	<1	**8,9****	<1
CM1 FL CE1 NL	Verbal	Sémant.	**34,5*****	**52,4*****	**108,3*****	**14,8*****	**24,5*****	3,0
		Mot	<1	**32,2*****	**23,3*****	<1	**3,7***	<1
	Non Verbal	Symb.	<1	**39,7*****	**17,1*****	**14,2*****	**7,6****	<1
		Forme	1,5	**17,9*****	**25,8*****	2,7	2,2	<1
		Spatiale	<1	**17,1*****	**6,3***	<1	<1	<1

* p<.05 ; ** p<.05 ; *** p<.001 ?
N = Niveau en lecture (FL ou NL), C = Condition (Alterné ou Répété), R = Type de réponse attendu (Familière -couleur- ou Non familière -autre réponse

.2.4 *Analyse du coût de l'alternance en fonction du pourcentage d'erreurs*

Des analyses similaires à celles réalisées sur les temps de réponse ont porté sur le pourcentage d'erreurs. Peu d'effets significatifs ressortent de ces analyses. Les résultats des analyses des pourcentages d'erreurs seront donc présentés de manière plus synthétique. Les scores bruts pour chaque Niveau en lecture sont présentés en annexe 8, pages 309-310 Le lecteur trouvera à la fin de cette partie un tableau synoptique des effets observés pour chacune des tâches (tableau 29, page 191).

❖ Comparaison : Faibles lecteurs de CE1 et Normolecteurs de CE1

Pour toutes les tâches, l'effet de la condition apparaît dans le sens ou le nombre d'erreurs produites sur les réponses alternées est plus important que pour les réponses répétées. Dans les tâches « Mots », « Sémantique » et « Spatial », on observe un effet de la Réponse, toujours en faveur de la réponse « couleur » préalablement entraînée. L'effet principal du Niveau en lecture et les effets d'interactions n'apparaissent que dans deux tâches, qui ont la particularité d'être des tâches verbales. Dans la tâche « Mots », l'analyse de variance montre un effet d'interaction simple entre les variables Niveau en lecture et Réponse [$F(1,39) = 7,97$; $p<.01$]. Lorsqu'il faut fournir une réponse « couleur », les FL et NL commettent un nombre similaire d'erreurs (11,38 % pour les FL, contre 10,43 % pour les NL). Par contre, lorsque les réponses portent sur la casse, le pourcentage d'erreurs des FL augmentent considérablement (19,72 %) par rapport aux NL (10 %). Dans la tâche de catégorisation sémantique, les effets d'interaction simple entre le Niveau en lecture et la Condition [$F(1,39) = 6,33$; $p<.05$] et entre le Niveau en lecture et la Réponse [$F(1,39) = 3,79$; $p<.05$] sont significatifs. Les FL commettent beaucoup plus d'erreurs que les NL en situation d'alternance (17,22 % contre 8,15 %) mais pas lorsque les items sont répétés (6,32 % contre 5,44 %). De même lorsqu'il s'agit de fournir une réponse inhabituelle, les FL se trompent davantage que les NL (15,55 % contre 6,51 %) mais pas lorsque les réponses portent sur le critère « couleur » (8,47 % contre 8,05 %).

❖ Comparaison : Faibles lecteurs de CM1 et Normolecteurs de CM1

L'analyse de variance indique que l'effet principal de la condition apparaît dans toutes les tâches. En général, le nombre d'erreurs produites est plus élevé pour les items alternés que pour les items répétés. L'effet principal de la Réponse n'apparaît que pour les tâches « Sémantique », « Formes » et « Spatial ». Dans ces deux épreuves le nombre d'erreurs

produites sur les items inhabituels est plus important que sur les items entraînés « couleur ». Comme nous l'avons explicité plus haut, réaliser une catégorisation sémantique est une tâche de plus haut niveau que de donner la couleur d'un mot. Le risque de se tromper en situation de réponse sémantique est donc plus élevé. C'est dans cette tâche sémantique que l'on retrouve l'unique interaction significative entre Niveau en lecture*Réponse [$F(1,42) = 4,63$; $p<.05$]. Lorsqu'il s'agit de donner une réponse « sémantique » les FL sont en difficulté. Ils commettent plus d'erreurs (8,91 % pour les réponses « sémantique » contre 3,69 % pour les réponses « couleur) que les NL (4,99 % contre 3,81 %) soit parce qu'ils n'accèdent pas assez facilement au lexique en mémoire, soit parce qu'ils ne possèdent pas un vocabulaire suffisamment développé par rapport aux NL, soit parce que la tâche est trop coûteuse.

- Comparaison : Faibles lecteurs de CM1 et lecteurs de CE1 appariés sur l'âge lexique

Comme pour la comparaison FL et BL de CM1, l'effet principal de la Condition (en faveur des réponses « répétées ») apparaît dans toutes les tâches. L'effet principal de la Réponse (en faveur des réponses « couleur ») apparaît pour les tâches « Sémantique », « Symboles », « Formes » et « Spatial ». Le seul effet d'interaction significatif apparaît à la tâche sémantique (G*R) où les enfants les plus âgés bénéficient de connaissances plus nombreuses, d'un vocabulaire plus riche et d'un meilleur accès aux informations en MLT, ce qui leur permet de donner plus de réponses exactes que les enfants de CE1 NL. Par contre, aucun autre effet d'interaction ne ressort comme significatif. Lorsque l'on prend en compte le pourcentage d'erreurs, les FL de CM1 et les NL de CE1 de même âge lexique obtiennent des performances similaires. La plupart des situations qui nécessite la mise en œuvre d'un contrôle exécutif entraîne une augmentation du nombre d'erreurs chez les enfants de ces deux groupes de même niveau en lecture.

Tableau 29 : *Tableau synoptique des effets pour le pourcentage d'erreurs pour chaque comparaison. (analyse de variance selon le plan S<N2>*C2*R2)*

			Niveau en lecture	Condition	Réponse	N*C	N*R	N*C*R
CE1 NL CE1 FL	Verbal	Sémant.	3,6	**31,5*** **	**11,0** **	**6,3***	3,8	
		Mot	**7,6** **	**31,4*** **	**6,5***	<1	**8,0** **	1,1
	Non Verbal	Symb.	2,0	**22,7*** **	1,05	1,9	<1	<1
		Forme	<1	**25,0*** **	1,33	1,5	<1	<1
		Spatiale	<1	**15,15*** **	**4,2***	<1	<1	<1
CM1 NL CM1 FL	Verbal	Sémant.	2,0	**12,1** **	**10,7** **	2,8	**4,2***	<1
		Mot	2,6	**57,7*** **	<1	3,4	<1	<1
	Non Verbal	Symb.	1,3	**9,0** **	<1	2,1	1,6	<1
		Forme	<1	**11,1** **	**9,9** **	3,0	<1	<1
		Spatiale	<1	**6,8***	**10,7** **	3,0	<1	<1
CM1 FL CE1 NL	Verbal	Sémant.	<1	**23,7*** **	**22,4*** **	<1	**4,63***	<1
		Mot	<1	**32,5*** **	<1	<1	<1	<1
	Non Verbal	Symb.	1,9	**17,8*** **	**4,3***	<1	<1	<1
		Forme	<1	**10,2** **	**6,5***	1,7	<1	<1
		Spatiale	3,11	**17,3*** **	**6,3***	<1	1,0	<1

* p<.05 ; ** p<.05 ; *** p<.001
N = Niveau en lecture (FL ou NL), C = Condition (Alterné ou Répété), R = Type de réponse attendu (Familière -couleur- ou Non familière -autre réponse

.2.5 *Étude de la contribution spécifique du CE et de la MdT dans le décodage en lecture*

Les analyses de régression qui vont suivre permettront d'étudier la relation entre le CE, testé ici avec une tâche d'alternance, et le décodage en lecture et de préciser la nature et la force de ce lien.

Il s'agira donc de tester si le contrôle exécutif contribue à expliquer les performances en décodage une fois les aspects stockage-traitement de la MdT pris en compte. Il s'agira également de tester cette contribution après contrôle des aspects phonologiques. Une tâche de segmentation phonémique ayant été proposée aux enfants, nous disposons d'un indicateur supplémentaire qui nous permettra de tester l'hypothèse d'une difficulté spécifique phonologique par rapport à celles d'un déficit général de MdT ou d'un déficit de CE.

La démarche suivie est identique à celle de l'étude 2 : étude des corrélations entre variables préalables et décodage ; réalisation d'Analyses en Composantes Principales (ACP) afin de déterminer quelles variables se regroupent ; étude de la contribution des indicateurs de

conscience phonologique, de MdT et de CE après prise en compte des variables préalables ; puis étude de la contribution des indicateurs de CE après l'entrée des variables préalables de la MdT et de la conscience phonologique.

Ces différentes analyses ont été réalisées pour l'ensemble des épreuves verbales d'une part (sémantique, mots et épreuve de MdT verbale) et pour l'ensemble des épreuves non verbales d'autre part (symboles, formes, spatiale et épreuve de MdT non verbale). Les mesures de CE prises en compte dans l'analyse correspondent aux performances obtenues aux réponses « non familières alternées » moins celles obtenues aux réponses « non familières répétées ». Ce score symbolise la capacité à mettre en œuvre un contrôle dans chacune des cinq tâches d'alternance après contrôle de la vitesse de traitement (propre à chaque enfant). L'analyse portera à la fois sur les temps de réponse et sur les pourcentages d'erreurs.

Les corrélations porteront sur la totalité des enfants de CE1 (N=66) puis sur la totalité des enfants de CM1 (N=60) ayant été retenus pour cette étude.

.2.5.1 Corrélations

- Analyse des corrélations pour les épreuves préalables

Pour les épreuves préalables (annexe 8 pages 315-316), quel que soit l'âge des enfants, le score de raisonnement au test du NNAT n'est pas corrélé au niveau de décodage, ni à aucune autre performance aux tâches de MdT ou de CE verbales. Il corrèle avec certains scores obtenus aux tâches de CE non verbales. Ce lien entre NNAT et épreuves non verbales peut s'expliquer par le fait que ces tâches de raisonnement correspondent à des situations de résolutions de problèmes non verbaux. Il s'agit de matrices composées de figures géométriques à compléter, sans avoir besoin de lire, d'écrire ou de parler. Il est donc compréhensible que cette épreuve corrèle avec les tâches non verbales présentées ici.

La compréhension quant à elle, est corrélée avec les performances obtenues au test de l'Alouette chez les enfants les plus jeunes uniquement. Elle corrèle également avec les performances obtenues à certaines tâches de CE, mais ne corrèle pas avec les mesures de MdT (sauf pour la mesure M3 T12 pour les CE1).

Le niveau en vocabulaire corrèle avec l'âge lexique des CE1 et des CM1. Il semble particulièrement lié aux performances aux tâches de MdT verbales chez les enfants les plus âgés. Les performances à la tâche de segmentation phonémique corrèlent avec l'âge lexique des enfants de CE1 et de CM1 mais ne corrèlent pas avec les scores des tâches de MdT verbale et non verbale. Les liens entre capacités de segmentation phonémique et performances aux tâches de CE diffèrent en fonction de l'âge des enfants. Pour les enfants de CE1, des corrélations significatives apparaissent avec les tâches d'alternance verbales et non verbales, que les mesures considérées portent sur les temps de réponse ou le pourcentage d'erreurs. Pour les enfants les plus âgés, les corrélations significatives apparaissent uniquement pour les temps de réponse, qu'il s'agisse de tâches verbales ou non verbales.

Au final, pour les deux classes d'âge, nous avons pris en compte dans les analyses de régression, le score de vocabulaire et les performances à la tâche de segmentation phonémique. Le score de compréhension ne sera pas pris en compte car trop proche de celui des capacités de décodage.

❖ Analyse des corrélations pour les épreuves de CE et MdT

- Aspects verbaux

Concernant les corrélations des épreuves de CE et de MdT avec l'âge lexique, les données obtenues sont les suivantes :

Pour les enfants de CE1, une mesure de CE corrèle avec l'âge lexique : les TR à la tâche d'alternance mots. Parmi les six mesures de MdT, les mesures M2 T3/4 et M3 T1/2 corrèlent avec l'âge lexique des participants (tableau 30).

Pour les enfants de CM1, un plus grand nombre de corrélations significatives est observé. Trois mesures de CE corrèlent avec le niveau en décodage. Cinq des six mesures de MdT corrèlent également avec le niveau en décodage (tableau 31).

Tableau 30 : *Coefficients de corrélation entre les différentes mesures verbales de MdT, de CE et l'âge lexique. Résultats pour les enfants de CE1*

		CE1										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Age lexique	-										
	Ep. CE Verbales											
2	Mots TR	**-0,31**	-									
3	Mots Err	0,17	-0,15	-								
4	Sémantique TR	-0,13	**0,32**	0,10	-							
5	Sémantique Err	-0,24	0,00	0,06	0,22	-						
	Ep. MdT Verbales											
6	M2 T1/2	0,10	0,14	0,12	0,09	-0,22	-					
7	M2 T2/3	-0,03	-0,04	-0,14	-0,05	-0,13	0,23	-				
8	M2 T3/4	**0,26**	-0,07	0,12	0,18	-0,06	0,24	0,21	-			
9	M3 T1/2	**0,29**	-0,06	0,14	-0,10	**-0,33**	**0,71**	**0,58**	**0,44**	-		
10	M3 T2/3	0,07	0,00	0,04	-0,05	**-0,29**	**0,67**	**0,52**	**0,46**	**0,83**	-	
11	M3 T3/4	0,07	0,05	0,10	-0,10	**-0,30**	**0,65**	**0,46**	**0,30**	**0,78**	**0,82**	-

Coefficient en gras = p<.05

Tableau 31 : *Coefficients de corrélation entre les différentes mesures verbales de MdT, de CE et l'âge lexique. Résultats pour les enfants de CM1*

		CM1										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Age lexique	-										
	Ep. CE Verbales											
2	Mots TR	**-0,36**	-									
3	Mots Err	**-0,45**	**0,32**									
4	Sémantique TR	**-0,38**	**0,31**	0,11								
5	Sémantique Err	-0,25	0,04	0,11	0,05	-						
	Ep. MdT Verbales											
6	M2 T1/2	**0,47**	**-0,38**	**-0,36**	**-0,47**	-0,02	-					
7	M2 T2/3	**0,37**	**-0,39**	**-0,33**	-0,20	-0,01	0,23	-				
8	M2 T3/4	0,25	-0,22	**-0,28**	-0,18	0,03	0,24	0,21	-			
9	M3 T1/2	**0,47**	**-0,40**	**-0,35**	**-0,38**	-0,12	**0,71**	**0,58**	**0,44**	-		
10	M3 T2/3	**0,49**	**-0,50**	**-0,40**	**-0,36**	0,01	**0,67**	**0,52**	**0,46**	**0,83**	-	
11	M3 T3/4	**0,44**	**-0,50**	**-0,28**	**-0,49**	0,00	**0,65**	**0,46**	**0,30**	**0,78**	**0,82**	-

Coefficient en gras = p<.05

- Aspects non verbaux

Pour les enfants de CE1, trois mesures corrèlent avec le niveau en lecture : les TR aux tâches d'alternance symboles et spatiale et les pourcentages d'erreurs à la tâche d'alternance formes (tableau 32). Aucune des six mesures détaillées de MdT non verbale ne corrèle avec l'âge lexique.

Tableau 32 : *Coefficients de corrélation entre les différentes mesures non verbales de MdT, de CE et l'âge lexique. Résultats pour les enfants de CE1*

		CE1												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	Age lexique													
	Ep. CE Non-Verb.	-												
2	Symboles TR	**-0,29**	-											
3	Symboles Err	-0,21	0,20	-										
4	Formes TR	-0,24	0,15	0,07	-									
5	Formes Err	**-0,34**	0,10	**0,48**	0,11	-								
6	Spatial TR	**-0,36**	**0,30**	0,02	0,21	-0,08	-							
7	Spatial Err	-0,24	0,11	0,15	0,04	**0,36**	0,08	-						
	Ep.MdT Non Verb.													
8	M2 T1/2	-0,08	0,13	0,13	-0,06	0,17	0,08	**0,25**	-					
9	M2 T2/3	0,21	-0,09	-0,14	-0,23	0,12	-0,02	**0,29**	-0,14	-				
10	M2 T3/4	0,10	-0,17	-0,16	-0,15	-0,15	-0,01	-0,15	**0,36**	**0,34**	-			
11	M3 T1/2	0,06	-0,09	-0,19	-0,11	-0,07	0,02	0,05	0,22	0,21	**0,41**	-		
12	M3 T2/3	0,11	-0,05	-0,09	0,01	-0,05	0,04	-0,01	-0,06	**0,31**	0,17	0,03	-	
13	M3 T3/4	-0,05	0,20	-0,06	0,10	0,12	0,06	0,16	0,24	**0,29**	**0,47**	**0,25**	**0,30**	-

Coefficient en gras = p<.05

Pour les enfants de CM1, trois mesures non verbales de CE sont corrélées avec l'âge lexique : les TR aux tâches d'alternance symboles, formes ainsi que les erreurs à la tâche spatiale. Trois mesures détaillées de MdT corrèlent avec le niveau en décodage (tableau 33).

Tableau 33 : *Coefficients de corrélation entre les différentes mesures non verbales de MdT, de CE et l'âge lexique. Résultats pour les enfants de CM1*

		CM1												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	Age lexique	-												
	Ep. CE Non-Verb.													
2	Symboles TR	**-0,45**	-											
3	Symboles Err	-0,25	0,10	-										
4	Formes TR	**-0,41**	0,17	0,19	-									
5	Formes Err	-0,12	0,24	-0,01	0,09	-								
6	Visuo-spatial TR	-0,19	0,07	0,04	0,01	0,17	-							
7	Visuo-spatial Err	**-0,27**	**0,27**	0,09	0,14	0,17	0,06	-						
	Ep.MdT Non Verb.													
8	M2 T1/2	**0,39**	**-0,26**	0,00	-0,18	-0,04	-0,20	-0,05	-					
9	M2 T2/3	0,19	**-0,30**	-0,03	0,07	0,03	-0,03	0,01	0,21	-				
10	M2 T3/4	-0,01	-0,24	-0,21	-0,06	0,10	0,00	-0,21	**0,28**	0,21	-			
11	M3 T1/2	**0,31**	-0,05	-0,07	-0,01	**0,28**	0,10	-0,04	**0,28**	**0,48**	**0,26**	-		
12	M3 T2/3	0,15	-0,02	0,16	0,00	0,02	-0,07	0,10	0,15	**0,29**	**0,46**	0,24	-	
13	M3 T3/4	**0,26**	-0,24	-0,08	-0,06	0,08	0,02	-0,16	**0,29**	**0,30**	0,24	**0,31**	**0,44**	-

Coefficient en gras = p<.05

.2.5.2 Analyses en Composantes Principales

❖ Analyses en Composantes Principales

Les données entrées dans ces analyses sont celles des enfants de CE1 et CM1.

Un grand nombre de variables est susceptible d'être entré dans l'analyse car nous avons utilisé plusieurs tâches de CE et plusieurs mesures dans la tâche de MdT, correspondant aux six niveaux de difficulté de la tâche (2 ou 3 items à mémoriser * 1/2, 2/3 ou 3/4 items à traiter). Pour ne pas entrer dans les régressions un nombre trop important de variables qui fausseraient l'analyse, nous avons au préalable réalisé des Analyses en Composantes Principales (ACP) à la française qui permettent de déterminer quelles variables se regroupent.

Nous avons procédé comme suit : dans un premier temps, les données des différentes variables ont été transformées en scores Z. Ces scores Z ont été utilisés dans les ACP. Les variables se regroupant ont ensuite été transformées en scores composites. Ces scores ont été utilisés dans les analyses de régression.

- Épreuves de CE verbales

Le premier facteur principal explique 33,88 % de la variance (valeur propre). Il n'oppose aucune des épreuves de CE. Le deuxième facteur principal représente 26,83 % de la variance et oppose les variables temps de réponses et pourcentages d'erreurs. Le troisième facteur principal explique 22,33 % de la variance et oppose les tâches d'alternance mots et d'alternance sémantique (total 3 axes 83,04 %). Cette analyse montre donc que les différentes variables dépendantes (TR et pourcentage d'erreurs) prises en compte et les différentes tâches proposées se différencient. Elles ne mesurent pas les mêmes capacités. Dans les régressions les mesures de CE seront prises en compte séparément. Aucun score composite ne sera constitué.

- Épreuves de CE non verbales

Le premier facteur principal explique 29,67 % de la variance (valeur propre). Il n'oppose aucune des épreuves de CE. Le deuxième facteur principal représente 18,62 % de la variance et oppose les variables temps de réponses et pourcentages d'erreurs. Le troisième facteur principal explique 14,73 % de la variance et oppose les tâches d'alternance symboles et spatiale aux tâches d'alternance formes (total 3 axes 63,02 %). Cette analyse

montre donc que les différentes variables dépendantes (TR et pourcentages d'erreurs) considérées ne mesurent pas les mêmes capacités. Elles montrent également que les variables « alternance symboles » et « alternance formes » sont liées. Dans les régressions les temps de réponse et les pourcentages d'erreurs seront prises en compte séparément. Enfin, un score composite comprenant les tâches d'alternance symboles et spatiale sera constitué.

- Épreuves de MdT verbale

Le premier facteur principal explique 73,59 % de la variance (valeur propre). Il n'oppose aucune des épreuves de MdT. Le deuxième facteur principal représente 11,10 % de la variance. Il oppose la variable M2 T34 aux autres mesures de MdT. Il semble que cette mesure présente une grande variabilité inter-individuelle. Certains enfants obtiennent le score maximal, d'autres échouent totalement et d'autres enfin obtiennent des scores intermédiaires. Dans les analyses de régression, seront pris en compte, d'une part le score de la variable M2 T34 (ce score sera appelé « V1 ») et, d'autre part, le score composite des variables M2 T12, M2 T23, M3 T12, M3 T23 et M3 T34 (ce score sera appelé « V2 »).

- Épreuves de MdT non verbale

Le premier facteur principal explique 40,32 % de la variance (valeur propre). Il n'oppose aucune des épreuves de CE. Le deuxième facteur principal représente 17,58 % de la variance. Il oppose les variables M2 T12, M2 T34 et M3 T12 aux variables M2 T23 ; M3 T23 et M3 T34. Le troisième facteur principal explique 14,22 %. Il regroupe les variables M2 T23 et M3 T12 aux autres variables de MdT. Dans les analyses de régression nous avons donc pris en compte deux scores composites. Le premier est composé des variables M2 T12, M2 T23, M2 T34 et M3 T12, qui correspondent aux variables qui ne saturent pas la MdT (ce score sera appelé « NV1 »). Le second comprend les variables M3 T23 et M3 T34, conditions dans lesquelles la combinaison des items à mémoriser et à traiter engendre un coût cognitif important (ce score sera appelé « NV2 »).

.2.5.3 Analyses de régression

Lorsque le score de segmentation phonémique est entré dans l'analyse, le modèle explique 55 % de la variance en lecture (âge lexique au test de l'Alouette), soit 14 points de plus que lorsque le modèle ne comprend que les performances en vocabulaire (tableau 34).

Tableau 34 : *Contribution spécifique des différentes mesures préalables aux capacités de décodage (aspects verbaux et non verbaux)*

Verbal					**Non Verbal**				
Étapes	Variables indépendantes	ß	R^2	Augmentation R^2	Étapes	Variables indépendantes	ß	R^2	Augmentation R^2
1°	*Vocabulaire*		**.41*** **		1°	*Vocabulaire*		**.41*** **	
2a°	*Voca + Seg phon*		**.55*** **	.14	2a°	*Voca + Seg phon*		**.55*** **	.14
	Vocabulaire	**.47** ***				Vocabulaire	**.47** ***		
	Segmentation phonémique	**.40** ***				Segmentation phonémique	**.40** ***		
2b°	*Voca + MdT V1*		**.45*** **	.04	2b°	*Voca + MdT NV1*		**.44*** **	.03
	Vocabulaire	**.56** ***				Vocabulaire	**.61** ***		
	MdT verbal 1	**.20** **				MdT non verbal 1	**.14** *		
2c°	*Voca + MdT V2*		**.47*** **	.06	2c°	*Voca + MdT NV2*		**.43*** **	.02
	Vocabulaire	**.52** ***				Vocabulaire	**.61** ***		
	MdT verbal 2	**.27** ***				MdT non verbal 2	.11		
3a°	*Voca + SegPh + MdT V1*		**.58*** **	.17	3a°	*Voca + SegPh + MdT NV1*		**.56*** **	.19
	Vocabulaire	**.40** ***				Vocabulaire	**.44** ***		
	Segmentation phonémique	**.39** ***				Segmentation phonémique	**.39** ***		
	MdT verbal 1	**.18** **				MdT non verbal 1	**.12** *		
3b°	*Voca + SegPh + MdT V2*		**.59*** **	.19	3b°	*Voca + SegPh + MdT NV2*		**.55*** **	.14
	Vocabulaire	**.36** ***				Vocabulaire	**.43** ***		
	Segmentation phonémique	**.39** ***				Segmentation phonémique	**.39** ***		
	MdT verbal 2	**.25** ***				MdT non verbal 2	.09		
4a°	*Voca + SegPh + MdT V1+ Age*		**.58*** **	.19	4a°	*Voca + SegPh + MdT NV1+ Age*		**.57*** **	.19
	Vocabulaire	**.32** *				Vocabulaire	**.28** *		
	Segmentation phonémique	**.38** ***				Segmentation phonémique	**.38** ***		
	MdT verbal 1	**.17** *				MdT non verbal 1	**.13** *		
	Age réél	.10				Age réél	.17		
4b°	*Voca + SegPh + MdT V2+ Age*		**.60*** **	.19	4b°	*Voca + SegPh + MdT NV2+ Age*		**.56*** **	.15
	Vocabulaire	.23				Vocabulaire	**.32** *		
	Segmentation phonémique	**.38** ***				Segmentation phonémique	**.39** ***		
	MdT verbal 2	**.25** ***				MdT non verbal 2	.09		
	Age réél	.14				Age réél	.14		

* p<.05 ; ** p<.01 ; *** p<.001

L'apport de l'empan en MdT à l'explication du niveau en lecture est moindre, particulièrement lorsque l'on prend en compte l'empan non verbal. Les mesures de MdT V1 et V2 apportent une contribution spécifique significative (ß = .20; p<.01 et ß = .27; p<.001), alors que les mesures de MdT NV apportent une contribution spécifique plus faible (NV1 : ß = .14; p<.05) ou non significative (NV2 : ß = .11; ns). Enfin, lorsque les mesures de vocabulaire, de segmentation phonémique et de MdT sont entrées dans la même analyse (étape 3), chacune conserve une contribution spécifique significative (sauf

NV2), celles du vocabulaire et de la segmentation restant les plus importantes (plus du double de celle de la MDT).

Concernant l'effet de l'âge, lorsque la variable Age réel est entrée dans l'analyse (étape 4), elle n'apporte pas de contribution spécifique. L'âge chronologique des enfants ne permet plus d'expliquer l'efficience au test de l'Alouette lorsque les performances en vocabulaire, segmentation phonémique et MdT verbal ou non verbal sont prises en compte. Cette dimension semble être déjà représentée dans les variables entrées au préalable dans l'analyse. Lorsque l'âge chronologique est entré seul dans l'analyse, il explique 38 % de la variance en lecture (ß : .62), mais lorsque les performances aux tâches de segmentation phonémique et de vocabulaire sont ensuite entrées dans l'analyse, la part expliquée par l'âge réel n'est plus significative (ß vocabulaire : .33 ; ß segmentation phonémique: .39 ; ß âge réel : .15).

.2.5.4 Contribution spécifique des tâches d'alternance aux capacités de décodage après contrôle du niveau en vocabulaire, de MdT et de segmentation phonémique

Les analyses de régression réalisées dans cette partie s'attachent à étudier la contribution du CE (mesuré par le biais de différentes variables) après avoir pris en compte les contributions des capacités générales de traitement-stockage en MdT, des capacités spécifiques de traitement phonologique et de l'âge).

Ces analyses confirment d'abord que la contribution du CE varie en fonction des tâches utilisées (tableau 35 ci-dessous et annexe 8, page 317). Les contributions spécifiques des variables alternance-mots et alternance-sémantique sont significatives sauf pour les erreurs à la tâche d'alternance-mots. Plus précisément, les performances aux tâches de CE verbales apportent une contribution spécifique allant de 14 à 20 %, plus faible que celle du vocabulaire (étape 2).

Tableau 35 : *Contribution spécifique des tâches d'alternance verbales aux capacités de décodage après contrôle du niveau en vocabulaire et de segmentation phonémique, de l'empan en MdT et de l'âge.*

	Verbal (MdT V1)				**Verbal (MdT V2)**			
Étapes	Variables indépendantes	ß	R^2	Augmentation R^2	Étapes	Variables indépendantes	ß	R^2	Augmentation R^2
4a°	*Voca + SegPh + MdT V1+ CE*		**.59*** **	.18	4a°	*Voca + SegPh + MdT V2+ CE*		**.61*** **	.10
	Vocabulaire	**.38** ***				Vocabulaire	**.34** ***		
	Segmentation phonémique	**.37** ***				Segmentation phonémique	**.27** ***		
	MdT verbal 1	**.17** *				MdT verbal 2	**.24** ***		
	Mots TR	**-.13** *				Mots TR	**-.12** *		
4b°	*Voca + SegPh + MdT V1+ CE*		**.57*** **	.16	4b°	*Voca + SegPh + MdT V2+ CE*		**.60*** **	.09
	Vocabulaire	**.40** ***				Vocabulaire	**.36** ***		
	Segmentation phonémique	**.39** ***				Segmentation phonémique	**.39** ***		
	MdT verbal 1	**.18** **				MdT verbal 2	**.25** ***		
	Mots Err	-.01				Mots Err	-.01		
4c°	*Voca + SegPh + MdT V1+ CE*		**.59*** **	.18	4c°	*Voca + SegPh + MdT V2+ CE*		**.60*** **	.09
	Vocabulaire	**.41** ***				Vocabulaire	**.37** ***		
	Segmentation phonémique	**.37** ***				Segmentation phonémique	**.38** ***		
	MdT verbal 1	**.19** **				MdT verbal 2	**.24** ***		
	Sémantique TR	**-.12** *				Sémantique TR	-.07		
4d°	*Voca + SegPh + MdT V1+ CE*		**.59*** **	.18	4d°	*Voca + SegPh + MdT V2+ CE*		**.61*** **	.10
	Vocabulaire	**.38** ***				Vocabulaire	**.34** ***		
	Segmentation phonémique	**-.37** ***				Segmentation phonémique	**.38** ***		
	MdT verbal 1	**.17** **				MdT verbal 2	**.24** ***		
	Sémantique Err	-.12				Sémantique Err	-.10		
5a°	*Voca + SegPh + MdT V1+ CE + Age*		**.59*** **	.18	5a°	*Voca + SegPh + MdT V2 + CE + Age*		**.62*** **	.11
	Vocabulaire	**.26** *				Vocabulaire	.18		
	Segmentation phonémique	**.36** ***				Segmentation phonémique	**.36** ***		
	MdT verbal 1	**.15** *				MdT verbal 2	**.23** ***		
	Mots TR	**-.14** *				Mots TR	**-.13**		
	Age réél	.15				Age réél	.18		
5b°	*Voca + SegPh + MdT V1+ CE + Age*		**.57*** **	.16	5b°	*Voca + SegPh + MdT V2 + CE + Age*		**.60*** **	.09
	Vocabulaire	**.32**				Vocabulaire	.23		
	Segmentation phonémique	**.38** *				Segmentation phonémique	**.38** ***		
	MdT verbal 1	**.-17** *				MdT verbal 2	**.25** ***		
	Mots Err	-.01				Mots Err	-.01		
	Age réél	.10				Age réél	.15		
5c°	*Voca + SegPh + MdT V1+ CE + Age*		**.59*** **	.18	5c°	*Voca + SegPh + MdT V2 + CE + Age*		**.61*** **	.10
	Vocabulaire	**.30** *				Vocabulaire	.23		
	Segmentation phonémique	**.37** ***				Segmentation phonémique	**.37** ***		
	MdT verbal 1	**.18** **				MdT verbal 2	**.24** ***		
	Sémantique TR	**-.13** *				Sémantique TR	-.08		
	Age réél	.12				Age réél	.17		
5d°	*Voca + SegPh + MdT V1+ CE + Age*		**.59*** **	.18	5d°	*Voca + SegPh + MdT V2 + CE + Age*		**.61*** **	.10
	Vocabulaire	.30 *				Vocabulaire	.23		
	Segmentation phonémique	**.37** ***				Segmentation phonémique	**.37** ***		
	MdT verbal 1	**.17** *				MdT verbal 2	**.24** ***		
	Sémantique Err	-.12				Sémantique Err	-.10		
	Age réél	.09				Age réél	.13		

* p<.05 ; ** p<.01 ; *** p<.001

L'âge des enfants apporte une contribution spécifique dans certaines conditions : lorsque les performances aux tâches de MdT et de segmentation ne sont pas entrées dans l'analyse

et lorsque la tâche de CE considérée porte sur les temps de réponse uniquement. Dans les autres situations le poids de la variable âge n'est jamais significatif.
Les contributions spécifiques des performances en MdT verbale et de segmentation phonémique sont toujours significatives. Le poids de la variable segmentation phonémique est particulièrement élevé (β compris entre .27 et .39). Mais un point intéressant est que la contribution des performances aux tâches de CE reste significative après contrôle des performances aux tâches de segmentation phonémique et de MdT. La capacité à traiter et manipuler un matériel phonologique ne peut expliquer à elle seule les différences observées au test de « l'Alouette », il en va de même pour l'empan verbal.

La contribution du CE aux capacités de décodage apparaît également lorsque l'on considère les aspects non verbaux (tableau 36 et annexe 8, page 318)
Lorsque le niveau de vocabulaire et les performances aux tâches de CE non verbales sont entrés dans l'analyse (étape 2), la contribution du CE est toujours significative (entre 18 et 27 %). Même si les contributions des aspects phonologiques et du vocabulaire restent toujours importantes, l'entrée de ces variables dans l'analyse ne fait pas disparaître la contribution des mesures de CE non verbales (sauf pour la tâche d'alternance-formes TR).

Dans cette situation non verbale, un élément nouveau apparaît : dans plusieurs cas, la contribution de l'empan en MdT n'est plus significatif à partir du moment où les tâches de CE non verbales sont entrées dans l'analyse. Cet effet est plus fréquent lorsque l'on prend en compte la variable NV2 dans l'analyse, cette à dire pour les mesures de MdT les plus coûteuses en termes de contrôle.
Enfin, comme pour les aspects verbaux, le poids de l'âge n'est jamais significatif.

Tableau 36 : *Contribution spécifique des tâches d'alternance non verbales aux capacités de décodage après contrôle du niveau en vocabulaire et de segmentation phonémique, de l'empan en MdT et de l'âge.*

Non Verbal (MdT NV1)					Verbal (MdT NV2)				
Étapes	Variables indépendantes	ß	R^2	Augmentation R^2	Étapes	Variables indépendantes	ß	R^2	Augmentation R^2
4a°	*Voca + SegPh + MdT NV1+ CE*		**.57*** **	.19	4a°	*Voca + SegPh + MdT NV2+ CE*		**.57*** **	.16
	Vocabulaire	**.44** ***				Vocabulaire	**.43** ***		
	Segmentation phonémique	**.36** ***				Segmentation phonémique	**.36** ***		
	MdT non verbal 1	.11				MdT non verbal 2	.09		
	Formes TR	-.01				Formes TR	-.10		
4b°	*Voca + SegPh + MdT NV1+ CE*		**.58*** **	.19	4b°	*Voca + SegPh + MdT NV2+ CE*		**.57***	.16
	Vocabulaire	**.42** ***				Vocabulaire	**.41** ***		
	Segmentation phonémique	**.37** ***				Segmentation phonémique	**.37** ***		
	MdT non verbal 1	**.13** *				MdT non verbal 2	.11		
	Formes Err	**-.13** *				Formes Err	**-.13** *		
4c°	*Voca + SegPh + MdT NV1+ CE*		**.61*** **	.19	4c°	*Voca + SegPh + MdT NV2+ CE*		**.62*** **	.21
	Vocabulaire	**.43** ***				Vocabulaire	**.42** ***		
	Segmentation phonémique	**.37** ***				Segmentation phonémique	**.37** ***		
	MdT non verbal 1	.09				MdT non verbal 2	.10		
	Symb+Spatial TR	**-.23** ***				Symb+Spatial TR	**-.24** ***		
4d°	*Voca + SegPh + MdT NV1+ CE*		**.60*** **	.19	4d°	*Voca + SegPh + MdT NV2+ CE*		**.58*** **	.17
	Vocabulaire	**.39** ***				Vocabulaire	**.39** ***		
	Segmentation phonémique	**.36** ***				Segmentation phonémique	**.36** ***		
	MdT non verbal 1	**.13** *				MdT non verbal 2	.08		
	Symb+Spatial Err	**-.19** **				Symb+Spatial Err	**-.18** **		
5a°	*Voca + SegPh + MdT NV1+ CE + Age*		**.57*** **	.19	5a°	*Voca + SegPh + MdT NV2 + CE + Age*		**.57*** **	.16
	Vocabulaire	**.30** *				Vocabulaire	**.33** *		
	Segmentation phonémique	**.36** ***				Segmentation phonémique	**.36** ***		
	MdT non verbal 1	.12				MdT non verbal 2	.08		
	Formes TR	-.09				Formes TR	-.10		
	Age réél	.16				Age réél	.13		
5b°	*Voca + SegPh + MdT NV1+ CE + Age*		**.58*** **	.19	5b°	*Voca + SegPh + MdT NV2 + CE + Age*		**.57*** **	.16
	Vocabulaire	**.27** *				Vocabulaire	**.30** ***		
	Segmentation phonémique	**.36** ***				Segmentation phonémique	**.36** *		
	MdT non verbal 1	**.14** *				MdT non verbal 2	.11		
	Formes Err	**-.13** *				Formes Err	**-.13** *		
	Age réél	.16				Age réél	.13		
5c°	*Voca + SegPh + MdT NV1+ CE + Age*		**.62*** **	.19	5c°	*Voca + SegPh + MdT NV2 + CE + Age*		**.62*** **	.21
	Vocabulaire	.24				Vocabulaire	**.26** *		
	Segmentation phonémique	**.35** ***				Segmentation phonémique	**.36** ***		
	MdT non verbal 1	.10				MdT non verbal 2	.09		
	Symb+Spatial TR	**-.24** ***				Symb+Spatial TR	**-.25** ***		
	Age réél	.22				Age réél	.19		
5d°	*Voca + SegPh + MdT NV1+ CE + Age*		**.60*** **	.19	5d°	*Voca + SegPh + MdT NV2 + CE + Age*		**.59*** **	.18
	Vocabulaire	**.28** *				Vocabulaire	**.31** **		
	Segmentation phonémique	**.35** ***				Segmentation phonémique	**.36** **		
	MdT non verbal 1	**.13** *				MdT non verbal 2	.07		
	Symb+Spatial Err	**-.18** **				Symb+Spatial Err	**-.18** *		
	Age réél	.13				Age réél	.10		

* p<.05 ; ** p<.01 ; *** p<.001

.3 Discussion

Cette deuxième étude devait permettre de tester l'hypothèse de l'implication du CE en lecture et de confronter celle-ci aux hypothèses alternatives de MdT formulées pour expliquer les difficultés en lecture. Il s'agissait de préciser l'implication du CE par rapport aux processus généraux et spécifiques en adoptant une démarche développementale.
Nous avons testé la capacité de jeunes lecteurs possédant différents niveaux d'expertise en lecture à alterner entre deux types de réponses et à inhiber un traitement artificiellement automatisé. Pour ce faire, cette étude a été menée auprès de faibles et normolecteurs de CE1 et de CM1.
Nous avons également étudié l'impact de la complexité des traitements sur les tâches de CE et testé si les retards en lecture provenaient de difficultés de traitement qui ne seraient pas suffisamment automatisées et rapides (difficultés d'accès en MLT à l'information). Nous avons donc proposé des tâches de CE (alternance) ou les traitements portaient sur des aspects linguistiques, sémantiques, visuels ou spatiaux.

Avant d'étudier ces différents points, il s'agissait de s'assurer de la pertinence des tâches de CE créées. Elles devaient être adaptées aux enfants et permettre de mesurer l'évolution du CE en révélant des différences entre les enfants les plus jeunes et les plus âgés. Avec le temps, les enfants disposent de ressources cognitives plus importantes et leurs capacités de contrôle exécutif augmentent. Avec l'âge, ils devraient donc mettre en œuvre et gérer plus efficacement les traitements complexes exigés dans ces tâches d'alternance.
Les analyses réalisées sur les données des enfants de CE1 et de CM1, indépendamment de leur niveau en lecture, montrent que les différentes tâches proposées présentent une bonne sensibilité développementale. On observe un effet d'interaction entre l'âge et la familiarité des réponses et entre l'âge et la condition (avec ou sans alternance). Les enfants de CE1 répondent plus lentement et/ou commettent plus d'erreurs que les enfants de CM1 lorsqu'ils doivent alterner leurs réponses et lorsque la réponse porte sur un critère non familier. Ces tâches permettent donc de mesurer l'évolution des capacités de CE entre des enfants de 8 ans et 10 ans.

Les analyses de variance montrent également que les capacités de CE des enfants diffèrent en fonction de leur niveau en lecture. Qu'ils soient apprentis-lecteurs de CE1 ou à un âge plus avancé de l'apprentissage de la lecture, le coût de l'alternance est en général plus

élevé chez les faibles lecteurs. Lorsque les items sont alternés, les FL sont capables de changer de critère de réponse (ils ne se différencient pas des NL lorsque l'on considère le nombre d'erreurs) mais ils ont besoin de davantage de temps pour répondre (TR plus longs que les NL). Cet effet du coût de l'alternance en fonction du niveau en lecture des enfants semble indépendant du matériel puisqu'il s'observe aussi bien sur des tâches verbales, non verbales que spatiales, de haut ou de bas niveau de traitement.

La comparaison entre les FL de CM1 et les NL de CE1 de même âge lexique permet d'affiner l'interprétation. Les enfants FL de CM1 sont plus âgés, ils devraient donc disposer de capacités de CE plus importantes, si l'on se réfère à l'évolution développementale du CE, évolution validée dans notre étude. Ces enfants de CM1 FL se distinguent effectivement des enfants plus jeunes NL de CE1, essentiellement sur les temps de réponse. Mais, le sens de l'effet n'est pas celui attendu. Pour les tâches de catégorisation sémantique, mots et symboles, les faibles lecteurs de CM1 sont davantage ralentis par l'alternance que les NL de CE1. De plus, le critère de réponse entraîné n'allège pas le coût du contrôle pour ces enfants FL de CM1. En revanche, pour les tâches impliquant des formes et localisations spatiales, qui ont la particularité de faire partie des épreuves non verbales de bas niveau, proposées dans cette étude, nous n'observons plus d'effet du Niveau en lecture. Ainsi, contrairement aux deux comparaisons basées sur des différences d'âge lexique, nous remarquons que les effets observés diffèrent en fonction du type de tâche et du matériel. Il semble donc que le contrôle exécutif se développe avec l'âge mais que son efficacité varie en fonction du matériel impliqué. Lorsque la tâche porte sur un matériel verbal (mots, symboles) ou qu'il exige une catégorisation sémantique, les difficultés des FL de CM1 perdurent malgré le développement et la maturation du cortex cérébral. Ce n'est pas le cas pour les épreuves formes et spatiales. Cette constatation amène à penser que les difficultés observées chez les apprenti-lecteurs de CE1-CM1 pourraient être la conséquence d'un retard de développement du CE mais aussi de difficultés phonologiques persistantes qui perdureraient dans le temps. Le matériel à traiter vient donc interagir avec le contrôle à exercer.

Notons toutefois que les effets d'ordre mis en évidence invitent à rester prudent sur la portée de cette interprétation puisque les temps de réponse aux épreuves formes et spatiales présentées en dernier lors du recueil des données sont plus courts et les erreurs moins nombreuses. Une interprétation plus appropriée serait par conséquent une interprétation en termes de charge cognitive.

Les analyses de corrélation et de régression ont permis d'étudier le poids des différents déterminants dans une perspective développementale. Il s'agissait de préciser l'implication des processus mnésiques généraux et spécifiques, du CE et de l'âge dans les capacités de décodage. Nous supposions que chez les enfants les plus jeunes, les performances en décodage seraient déterminées à la fois par les processus spécifiques phonologiques, par l'efficience du CE et éventuellement les capacités en MdT; alors que pour les enfants les plus âgés, les capacités de CE primeraient sur l'efficience des procédures phonologiques. Le développement des compétences phonologiques et des capacités de traitement du matériel verbal, laisse supposer que le CE exercera un poids plus important dans l'explication de l'efficience en lecture chez les enfants plus âgés. Dans un premier temps, l'analyse des corrélations indique que, par rapport aux enfants de CE1, le niveau de décodage en lecture des CM1 est corrélé avec un nombre plus important de tâches d'alternance. Cependant, les analyses de régression indiquent ensuite que la contribution du CE reste significative après entrée dans le modèle de la variable âge. Il est donc probable que l'âge et l'évolution des capacités de CE ne soient pas en eux seuls des facteurs explicatifs du niveau en lecture. Plusieurs facteurs se combinent

Ces analyses de régression indiquent également que la contribution des capacités de CE est la plupart du temps significative. Cette contribution se maintient après contrôle des mesures de MdT et de segmentation phonémique dans l'analyse. Elle a même tendance à faire disparaître celles des capacités de MdT non verbale lorsqu'elles sont entrées dans la même analyse. Au-delà des aspects de mémorisation des informations non verbales et spatiales, la tâche de CE contribue de manière significative à la variance au test de « l'Alouette », indépendamment de l'âge des enfants.

Enfin, la contribution spécifique des capacités de segmentation phonémique est systématiquement présente. Cette variable est celle qui apporte la contribution la plus importante même après contrôle des capacités de CE, des performances de MdT ou de l'âge. Les modèles qui rendent le mieux compte des différences d'âge lexique sont des modèles qui comportent cette variable. Il semble également que, parmi les différentes hypothèses testées, la faiblesse des processus mnésiques soit un déterminant des difficultés en lecture. Toutefois, les analyses de régression montrent que seule la contribution des capacités de MdT verbale est significative lorsque ces indicateurs de MdT sont entrés avec les indicateurs de CE. Pour cette raison, l'hypothèse d'un déficit général des ressources en MdT ne semble pas confirmée puisque des effets différents apparaissent en fonction de la

nature du matériel utilisé dans les tâches de MdT. Ces conclusions semblent indépendantes de l'âge des enfants car les résultats des analyses de régression indiquent que la contribution de l'âge réel n'apparaît plus lorsque d'autres indicateurs sont entrés dans le modèle. Notons que cette manière de procéder ne permet pas de saisir l'évolution des parts communes à ces différentes variables (CE, segmentation phonémique, MdT). L'organisation des relations entre ces variables pourrait davantage être appréhendée en réalisant des régressions pour chacun des âges.

Finalement, l'information à retenir dans cette étude est qu'au-delà des processus spécifiques (MdT verbal et non verbal et segmentation phonémique), les capacités de contrôle exécutif apportent une contribution supplémentaire à l'explication de la variance au test de l'« Alouette ». Ceci vient confirmer l'hypothèse d'un déficit du contrôle exécutif chez les faibles lecteurs.

Enfin, la contribution spécifique des capacités de segmentation phonémique est systématiquement présente. Cette variable est celle qui apporte la contribution la plus importante même après contrôle des capacités de CE, des performances de MdT ou de l'âge. Les modèles qui rendent le mieux compte des différences d'âge lexique sont des modèles qui comportent cette variable.

Il semble donc que, parmi les différentes hypothèses testées, les faibles capacités en MdT (processus mnésiques permettant le maintien stockage temporaire des informations) soient un déterminant important des difficultés en lecture. Mais, à ces processus mnésiques viennent s'ajouter les capacités de CE, puisqu'elles apportent une contribution supplémentaire à celles des mesures de MdT. De plus, ces contributions sont significatives après entrée des capacités phonologiques. Elles contribuent donc à expliquer l'efficience en lecture.

Chapitre 6 : Implication de la MdT et du CE dans l'activité de lecture. Étude chez l'adulte, au moyen d'un dispositif de suivi oculaire

Résumé :
Dans cette troisième recherche, l'effet de la manipulation simultanée des charges attentionnelle et mnésique est étudié sur l'aptitude de jeunes adultes à diriger leur regard sur un point apparaissant à l'écran. Un dispositif d'enregistrement des mouvements oculaires est utilisé pour mesurer les déplacements des yeux. La charge attentionnelle est manipulée en introduisant une inhibition de mouvements oculaires réflexes : les participants doivent regarder en direction d'un point apparaissant à gauche ou à droite de l'écran (tâche de pro-saccades, orientation attentionnelle déclenchée par le point) ou à l'opposé de ce point (tâche d'anti-saccades, inhibition initiée de façon volontaire de la tendance à regarder le point). Conjointement à cette tâche, l'adulte doit mémoriser un certain nombre d'images. La charge mnésique est manipulée en demandant à l'adulte de rappeler les deux dernières images vues, donc de mettre à jour continuellement les images maintenues temporairement. La charge mnésique augmente avec le nombre d'images à mémoriser (de 3 à 12 images). Ces effets de la manipulation des charges attentionnelles et mnésiques sont étudiées chez des adultes dont l'efficience en décodage varie.
Les mouvements oculaires recueillis traduisent bien la difficulté à inhiber les saccades réflexes, non pertinentes pour la tâche, et montrent que l'ajout de la tâche de mise à jour provoque une détérioration des performances. La capacité à réaliser efficacement des tâches contrôlées mettant en jeu des capacités d'inhibition et de mise à jour est fortement corrélée avec le niveau en lecture.

.1 Introduction

Les recherches antérieures, portant sur la compréhension des mécanismes engagés dans l'activité de lecture, ont mis en évidence l'importance de la phonologie mais aussi de la mémoire et du CE, dimensions qui sont parfois combinées voire assimilées.

Les tâches qui exigent un contrôle attentionnel et qui sont sensibles à l'interférence de l'information non pertinente, comme par exemple les tâches de lecture, sont supposées dépendre particulièrement de la disponibilité de l'attention (Conway and Engle, 1994 ; 1996, voir chapitre 2). Les participants qui ont une MdT efficace auraient plus de ressources mnésiques ou attentionnelles disponibles pour exécuter les tâches que les participants disposant d'une faible efficience en MdT. Bien que la nature de ces ressources demeure quelque peu non spécifiée, on considère que des différences dans leur

disponibilité pourraient expliquer les différences de performances aux tâches complexes comme la lecture.

Dans une plus large perspective, ce point de vue rejoint des théories plus générales sur le contrôle des processus cognitifs élémentaires (Desimone & Duncan, 1995 ; Miller & Cohen, 2001). Ces théories proposent que l'exécution efficace d'une tâche dépend d'une régulation *top-down*, principalement de l'activation et du maintien de l'information pertinente pour la tâche. Dans une telle perspective, les mécanismes d'activation et d'inhibition s'opposent. L'activation serait vue comme une augmentation des processus cognitifs sur les informations pertinentes pour faire face à la concurrence avec l'information non pertinente. L'inhibition correspondrait alors à la diminution ou à la suppression du traitement de l'information non pertinente.

Pour résumer, deux hypothèses dominent pour expliquer les différences entre lecteurs. Une première hypothèse en terme d'efficience de la MDT est proposée : Les faibles lecteurs auraient des difficultés soit parce qu'à la base ils auraient une MdT peu efficiente, ce qui compromettrait le maintien des informations juste traitées ainsi que leur intégration avec d'autres informations, soit parce que leur difficulté à décoder les mots diminuerait les ressources attribuées au stockage. Le focus attentionnel ne pourrait donc plus se centrer sur les items à mémoriser et assurer sa fonction de réactivation et de maintien. Une seconde hypothèse indique que les faibles lecteurs présenteraient un déficit de contrôle exécutif qui ne permettrait pas de filtrer efficacement l'information entrant en MdT (processus de sélection), ni de la gérer (processus d'inhibition) en supprimant par exemple des réponses dominantes qui ne sont plus appropriées afin d'éviter l'interférence.

Partant de ces deux postulats, l'objectif de cette nouvelle étude était d'examiner qui de la capacité de MdT ou de l'efficacité des mécanismes de contrôle (inhibiteur notamment) est le candidat le plus susceptible d'expliquer les différences entre bons et faibles lecteurs. On peut supposer que les performances à une tâche d'inhibition, obtenues par les lecteurs les moins efficients, pourraient facilement être perturbées quand une tâche concurrente doit être exécutée conjointement. Une charge supplémentaire en MdT engendrée par une tâche concurrente réduirait la quantité de ressources attentionnelles ou de capacité fonctionnelle de la MdT disponible lors de la réalisation de la tâche d'inhibition.

L'effet délétère de l'augmentation de la charge attentionnelle a été examiné à l'aide d'une tâche de suivi oculaire. Attention et mouvements des yeux sont étroitement liés. En effet,

lors de l'exploration d'une scène visuelle, les objets qui attirent l'attention d'un individu correspondent aux endroits où se pose le regard. Une saccade oculaire est à la fois un mouvement des yeux et un indice du déplacement de l'attention du sujet. Par une étude combinant une tâche de saccade et une tâche de discrimination visuelle, Deubel, Schneider, et Paprotta (1998) ont montré que le regard d'un individu se déplace de manière « obligatoire » au point d'arrivée de la saccade, empêchant l'identification correcte d'une lettre située à un endroit différent.

Dans notre étude, les participants ont réalisé un traitement de bas niveau qui consistait à détecter une cible apparaissant en périphérie du champ visuel (tâche de pro-saccades -PS-). Puis, il leur était demandé de fixer le côté opposé à celui où s'affichait la cible (tâche d'anti-saccades -AS-), ce qui implique d'inhiber un déplacement difficile à réprimer Un dispositif d'enregistrement des mouvements oculaires permettait de mesurer les erreurs de fixation et les temps de réaction oculaire. Cette tâche d'anti saccades (AS) est particulièrement intéressante pour étudier les mécanismes d'inhibition de l'information non pertinente, parce que, plus que beaucoup d'autres tâches de "conflit", elle conduit très fortement le sujet à exécuter l'action inadéquate (saccade réflexe vers la cible). Pour réussir la tâche, le sujet doit mettre en œuvre des processus qui augmentent l'activation de l'anti-saccade correcte, mais aussi des processus complémentaires (dirigés vers le but) qui visent à supprimer l'activation de la pro-saccade réflexe incorrecte. L'effet interférent de l'augmentation de la charge mnésique a quant à lui été testé au moyen d'une tâche de mémorisation d'images.

Nous supposons qu'une charge importante en MdT laissera moins de ressources mnésiques ou attentionnelles disponibles pour inhiber efficacement des saccades réflexes dans la tâche d'AS. (Baddeley, 1986, 2003). Nous supposons également que les lecteurs les moins efficients obtiendront des performances plus faibles aux tâches d'AS que les normolecteurs et qu'une charge importante en MdT devrait affecter davantage leurs performances dans la tâche de AS mais aussi dans les tâches de PS.

.2 *Méthode*

.2.1 *Population*

La technique d'enregistrement des mouvements oculaires étant complexe et les contraintes matérielles importantes (les caractéristiques techniques de l'appareil sont présentées en

annexe 6, pages 292-293. Cette étude a été réalisée auprès de jeunes adultes. Les participants ont été informés de sa réalisation par le biais d'un e-mail envoyé sur les listes de diffusion de l'Université d'Angers (annexe 6, page 291).

Ils étaient prévenus que les données seraient traitées de manière anonyme et qu'ils pouvaient refuser de participer à l'étude à l'issue des informations qui leur seraient données ou arrêter à tout moment la passation. A la fin de la session expérimentale, une dizaine de minutes était consacrées à la présentation plus précise de l'étude, des objectifs et des résultats attendus. De plus, ils pouvaient s'ils le souhaitaient recevoir ultérieurement par mail, les grandes lignes de l'étude (objectifs et résultats).

Un pré-test sur 21 étudiants a été réalisé avant les passations définitives (annexe 6, page 294). Pour les passations définitives, 52 étudiants ont accepté de participer et 27 ont pu être correctement paramétrés. Le calibrage de l'appareil est complexe et surtout très sensible. Plusieurs facteurs sont susceptibles de gêner son calibrage et de compromettre la prise de mesures fiables, par exemple la couleur des yeux, le port de lentilles ou de lunettes, des clignements de paupières trop fréquents, etc.

Tableau 37 : *Caractéristiques moyennes de la population (écarts-types entre parenthèses).*

	Moyenne	Ecart-type	Maximum	Minimum
Age chronologique (années ; mois)	19;5	(2,01)	18;3	22;1
Score alouette	155	(38,12)	118	245

Ces vingt sept étudiants (dix neuf filles et huit garçons) étaient âgés de dix-huit à vingt deux ans (tableau 37) et suivaient un cursus en sciences humaines ou en lettres. Ils ne présentaient pas de troubles ou de handicaps visuels (ex : strabisme ...), leur vue était corrigée par le port de lunettes ou de lentilles. Le niveau en lecture de chaque participant a été évalué à l'aide du test de décodage en lecture « l'Alouette ». Ce test permet d'obtenir un score qui prend en compte la vitesse de lecture et le nombre d'erreurs réalisés. Ce score peut être converti en âge lexique. Puisque ce test à été proposé à des adultes, une grande majorité d'entre eux obtenait un âge lexique plafond (niveau « adulte »), bien que les scores soient très disparates. Afin de préserver cette variabilité, nous avons préféré prendre en compte ce score dans nos analyses et non pas l'âge lexique comme dans les deux premières études.

.2.2 *Matériel*

Dans cette étude, différentes tâches ont été proposées : des tâches de PS (exogène) où la réponse est déterminée par des stimuli externes ce qui nécessite un traitement cognitif minimal et des tâches d'AS (endogène) qui requièrent un contrôle volontaire du participant pour inhiber une réponse réflexe.

Plus précisément, dans la tâche de pro-saccades, les participants devaient fixer un stimulus apparaissant soudainement. Cette tâche permettait d'évaluer la vitesse de traitement de base. Dans la tâche d'AS : les participants devaient inhiber une réponse visuelle réflexe, ce qui exige de réfréner une tendance forte à faire une saccade vers un stimulus visuel apparaissant soudainement.

Pour chacune des deux tâches, deux conditions différentes étaient proposées : une condition contrôle (tâches de PS et AS sans mise à jour) et une condition mise à jour en MdT (tâches de PS et AS avec mise à jour). Ces tâches sont inspirées de l'étude de Eenshuistra, Ridderinkhof, Weidema, et Van der Molen (2007). Chaque participant devait donc exécuter un total de quatre tâches.

.2.2.1 Condition contrôle

Chaque essai débutait par une croix de fixation qui demeurait au centre de l'écran pendant 1600ms. Après la présentation de la croix de fixation, une cible (point) apparaissait sur la gauche ou la droite de celle-ci durant 400 ms (figure 38).

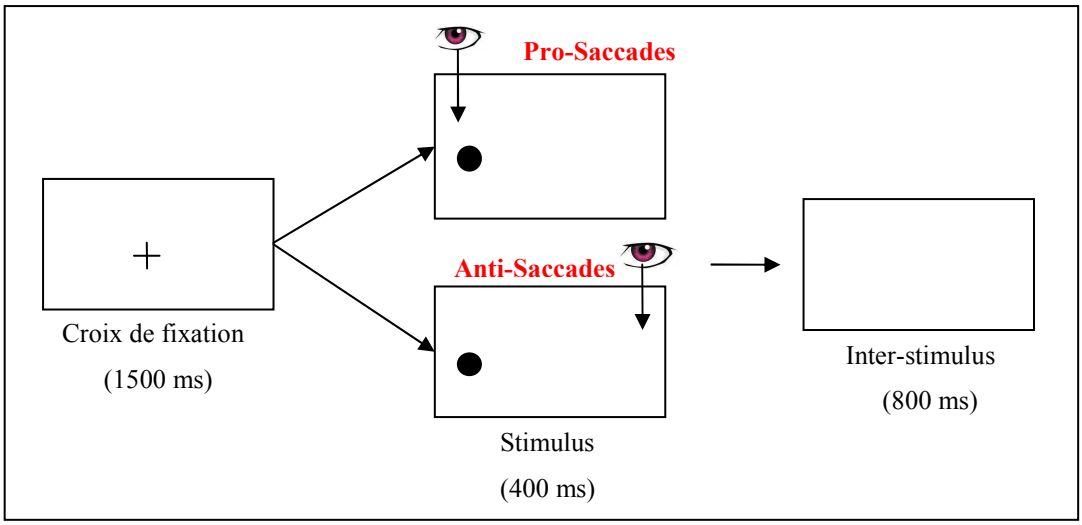


Figure 38 : Illustration d'un essai pour les tâches contrôle de PS et AS.

Dans la tâche de PS, les participants devaient regarder la croix de fixation jusqu'à ce que la cible apparaisse, puis ils devaient regarder aussi rapidement que possible en direction de la cible.

Dans la tâche d'AS, les participants devaient regarder la croix de fixation jusqu'à ce que la cible apparaisse, puis la consigne était de regarder aussi rapidement que possible du côté opposé de la cible

Dans cette condition contrôle, les tâches d'AS et de PS étaient constituées de trente essais (autant de saccades à droite qu'à gauche). Les tâches étaient précédées de trois exemples et d'un entraînement sur vingt essais.

.2.2.2 Condition mise à jour

- Principe

L'épreuve se déroulait comme dans la condition contrôle sauf que la cible était suivie d'une image en noir et blanc. Ce stimulus demeurait à l'écran pendant 400 ms. La tâche consistait à réaliser les tâches de PS et d'AS tout en mémorisant les deux dernières images présentées. Afin de les rappeler à la fin de la liste, à l'apparition d'un point d'interrogation au centre de l'écran

Concrètement, dans la tâche de PS (figure 39), les participants devaient regarder la croix de fixation jusqu'à ce que la cible apparaisse, puis devaient regarder aussi rapidement que possible en direction de la cible. L'image à mémoriser apparaissait au même endroit que la cible.

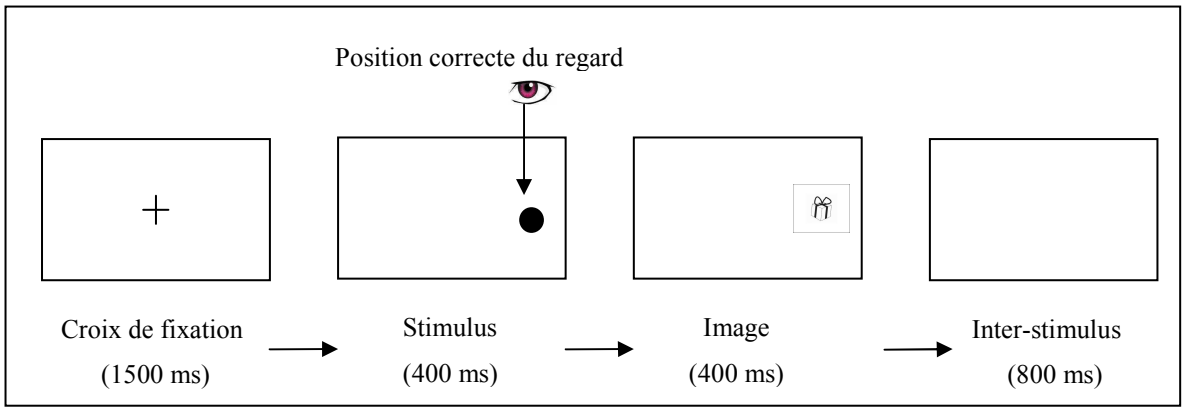


Figure 39 : Illustration d'un essai pour la tâche de PS+mise à jour

Dans la tâche d'AS (figure 40), les participants devaient regarder la croix de fixation jusqu'à ce que la cible apparaisse, puis devaient regarder aussi rapidement que possible du

côté opposé de la cible. L'image était donc présentée à l'emplacement opposé de celui de la cible. À la fin de chaque liste, les participants devaient rappeler les deux dernières images qui avaient été présentées.

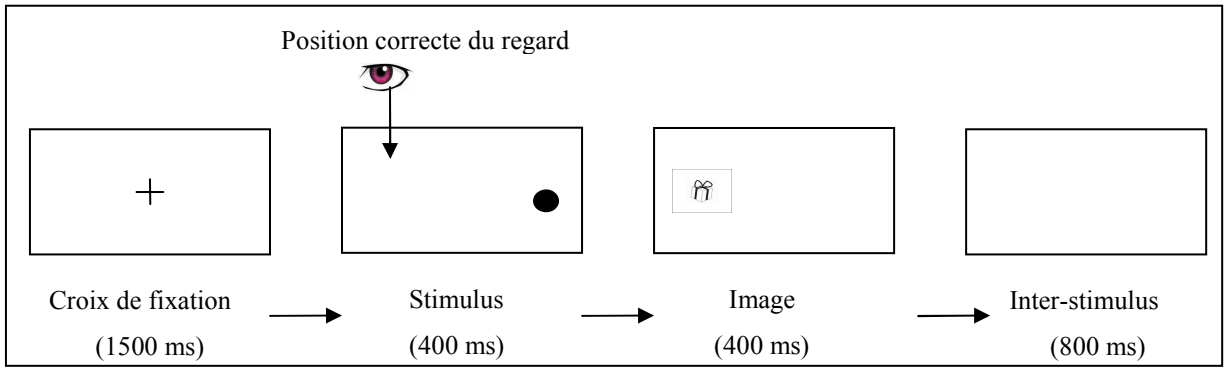


Figure 40 : Illustration d'un essai pour la tâche d'AS+mise à jour

Ces deux épreuves de PS et d'AS étaient constituées de douze listes comprenant un nombre d'essais différent (trois, cinq, huit et douze essais, soit un total de quatre vingt quatre essais pour chaque épreuve), et les participants n'étaient pas informés du nombre d'essais qui allaient être présentés dans chaque liste. Les épreuves de PS et d'AS étaient précédées d'exemples (sur trois essais) et d'un entraînement (sur deux listes de longueurs différentes).

Les consignes des différentes tâches sont présentées en annexe 6, page 297.

- Choix des images utilisées

Les images utilisées dans les tâches de mise à jour ont été sélectionnées dans la Banque de données d'images informatisées « BD2I » qui fournit des normes françaises d'images d'objets (Cannard et al., 2006). L'identification et la dénomination correctes de chaque image y ont été testées chez des enfants entre trois et huit ans.

Dans cette banque de données, nous avons sélectionné des images facilement reconnaissables, dont le taux d'identification correcte est supérieur à 80 % pour les enfants de 8 ans (liste détaillée des images utilisées en annexe 6, pages 295-296). Leur nom était composé d'une ou de deux syllabes. Ces images étaient réparties de telle sorte qu'il y ait autant de mots uni-syllabiques et bi-syllabiques dans les différentes tâches et dans les différentes listes. Enfin les images ont été sélectionnées afin d'éviter les ressemblances phonologiques (carte / crabe) ou sémantiques (voiture / roue) au sein d'une même liste.

.2.2.3 Dispositif utilisé

Le dispositif de suivi oculaire permet de présenter les différents stimuli, d'enregistrer et de traiter les mouvements oculaires. Il permet également de superposer les mouvements des yeux et les éléments présents sur l'écran.

Concrètement, le suiveur oculaire se compose de deux entités principales (illustrations en annexe 6, page 293). Tout d'abord, une tête vidéo composée de deux caméras vidéo commandées par un logiciel de contrôle et de capture vidéo de type faceLAB (version 4.2.2.). Ce logiciel était hébergé sur un ordinateur portable de marque IBM (Pentium IV M 2 GHz ; 1 Go de Ram). La tête vidéo était placée sur un trépied positionné sous l'écran visionné par le participant. Pour une meilleure précision du suivi oculaire, cette tête vidéo était accompagnée par des lampes infrarouges qui, par éclairement des pupilles, augmentaient les reflets cornéens. La seconde entité principale regroupait un émetteur de stimuli visuels (écran d'ordinateur de 19 pouces d'une résolution de 1280x1024 pixels) et un collecteur des données oculaires. Le tout était régenté par le logiciel « Gaze Tracker » version 05.02.03.

Dans le cadre de notre étude, le participant était placé sur un siège réglable en hauteur, à environ 60 cm de l'écran. L'expérimentatrice était présente dans la salle, dissimulée derrière un rideau.

.2.3 *Procédure*

Les tâches d'AS et de PS étaient présentées dans des blocs séparés. Dans le premier bloc, chaque participant passait l'épreuve de PS contrôle, puis l'épreuve de PS associée à la tâche de mise à jour.

Dans le deuxième bloc, le participant passait l'épreuve d'AS contrôle, puis l'épreuve d'AS associée à la tâche de mise à jour. A la fin de la passation une mesure du niveau en lecture (Alouette) était réalisée. La passation durait environ 45 min dont environ 15 minutes de paramétrage préalable.

Lors d'une deuxième passation les participants réalisaient individuellement des tâches de MdT verbale et non verbale (voir description de la tâche page 127) et la tâche de vitesse en lecture (Khomsi, 2005).

.3 Résultats

Pour chacune des quatre tâches, les données prises en compte concernaient : la latence des saccades (temps nécessaire pour fixer la cible) et les erreurs de saccades (saccades incorrectes c'est-à-dire, effectuées dans la direction opposée au stimulus). Les modalités de cotation sont présentées en annexe 6, page 298 et les scores bruts sont présentés en annexe 6, pages 318 à 320.

.3.1 *Épreuves de lecture et de MdT*

Les analyses de corrélation réalisées (tableau 38) montrent que les performances au test de vitesse en lecture sont significativement corrélées avec le niveau en lecture au test de l'Alouette (âge lexique ; $r = .48$; $p<.05$). De même, les performances aux tâches de MdT des corrélations sont significativement corrélées avec le score à l'Alouette. Les lecteurs qui obtiennent les scores les plus faibles au test de l'Alouette sont ceux qui obtiennent les scores les plus faibles aux épreuves de MdT verbale ($r = .62$; $p<.01$) et aux épreuves de MdT non verbales ($r = .67$; $p<.01$).

Tableau 38 : *Scores obtenus aux épreuves préalables et corrélations avec le niveau en lecture*

	Moyenne	Ecart-type	Maximum	Minimum	Corrélation alouette
Vitesse en lecture	56	(11,01)	75	37	.48 *
Score total MdT verbal /24	19	(3,25)	24	11	.62 **
Score total MdT non verbal /24	17	(2,86)	22	10	.67 **

.3.2 *Validation des tâches utilisées et effet du niveau en lecture*

.3.2.1 Tâche de mise à jour

Les analyses de corrélation montrent que les réponses aux tâches de mise à jour ne sont pas corrélées au niveau en lecture (tableau 39). Le nombre de rappels corrects à l'épreuve de mise à jour est élevé pour tous les lecteurs ce qui prouve qu'ils ont réalisé correctement la tâche supplémentaire de mise à jour.

Ces résultats sont valables aussi bien pour la tâche de PS que d'AS.

Tableau 39 : *Pourcentage de réponses correctes aux tâches de mise à jour dans les épreuves de pro-saccades et d'anti-saccades.*

	Moyenne	Ecart-type	Corrélation avec score alouette
Tâche de Pro-saccades	98,46 %	3,3	.06 ns
Tâche d'Anti-saccades	97,53 %	4,66	.24 ns

.3.2.2 Effet du type de tâche (pro-saccades/anti-saccades ; contrôle/mise à jour)

Nous avons pris en compte les temps de latence et le pourcentage d'erreurs aux tâches contrôle de PS et d'AS. La tâche d'AS est habituellement caractérisée par une augmentation des temps de latence, c'est-à-dire, qu'il faut plus de temps pour initier une anti-saccade qu'une pro-saccade. Elle est également caractérisée par un taux d'erreurs plus important, dû à des pro-saccades incorrectes en direction de la cible ou à un mauvais mouvement des yeux (Roberts, Hager, & Heron, 1994). Pour que les tâches proposées soient valides, ces différents effets doivent apparaître dans notre étude, indépendamment du niveau en lecture des participants.

Nous avons également étudié l'effet de la tâche de mise à jour supplémentaire. A chaque fois, des corrélations ont été réalisées pour déterminer si le niveau en lecture, mesuré à l'aide de la tâche de « l'Alouette », était corrélé aux performances obtenues dans ces différentes tâches. Contrairement aux études précédentes, nous n'avons pas constitué de groupe de faibles et de normolecteurs car il nous était impossible d'obtenir des effectifs équivalents dans chaque groupe : la distribution du niveau en lecture était asymétrique : un nombre plus important de participants obtenait un score élevé.

- Temps de latence

Des analyses de variance ont été réalisées selon le plan S*T2*M2 où T représente le Type de tâche (PS et AS) et M représente les deux modalités de la tâche de mise à jour (avec ou sans mise à jour) (tableau 40). Les résultats indiquent que l'effet simple du Type de tâches est significatif ; en général, les temps de latences sont plus rapides à la tâche de PS qui ne nécessite pas de mettre en œuvre un contrôle des mouvements oculaires réflexes (PS : 290 ms ; AS : 378 ms).

L'effet simple de la modalité Mise à jour est également significatif. Lorsqu'une tâche de mise à jour est ajoutée, les résultats indiquent une forte augmentation des temps de latence par rapport aux tâches contrôle (sans mise à jour : 321 ms ; avec mise à jour 347 ms). L'interaction n'est pas significative.

Tableau 40 : *Récapitulatif des résultats de l'analyse de variance pour les temps de latence*

	ddl	*F*	*p*
Type de tâche	(1, 26)	83,59	<.001
Mise à jour	(1, 26)	5,9	<.05
Type de tâche * Mise à jour	(1, 26)	<1	ns

Les analyses contrastant les modalités les tâches de PS sans mise à jour et les tâches d'AS sans mise à jour, indiquent comme attendu, un nombre plus important d'erreurs dans la tâche d'AS que dans la tâche de PS [$F(1,26) = 79,37$; $p<.001$]. De même, les analyses contrastant les tâches de PS avec mise à jour et les tâches d'AS avec mise à jour indiquent également que les temps de latence aux tâches d'AS + mise à jour sont significativement plus élevés que ceux obtenus à la tâche de PS + mise à jour [$F(1,26) = 38,74$; $p<.001$].
Enfin, les analyses contrastant les modalités avec et sans mise à jour pour chaque tâche, montrent que cet effet n'est pas significatif pour les tâches de PS ([$F(1,26) = 2,46$; ns] mais qu'il est significatif pour les tâches d'AS [$F(1,26) = 4,77$; $p<.05$].

Tableau 41 : *Temps de latence globaux obtenus aux quatre épreuves de pro-saccades et d'anti-saccades et corrélations avec le niveau en lecture*

	Moyenne	Ecart-type	Corrélation avec score alouette	
Pro-saccades	281 ms	43	.35	ns
PS + mise à jour	298 ms	57	.31	ns
Anti-saccades	361 ms	49	.64	**
AS + mise à jour	395 ms	81	.65	**

Les analyses des corrélations indiquent que les temps de latence à la tâche d'AS contrôle sont corrélés avec le niveau en lecture ($r = .64$; $p<.01$) ce qui n'est pas le cas pour la tâche de PS contrôle ($r = .35$; ns) (tableau 41). Cette absence de corrélation prouve que les lecteurs, quel que soit leur niveau, possèdent une vitesse de traitement équivalente lorsque la charge en MdT reste faible.
Les analyses des corrélations indiquent également que, comme pour les tâches contrôle, seuls les temps de latence à la tâche d'AS + mise à jour sont corrélés avec le score au test de l'Alouette (voir représentation des nuages de points en annexe 9, page 324).

❖ Pourcentage d'erreurs

Des analyses de variance ont été réalisées selon le plan S*T2*M2 où T représente le Type de tâche (PS et AS) et M représente les deux modalités de la tâche de mise à jour (avec ou sans mise à jour) (tableau 42). Les résultats indiquent que l'effet simple du Type de tâches est significatif. Comme nous le laissait penser la configuration des tâches, le pourcentage d'erreurs est plus élevé à la tâche d'AS qu'à la tâche de PS (PS : 290 ms ; AS : 378 ms). L'effet simple de la modalité Mise à jour est marginal. Lorsqu'une tâche de mise à jour est ajoutée, les participants commettent en moyenne 7,67 % d'erreurs alors que dans les conditions sans mise à jour le pourcentage moyen d'erreurs s'élève à 5,93 %. Le fait que cet effet de la mise à jour ne soit pas significatif pourrait résulter de la particularité de la tâche de PS qui fait appelle à des automatismes et engendre donc un nombre très faible d'erreurs même lorsqu'une mise jour est ajoutée. L'interaction n'est pas significative.

Tableau 42 : *Récapitulatif des résultats de l'analyse de variance pour le pourcentage d'erreurs*

	ddl	*F*	*p*
Type de tâche	(1, 26)	44,79	<.001
Mise à jour	(1, 26)	3,74	<.06
Type de tâche * Mise à jour	(1, 26)	1,22	ns

Les analyses contrastant les modalités les tâches de PS sans mise à jour et les tâches d'AS sans mise à jour, indiquent qu'un nombre plus important d'erreurs est réalisé dans la tâche d'AS que dans la tâche de PS [$F(1,26) = 27,68$; $p<.001$].

De même, les analyses contrastant les tâches de PS avec Mise à jour et les tâches d'AS avec Mise à jour indiquent que les erreurs aux tâches d'AS + Mise à jour sont toujours significativement plus nombreuses que pour la tâche de PS + Mise à jour [$F(1,26) = 37,78$; $p<.001$].

Enfin, les analyses contrastant les modalités avec et sans Mise à jour pour chaque tâche, montrent que cet effet n'est pas significatif pour les tâches de PS ([$F(1,26) = 4,04$; ns] qui fait appelle à des automatismes et qui engendre donc un nombre très faible d'erreurs même lorsqu'une mise jour est ajoutée. Même constat pour les tâches d'AS [$F(1,26) = 2,46$; ns] qui sont à la base, des tâches exigeant un niveau élevé de contrôle et où l'ajout de la mise à jour n'a que peu d'influence sur le nombre déjà élevé d'erreurs.

Tableau 43 : *Pourcentages d'erreurs globaux obtenus aux quatre épreuves de pro-saccades et d'anti-saccades et corrélations avec le niveau en lecture*

	Moyenne	Ecart-type	Corrélation avec score alouette	
Pro-saccades	1,74 %	2,39 %	.32	ns
PS + Mise à jour	2,54 %	2,85 %	.23	ns
Anti-saccades	10,12 %	8,50 %	.54	**
AS + Mise à jour	12,80 %	9,55 %	.76	***

Les analyses des corrélations indiquent que le pourcentage d'erreurs à la tâche d'AS contrôle est corrélé avec le niveau en lecture ($r = .54$; $p<.01$) ce qui n'est pas le cas pour la tâche de PS contrôle ($r= .32$; ns). Ces analyses des corrélations indiquent également que comme pour les tâches contrôle, seul le pourcentage d'erreurs à la tâche d'AS + Mise à jour est corrélé avec le score au test de l'Alouette (tableau 43).

.3.3 *Effet du coût de la mise à jour*

Nous avons étudié les variations des performances des lecteurs entre les tâches de PS et AS et en fonction du coût de la tâche de Mise à jour (3, 5, 8 ou 12 items à mettre à jour). Pour ce faire, les temps de latence semblent être une mesure adaptée. Par contre, les premières analyses ont souligné que le nombre d'erreurs aux tâches d'AS est disproportionné par rapport aux tâches de PS. Une analyse ne portant que sur le pourcentage d'erreurs ne semble pas pertinent. Nous avons donc constitué un score composite qui permet d'obtenir une mesure globale consistant en une combinaison de ces deux mesures. Ce score composite permet d'obtenir des temps de latence des saccades pondérées par les erreurs de direction [latence / (1-%d'erreurs)] (méthode utilisée par Eenshuistra et al., 2007). Ce score présente également l'intérêt de prendre en compte et de contrôler les différences de stratégie « exactitude-vitesse ». Le lecteur trouvera en annexe 9, page 325, un tableau de corrélations portant sur les temps uniquement puis sur le pourcentage d'erreurs uniquement.

Tableau 44 : *Temps de latence globaux obtenus aux épreuves de pro-saccades + mise à jour et d'anti-saccades + mise à jour en fonction du nombre d'items à mémoriser et corrélations avec le niveau en lecture*

		Moyenne	Ecart-type	Corrélation avec score alouette	
PS	mise à jour 3	265,52	56,99	.12	ns
	mise à jour 5	289,07	61,65	.17	ns
	mise à jour 8	323,33	66,75	.35	ns
	mise à jour 12	345,50	86,21	. 52	**
AS	mise à jour 3	390,95	93,86	.49	ns
	mise à jour 5	438,39	120,22	.73	***
	mise à jour 8	488,48	161,80	.80	***
	mise à jour 12	568,06	249,82	.77	***

Les analyses des corrélations montrent que pour les tâches de PS + Mise à jour, seules les performances à la suite la plus longue (12 items à mémoriser) sont corrélées avec le niveau en lecture (tableau 44). Par contre, pour les tâches d'AS, ces corrélations s'avèrent positives dès les suites de cinq images et pour les suites de huit et douze images. Les lecteurs les moins efficients sont capables de réaliser les tâches les moins coûteuses, mais seuls les bons lecteurs sont capables de réaliser la tâche de contrôle oculaire tout en réalisant la mise à jour des images en mémoire.

.4 Discussion

Plusieurs recherches ont montré que l'efficience de la MDT et/ou les capacités de contrôle exécutif sont susceptibles d'expliquer la variabilité dans les performances en lecture, et en particulier, en lien avec l'étude présentée ici, la capacité à gérer l'interférence. L'objectif de cette étude était donc de tester l'effet conjoint de la manipulation de la charge attentionnelle et mnésique chez de jeunes adultes ayant différents niveaux de décodage en lecture.

Pour ce faire, nous avons utilisé des tâches de pro-saccades et des tâches d'anti-saccades auxquelles ont été ajoutées des charges croissantes en MdT. La pro-saccade correspond au mouvement de capture réflexe ; la charge d'inhibition en mémoire de travail est faible, ce qui fournit une évaluation relativement directe de la vitesse de traitement L'anti-saccade correspond à un déplacement volontaire du regard dans la direction opposée au lieu d'apparition d'une cible. La tâche d'anti-saccades nécessitait donc de localiser la cible tout

en inhibant une saccade réflexe dans sa direction (attirance automatique de l'attention et du regard), puis de déclencher une saccade volontaire dans la direction opposée. Cette tâche d'anti-saccades est plus exigeante que celle de pro-saccades : elle mobilise davantage d'inhibition mais la charge en MdT reste faible. Les mouvements oculaires recueillis chez les participants traduisent bien cette difficulté à inhiber, face à l'apparition d'une information visuelle soudaine, les saccades de bas niveau, réflexes mais non pertinentes pour la tâche. Les premières analyses indiquent que, quel que soit le niveau en lecture, le pourcentage d'erreurs et les temps de latence sont significativement plus importants à la tâche d'anti-saccades que de pro-saccades.

Les données de la littérature tendent à établir la co-occurrence de troubles en lecture et de déficits plus généraux concernant l'attention et les mécanismes d'inhibition notamment. A partir des études répertoriées, la conclusion que les troubles en lecture se caractérisent par un déficit des mécanismes d'inhibition émerge. Cependant l'inhibition n'est pas toujours conçue comme un processus unitaire et homogène, certaines tâches étant touchées alors que d'autres ne le sont pas. Une hypothèse serait que les processus automatiques d'inhibition (inhibition de retour) sont épargnés dans la dyslexie alors que les mécanismes d'inhibition volontaires et contrôlés (anti-saccades) sont perturbés. Nous nous attendions donc à ce que, par rapport aux bons lecteurs, l'exécution d'AS des lecteurs les moins efficients soit caractérisée par une augmentation des erreurs de direction, et/ou des latences plus longues au début des saccades (sur les AS correctes). Les données obtenues dans cette étude confirme cette hypothèse, les corrélations montrent que plus le niveau en lecture des participants est élevé, plus la réalisation de cette tâche d'anti-saccades pose problèmes : les erreurs sont plus nombreuses et les temps de latence sont plus élevés. Il semblerait que les lecteurs les moins efficients aient des difficultés à contrôler leur comportement de manière volontaire et qu'il soit davantage dépendant des stimulations de l'extérieur.

De plus, lorsqu'une tâche de mise à jour dont le coût varie est ajoutée à ces tâches de pro-saccades et d'anti-saccades une détérioration des performances est observée. Ces résultats confirment l'étude de Engle, Conway et al. (1995) qui montre que la charge mentale d'une tâche a une influence directe sur la capacité à mettre un œuvre une inhibition. Ces données prouvent que les ressources sollicitées par l'inhibition et la MdT sont communes, puisque le coût de la seconde tâche agit sur les performances à la première.

Concernant le rôle du niveau en lecture, nous supposions que la charge en MdT devrait détériorer, de façon inégale, l'exécution des mouvements d'anti-saccade chez les lecteurs. Les résultats suggèrent effectivement que, au moins dans le cas des jeunes adultes les moins efficients au test de lecture de l'Alouette, la capacité à réaliser efficacement des tâches contrôlées mettant en jeu des capacités d'inhibition et de mise à jour est fortement corrélé avec le niveau en lecture.

La capacité fonctionnelle (ou ressources) disponible en MdT joue un rôle dans l'inhibition oculomotrice. Dans les tâches qui impliquent une charge simultanée d'inhibition visuelle et de mise à jour, les participants possédant un niveau de lecture élevé sont capables de réaliser la tâche de contrôle oculaire tout en réalisant la mise à jour des images en mémoire. Ils font aussi peu d'erreurs que dans les situations simples. Ils réagissent plus rapidement que ceux dont le niveau en lecture est bas. Dans les tâches de pro-saccades qui ne nécessitent pas de traitements contrôlés mais qui impliquent la mise à jour, les participants possédant un niveau en lecture plus faible ne commettent pas plus d'erreurs que ceux possédant un niveau en lecture plus élevé, mais présentent des temps de latence plus longs (pour les suites de 12 images).

Au final, la tâche de suivi oculaire utilisée dans notre étude, présente l'intérêt de ne pas être une tâche de lecture (de décodage, de compréhension ou portant sur la reconnaissance de lettres), mais une mesure plus directe des mécanismes de contrôle cognitif en modulant la charge attentionnelle en MdT. Le but n'était pas de comprendre comment se déroulait l'activité de lecture, ce qui la facilitait ou la perturbait (OVP, fréquence des mots, fenêtre attentionnelle…), mais d'essayer d'appréhender quels mécanismes cognitifs sous-jacents (processus mnésique attentionnel, de contrôle) étaient susceptibles d'expliquer les différences de niveau entre lecture.

Discussion générale

La présente recherche doctorale se proposait d'étudier le rôle du contrôle exécutif dans l'apprentissage de la lecture et plus particulièrement au niveau de l'aspect décodage. Jusqu'à présent, l'implication du contrôle exécutif a surtout été étudiée dans la compréhension, qui apparaît d'emblée comme étant une activité qui mobilise tout un ensemble de traitements et de compétences que le lecteur doit apprendre à maîtriser (Cain, Oakhill, & Bryant, 2000 ; Palladino et al., 2001 ; Swanson, 1999). Mais chez l'apprenti-lecteur, le décodage est également une activité complexe qui exige la régulation de diverses activités cognitives. L'apprenti-lecteur alterne entre traitements de conversion grapho-phonémique et traitements d'assemblage des unités sonores dérivées de l'analyse des unités graphémiques. Il gère l'utilisation de différentes procédures de décodage dont il dispose comme celles de l'analyse des graphèmes ou des syllabes ou encore les procédures logographique et analogique. Ces processus lents, non automatisés et cognitivement coûteux, caractéristiques du début de l'acquisition de la lecture, conduisent à considérer avec attention le rôle que pourrait jouer le contrôle exécutif dans les difficultés d'apprentissage de la lecture. L'hypothèse que nous avons testée dans cette recherche est celle d'un déficit de contrôle exécutif chez les faibles lecteurs. Nous considérons que le contrôle exécutif pourrait jouer un rôle particulièrement critique à certaines étapes de la lecture et spécialement au début de l'apprentissage de la lecture où la régulation de l'activité de décodage est laborieuse. La capacité de contrôle semble donc une source manifeste des difficultés des faibles lecteurs.

Ce contrôle exécutif, qu'il soit envisagé comme une sous-composante de la mémoire de travail ou une dimension de l'attention, s'exerce sur d'autres traitements et dans un système dont on suppose que les ressources sont limitées. Etudier le rôle joué par le contrôle exécutif dans les difficultés en lecture nécessitait donc d'étudier les relations entre ces différentes dimensions du fonctionnement cognitif. Les ressources disponibles en mémoire de travail (Engle et Kane, 2004 ; Turner et Engle, 1989) et l'expertise linguistique (capacités langagières et de traitement phonologique) influencent elles-aussi l'apprentissage de la lecture et engendrent un retard en lecture (Conway & Engle, 1996 ; Ellis, 1997 ; Liberman, 1973 ; Seigneuric et al., 2000 ; Shankweiler et al., 1995)

Les différentes synthèses des travaux réalisés nous ont permis d'avancer sur plusieurs points : les difficultés impliquées dans les retards de décodage en lecture, l'implication du contrôle exécutif dans l'activité de lecture ainsi que la place non négligeable des capacités phonologiques. Les particularités du contrôle exécutif nous ont conduits à mettre en place un ensemble de tâches exécutives précises et adaptées aux enfants. Ces tâches ont permis de nous informer sur les caractéristiques du contrôle exécutif et d'appréhender plus précisément son rôle dans le décodage en lecture.

- Nature des difficultés impliquées dans les retards de décodage en lecture

Comme nous l'avons mentionné tout au long de ce travail, plusieurs hypothèses peuvent être avancées pour expliquer les difficultés en lecture. L'hypothèse que nous avons testée dans cette recherche est celle d'un déficit de contrôle exécutif chez les faibles lecteurs (Palmer, 2000 ; Smith-Spark & Fisk, 2007 ; Swanson & Beringer, 1995).

La saturation des ressources en mémoire de travail (ou attentionnelles) constitue un autre facteur susceptible d'expliquer les difficultés en lecture. Cette saturation pourrait résulter de faibles capacités générales en mémoire de travail. La capacité réduite de la mémoire de travail des faibles lecteurs compromettrait le maintien des informations qui viennent d'être traitées ainsi que leur intégration à des informations antérieures. Elle ne permettrait pas à ces lecteurs de compenser la charge liée à la lenteur d'identification des mots (Engle, Cantor, & Carullo, 1992 ; Turner & Engle, 1989). Cette saturation pourrait également trouver ses origines dans la faible efficience du décodage qui aurait une incidence sur la possibilité de stockage (conception du partage des ressources entre le traitement et le stockage : Baddeley & Hitch, 1974 ; Case, 1985 ; Conway, Kane & Engle, 2003 ; Daneman & Carpenter, 1980, 1983 ; Kane & Engle, 2002 ; Towse, Hitch & Hutton, 1998). L'identification du mot par assemblage implique une conversion des graphèmes en phonèmes qui nécessite une compétence phonologique et des capacités phonémiques. Cette hypothèse phonologique postule que les enfants dyslexiques manifestent un trouble des représentations mentales des sons de la parole ou phonèmes (Vellutino, Fletcher et al., 2004). Ce déficit les empêcherait de décoder correctement et rapidement les mots, surtout lorsqu'ils sont nouveaux et peu familiers, ou de répéter et lire des pseudo-mots (Alegria & Mousty, 2004 ; Ramus, 2002 ; Sprenger-Charolles & Colé, 2003). Le déficit phonologique

aurait des répercussions sur le stockage des informations phonologiques et orthographiques car la lenteur de l'assemblage a des conséquences négatives sur le maintien de l'information déjà traitée en MdT. Le déficit phonologique s'accompagnerait également de troubles comme une altération de la boucle phonologique et de l'accès au lexique. Dans le cadre du modèle de Baddeley (2000), l'efficience du traitement perturberait la boucle phonologique et le fonctionnement du contrôle exécutif, entrainant une diminution des ressources attribuées au stockage. D'après les modèles de Cowan (1995) et Kane et Engle (2004), les ressources insuffisantes ne permettraient pas la réactivation des items à mémoriser.

Pour parvenir à isoler l'effet du contrôle exécutif, nous avons contrôlé l'impact de ces autres facteurs explicatifs (capacité générale en mémoire de travail, capacité à traiter du matériel verbal). Pour atteindre ce premier objectif, le rôle du contrôle exécutif en lecture a été étudié en comparant la capacité de faibles et normolecteurs de CE2 à exercer deux types de contrôle. Il leur a d'abord été demandé de réaliser une tâche de Conjonction Illusoire (CI) à laquelle s'ajoutait une tâche exécutive de mise à jour ou d'alternance entre deux types de traitements impliqués dans le décodage. L'hypothèse avancée était que, chez les faibles lecteurs, le coût lié à l'ajout d'un contrôle exécutif se répercuterait fortement sur les réponses à la tâche de CI. Les tâches proposées avec un matériel verbal ont montré que les deux groupes de lecteurs obtenaient des performances similaires en condition CI classique mais que, lorsqu'une tâche de contrôle exécutif était ajoutée, les faibles lecteurs commettaient plus d'erreurs et répondaient plus lentement. Cette augmentation des erreurs et des temps amène à penser que le coût associé à ce contrôle est plus important chez les faibles lecteurs et confirme les recherches antérieures qui avancent un lien entre double tâche (mémoire de travail) et lecture (Engle, Cantor et al., 1992 ; Palmer, 2000 ; Swanson, Ashbaker et al., 1996)

La constatation des difficultés des faibles lecteurs à exercer simultanément deux types de contrôle ne permet pas pour autant de trancher sur la nature des difficultés à l'origine du retard en lecture. La tâche sollicitant un matériel verbal étant coûteuse, les performances sont donc susceptibles d'être affectées par la capacité de traitement du langage et/ou des

ressources limitées contraignant la mise en œuvre du contrôle. Pour ces raisons, les tâches ont été proposées ensuite dans une version non verbale afin de permettre la comparaison verbal/non verbal. Une tâche de mémoire de travail dans laquelle étaient manipulés la charge de maintien temporaire d'informations (nombre d'éléments à conserver en mémoire) et le nombre de traitements à réaliser devait permettre d'étudier l'influence des capacités mnésiques. Nous sommes partis de l'idée que si les difficultés de lecture proviennent d'un déficit au niveau du contrôle exécutif, les faibles lecteurs devraient présenter des performances plus faibles pour l'ensemble des tâches. A l'inverse, si les difficultés de lecture proviennent de traitements lents et imprécis du matériel verbal, l'utilisation de ce matériel devrait contraindre les performances des faibles lecteurs, alors qu'une tâche non verbale ou spatiale leur permettrait d'obtenir des performances équivalentes à celles de normolecteurs. Dans une première étude, les tâches de CI portaient sur un matériel verbal et non verbal et, dans la deuxième étude, les tâches d'alternance portaient à la fois sur un matériel linguistique (détection de lettre dans un mot, catégorisation sémantique) et non linguistique (formes, spatiale et symboles).

Les résultats ont confirmé que les faibles lecteurs arrivaient moins facilement à contrôler l'alternance et la mise à jour des informations que les normolecteurs. Les faibles lecteurs se trouvaient en difficulté aussi bien dans des tâches de contrôle exécutif portant sur des mots que sur des suites de graphies non significatives n'appartenant pas au système alphabétique. Dans une troisième étude, la tâche de suivi oculaire mobilisant des traitements visuo-spatiaux a confirmé ces résultats. Plus le niveau en lecture des participants était faible, plus la réalisation de la tâche d'anti-saccades que nous avons utilisée posait problème : les erreurs étaient plus nombreuses et les temps de latence étaient plus élevés. Il s'avère que les jeunes adultes les moins efficients au test de lecture de l'Alouette ont eu des difficultés à réaliser efficacement des tâches contrôlées, requérant à la fois l'inhibition de mouvements oculaires réflexes et la mise à jour d'images. L'ensemble des résultats obtenus semble confirmer que les différences entre faibles et normolecteurs ne sont pas spécifiques au matériel traité mais qu'elles sont liées à l'efficacité de la mise en œuvre du contrôle exécutif, c'est-à-dire à la capacité à coordonner des processus contrôlés et automatisés.

Si la forte tendance des adultes faibles lecteurs et des lecteurs débutants, à échouer aux tâches proposées dans nos études peut s'interpréter comme un déficit du contrôle exécutif, elle peut également résulter de ressources mnésiques/attentionnelles insuffisantes (Engle,

Cantor, & Carullo, 1992 ; Turner & Engle, 1989). Les tâches de mémoire de travail proposées permettaient de mesurer la capacité de la mémoire de travail, elles comportaient également un matériel verbal et non verbal. Les résultats obtenus n'ont pas confirmé l'hypothèse d'un déficit de ressources mnésiques car les performances des groupes de lecteurs étaient similaires quelle que soit la nature du matériel à traiter. Par contre, les faibles lecteurs ont obtenu des performances plus faibles que les normolecteurs, lorsque le nombre d'items verbaux à mémoriser était élevé. Ainsi, les difficultés des faibles lecteurs pourraient résulter d'une incapacité à mobiliser rapidement des connaissances linguistiques (reconnaissance des lettres) qui se répercuterait sur le fonctionnement de la boucle phonologique. Les différences observées entre les niveaux en lecture semblent donc résulter d'un déficit de contrôle associé à une difficulté de type phonologique. De fait, les analyses de régressions réalisées ont confirmé l'effet cumulé des capacités de contrôle exécutif et de traitement de l'information phonologique et le poids moins important des capacités générales en mémoire de travail. Elles ont montré dans l'étude 1, que la contribution spécifique du contrôle exécutif apparaissait systématiquement et qu'elle était indépendante des mesures d'empan complexe aussi bien en présentations verbales que non verbales. Dans l'étude 2, qui prenait en compte dans l'analyse les performances à la tâche de segmentation phonémique, cette même constatation a pu être faite. La contribution du contrôle exécutif se montrait la plupart du temps significative et se maintenait après contrôle des mesures de mémoire de travail et de segmentation phonémique dans l'analyse. Elle avait même tendance à faire disparaître celle des capacités de mémoire de travail non verbale lorsqu'elles étaient entrées dans la même analyse. Le point à retenir ici est que si les capacités de segmentation phonémique apportent la contribution la plus importante à l'explication de la variabilité en lecture (ce que montrent des études antérieures), malgré tout, les capacités de contrôle exécutif apportent souvent une part de contribution spécifique qui s'ajoutent (et ne se substituent pas) aux capacités de traitement linguistique.

Nous avons également étudié l'influence réciproque du contrôle exécutif et des ressources mnésiques en examinant si les difficultés de contrôle exécutif se manifestaient davantage lorsque le traitement cognitif était coûteux. Selon Engle, Conway et al. (1995), la charge mentale d'une tâche a une influence directe sur la capacité à mettre en œuvre une

inhibition. Les ressources sollicitées par l'inhibition et par la mémoire de travail seraient communes et le coût d'une tâche pourrait agir sur les performances d'une autre tâche réalisée conjointement. Nous avons donc systématiquement modulé le coût cognitif des tâches. Dans la première étude, deux versions de la tâche de CI ont été proposées : l'une induisant l'utilisation des graphèmes (technique apprise au début de l'apprentissage de la lecture) et l'autre induisant l'utilisation des syllabes (technique plus coûteuse car s'installant ultérieurement ; Colé et al., 1999 ; Valdois et al., 2001). Dans la deuxième étude, nous avons fait varier le degré d'automatisation des réponses, et dans la troisième étude, une tâche de mise à jour dont le coût variait a été ajoutée aux tâches de contrôle oculaire. Sur ce point, les résultats ont divergé : chez les adultes une détérioration des performances était observée lorsque la charge attentionnelle augmentait, ce qui amène à penser que le contrôle exécutif et les ressources mnésiques dépendent des mêmes ressources. Chez les enfants en revanche, cet effet n'apparaissait pas systématiquement. Les performances des deux groupes de lecteurs ne variaient jamais en fonction du type d'unité utilisé (graphème ou syllabe) et ne variaient pas systématiquement en fonction de l'automatisation de la réponse. Ainsi, dans l'étude 2, faibles et normolecteurs ont commis en général un nombre similaire d'erreurs quel que soit le degré d'automatisation des réponses, sauf dans la tâche d'alternance sémantique où les faibles lecteurs de CM1 se sont trouvés en difficulté. Concernant les temps de réponse, cet effet de l'automatisation qui diffère en fonction du niveau en lecture n'apparaissait que ponctuellement, indépendamment de la nature de la tâche et de l'âge des enfants. Il est possible que chez les enfants faibles lecteurs, le coût de la mise en œuvre d'un contrôle exécutif était déjà très élevé, à tel point que la charge attentionnelle ajoutée n'a eu que peu d'influence sur les performances finales. Le coût cognitif pourrait avoir une influence sur le contrôle mais ne pourrait se répercuter sur les performances que si la charge n'est pas dépassée. Chez les adultes, la réalisation de la tâche de contrôle exécutif n'a pas engendré cette saturation et les performances ont pu être modulées lorsqu'une charge attentionnelle a été ajoutée.

Finalement, un point commun ressort lorsque l'on compare les résultats obtenus dans les tâches pourtant très différentes. Dès que la mise en œuvre d'un contrôle exécutif était exigée, les performances des faibles lecteurs ont chuté plus fortement que celles des

normolecteurs. Dans toutes les épreuves proposées, quelle que soit la nature de la tâche ou du matériel, les faibles lecteurs se sont trouvés en difficulté et notamment lorsque les temps de réponse étaient considérés. Si les faibles lecteurs sont capables, dans certaines circonstances, de contrôler leur activité et d'agir correctement, la mise en œuvre de ce contrôle est difficile, notamment du point de vue temporel. Cette difficulté à gérer différents processus pourrait par extension expliquer les difficultés de régulation des traitements mis en jeu dans une tâche de décodage en lecture, coûteuse pour les faibles lecteurs.

- Approche développementale de l'implication du contrôle exécutif dans l'activité de lecture

Un autre objectif de cette thèse était de préciser l'implication du contrôle exécutif en adoptant une démarche développementale. Nous avons testé l'implication du contrôle exécutif dans l'activité de lecture, en différenciant les effets liés à la maîtrise des procédures de décodage et les effets liés à l'automatisation des composantes exécutives. Nous avons testé la capacité de jeunes lecteurs de CE1 (7 ans) et de CM1 (9 ans) ayant différents niveaux d'expertise en lecture à alterner entre deux types de réponses et à inhiber un traitement artificiellement automatisé. Il s'agissait de déterminer si les difficultés de contrôle exécutif étaient présentes en début d'apprentissage de la lecture, si elles persistaient avec l'âge, l'amélioration de l'expertise en lecture et la maturation cérébrale (effet de l'âge).

Précisons d'emblée que les effets observés concernent essentiellement les temps de réponse et que les conclusions qui vont suivre s'appuient uniquement sur les résultats des analyses portant sur cette variable dépendante.

Les analyses réalisées sur les données des enfants de CE1 et de CM1 ont indiqué que les enfants les plus jeunes étaient capables de contrôler leur activité et de mettre en place des stratégies sur les traitements de plus bas niveau, puisque leurs performances n'étaient pas plancher et que les performances progressaient entre le CE1 et le CM1. Cependant, cette progression dans la capacité de contrôle n'a pas suffit à supprimer le coût de l'alternance car les interactions entre l'âge et la condition n'étaient significatives que pour les tâches impliquant un mot ou une catégorisation sémantique, c'est-à-dire pour les épreuves

paraissant être les plus complexes à réaliser. De plus, les effets d'interaction significatifs entre l'âge et le type de réponse attendu pour les tâches de catégorisation sémantique et mot ont souligné que l'automatisation des réponses à donner semblait elle aussi, exercer une influence sur la capacité de contrôle.

Les comparaisons entre normo et faibles lecteurs, à chacun des niveaux scolaires, ont indiqué que les enfants qui avaient un niveau de lecture plus faible avaient des performances qui diminuaient dans certaines tâches. De plus, l'effet de la condition a révélé que le coût de l'alternance (comparaison des conditions répétées vs alternées) était en général plus élevé chez les faibles lecteurs de CE1 et de CM1. Ainsi, chez les lecteurs débutants (après un an d'apprentissage de la lecture) comme chez les lecteurs plus expérimentés (après trois ans d'apprentissage de la lecture), le déficit de contrôle exécutif est présent. Les difficultés de contrôle relevées chez les enfants de CM1 peuvent être attribuées soit à une absence de progression durant l'enfance des capacités de contrôle, soit à une impossibilité pour le contrôle de s'exercer en raison de la saturation des ressources, saturation qui peut elle-même s'expliquer par des ressources de mémoire de travail restreintes ou des faibles compétences dans le traitement de l'écrit. Enfin, ces interactions sont apparues quelle que soit la tâche à réaliser, le coût de l'alternance semblait ainsi se manifester indépendamment du type de matériel à traiter. Il semble cependant que la nature de la tâche puisse interagir avec le type de traitement à réaliser puisque l'interaction entre l'âge et le type de réponse attendu était parfois significative.

Les comparaisons des faibles lecteurs de CM1 et de normolecteurs de CE1 de même âge lexique ont indiqué que les performances de ces deux groupes différaient en fonction du type de tâche et du matériel. Pour les tâches non verbales de bas niveau impliquant des formes et la localisation spatiale, nous n'avons pas observé d'effets de l'Age, ce qui n'est pas le cas pour les autres tâches, où les faibles lecteurs de CM1 ont obtenu des performances inférieures à celles des normolecteurs de CE1. Il semblerait donc que les capacités de contrôle mesurées dans les tâches verbales n'augmentent pas chez les faibles lecteurs de CM1. Elles perdureraient dans le temps, contrairement aux capacités de segmentation phonémique et de la mémoire de travail verbale, qui augmenteraient entre le CE1 et le CM1. Cette constatation corrobore celle présentée précédemment qui conclut à

l'effet cumulé de faibles capacités de traitement phonologique et de contrôle exécutif : les difficultés observées chez les apprenti-lecteurs pourraient être la conséquence d'un retard de développement du contrôle exécutif, mais aussi de difficultés phonologiques qui perdureraient dans le temps.

- ❖ Particularités du contrôle exécutif et précautions méthodologiques qui y en découlent

L'un des objectifs principaux de ce travail était de mettre en place des tâches adéquates, c'est-à-dire adaptées aux enfants ayant une bonne sensibilité développementale et mesurant des aspects précis du contrôle exécutif. Notons que notre démarche n'était pas diagnostique mais analytique : les tâches proposées nous ont permis d'évaluer le poids des différents facteurs susceptibles de jouer un rôle dans l'apprentissage de la lecture et non pas d'évaluer l'ampleur du déficit de contrôle exécutif en vue de proposer une prise en charge adaptée. Nous avons pointé à plusieurs reprises la variabilité des tâches et des méthodologies employées dans les recherches portant sur l'étude du contrôle exécutif. En nous appuyant sur les travaux de Gnys et Grant-Willis (1991), nous avons souligné l'importance de prendre en considération les particularités des aptitudes et des particularités du système cognitif des enfants qui ne sont pas strictement identiques à celles des adultes. Nous avons donc veillé dans la conception des tâches à ce que les traitements à réaliser soient adaptés à des enfants et tiennent compte des acquisitions développementales. Toutes les tâches proposées dans notre travail ont fait l'objet d'une validation préalable portant sur l'étude de la distribution des performances, de la variabilité inter-individuelles, ainsi que des effets d'ordre ou de renforcement.

Il est ressorti de ces analyses que les tâches proposées étaient adaptées aux enfants et permettaient de mesurer l'évolution du contrôle exécutif. Ces constations sont cependant valables uniquement lorsque l'on prend en compte les temps de réponse. L'étude du pourcentage d'erreurs a abouti à des conclusions plus mitigées car, dans les tâches de CI et d'alternance, on observait fréquemment des performances plancher ou une forte variabilité inter-individuelles (écart-type parfois plus élevé que la moyenne du groupe).

Le choix des tâches utilisées était lié à la nécessité de disposer de tâches précises, mesurant une habileté particulière et non pas un ensemble flou et complexe de composantes

exécutives plus ou moins bien définies. En effet, les études portant sur le développement du contrôle exécutif confirment qu'il est très hétérogène et varie d'une composante à l'autre (Gaux & Boujon, 2007). Or, les épreuves de contrôle exécutif utilisées dans la littérature sont souvent imprécises et mesurent globalement les capacités de contrôle exécutif, sans dissocier les différentes composantes (*Trail making test, Tour de Hanoi ou Tour de Londres, Wisconsin Card Sorting Test*…). Dans les études réalisées, nous avons ciblé chaque composante exécutive testée. Les tâches exigeaient de mobiliser un contrôle spécifique : l'alternance, l'inhibition, la mise à jour. Aucune tâche complexe de type planification n'a été proposée. Les épreuves ont été étudiées et analysées séparément afin d'étudier leur impact respectif sur le décodage en lecture. Les résultats ont confirmé l'hétérogénéité des composantes exécutives puisque l'effet du contrôle exécutif dépend de la composante exécutive impliquée dans la tâche. Ainsi, dans la première étude, les profils de performances ont différé selon le type de tâche exécutive. L'effet d'interaction Niveau en lecture*Présentation était significatif lorsque l'analyse portait sur la tâche d'alternance mais pas lorsqu'elle portait sur la tâche de mise à jour.

- *Limites du matériel et perspectives*

Bien que l'ensemble des données réunies dans le cadre de ce travail de thèse capte l'importance du contrôle exécutif dans le décodage d'un texte, un certain nombre d'améliorations peuvent être apportées à ce travail, qui incitent à poursuivre le programme de recherche dans lequel nous nous sommes engagés.

Malgré nos efforts pour proposer des tâches spécifiques permettant de mesurer une dimension précise du contrôle exécutif et exigeant des traitements de bas niveau (donner la couleur, la forme…), il est difficile de s'assurer que ces tâches ne mobilisent pas d'autres aspects que le contrôle exécutif. Les tâches proposées mettent en jeu des traitements différents qu'il est parfois difficile de circonscrire. Ainsi, toutes les tâches de contrôle exécutif nécessitent de contrôler constamment l'action mais exigent également des capacités de mémorisation ne serait-ce que pour garder activée la consigne lors des phases d'alternance ou d'inhibition. Il est probable que les résultats observés ne résultent pas de l'effet unique d'un facteur (mémoire, matériel ou contrôle) mais qu'ils se cumulent.

Concernant le choix de la population, des approfondissements doivent être apportés. Dans ce travail, nous avons utilisé des critères de sélection stricts et systématiques, afin de ne pas introduire de biais dans l'interprétation des résultats. Seules les performances des enfants faibles lecteurs présentant des problèmes de décodage ont été prises en compte. Le choix de cette population d'enfants typiques a permis d'apporter des connaissances sur le développement du contrôle exécutif chez l'enfant (étude 2) et de prouver que le déficit de contrôle exécutif est présent chez les faibles lecteurs dès le CE1. En contrepartie, ces critères de sélection rigoureux ne nous ont pas permis dans le temps imparti, de travailler sur des effectifs très importants. Les données doivent donc être approfondies et répliquées auprès d'un nombre plus élevé de participants.

De même, dans la troisième étude, la complexité d'utilisation du dispositif de suivi oculaire nous a conduits dans un premier temps à réaliser cette étude uniquement auprès de jeunes adultes. Les premiers résultats sont encourageants et incitent à proposer ces épreuves à des enfants apprenti-lecteurs.

Il serait également intéressant de répliquer l'ensemble de ces études auprès d'enfants présentant un trouble dyslexique. Il serait ainsi possible de déterminer si le déficit de contrôle exécutif observé chez les faibles lecteurs est également présent chez cette population et avec le même degré de sévérité. De telles données permettraient d'approfondir la connaissance de ce trouble.

Enfin, il est important de préciser que les résultats obtenus se limitent à l'aspect décodage en lecture. Or, le décodage n'est pas le seul traitement à l'œuvre dans l'activité de lecture, il ne constitue pas une fin en soi. Un bon lecteur ne se contente pas d'une lecture mécanique des mots, il lit en vue de comprendre le sens du message écrit. La compréhension est aussi une dimension importante de la lecture (Golder & Gaonac'h, 1998 ; Marin & Legros, 2008). Comprendre une phrase ou un texte exige de la part du lecteur un contrôle qui lui permet de détecter des erreurs et des incohérences dans le texte (phrases contradictoires ou opposées aux connaissances préalables…), d'adapter sa lecture pour résoudre un éventuel problème d'interprétation (ajustement de la vitesse de lecture, réalisation de retours en arrière, récupération d'une information ancienne incorrectement interprétée). Les compétences mnésiques et la régulation des traitements semblent donc

primordiales pour une bonne compréhension des textes lus. Depuis quelques années, de nombreuses études montrent d'ailleurs que des différences individuelles de mémoire de travail et/ou de contrôle exécutif sont à la base de variations dans le niveau de compréhension (Daneman & Carpenter ; Daneman & Carpenter, 1980, 1983 ; Seigneuric et al., 2000). Par la suite, nous pensons tester les aspects compréhension ; c'est-à-dire répliquer les tâches présentées ici auprès de faibles et normolecteurs se distinguant sur l'aspect compréhension…. Il s'agirait de déterminer si les capacités de contrôle exécutif de groupes se différenciant sur cet aspect de la lecture sont plus éloignées encore que celles observées lorsque les enfants se distinguent uniquement sur leurs compétences en décodage.

Bibliographie

Aghababian, V., & Nazir, T. A. (2000). Developing normal reading skills: Aspects of the visual processes underlying word recognition. *Journal of Experimental Child Psychology, 76*, 123-150.

Alamargot, D., Lambert, E., & Chanquoy, L. (2005). La production écrite et ses relations avec la mémoire. *Approche neuropsychologique des Acquisitions de l'Enfant, 17*, 41-46.

Alegria, J., Leybaert, J., & Mousty, P. (1994). Acquisition de la lecture et troubles associés. Evaluation, remédiation et théorie. In J. Grégoire & B. Piérart (Eds.), *Evaluer les troubles de la lecture : les nouveaux modèles théoriques et leurs implications diagnostiques* (pp. 105-126). Bruxelles: De Boeck Université.

Alegria, J., & Mousty, P. (2004). Les troubles phonologiques et métaphonologiques chez l'enfant dyslexique. *Enfance, 3*, 259-271.

Allen, P. A., Wallace, B., & Webert, T. A. (1995). Influence of case type, word frequency, and exposure duration on visual word recognition. *Journal of experimental psychology. Human perception and performance, 21*(4), 914-934.

Altemeier, L., Jones, J., Abbott, R. D., & Berninger, V. W. (2006). Executive functions in becoming writing readers and reading writers: note taking and report writing in third and fifth graders. *Developmental Neuropsychology, 29*(1), 161-173.

Amadieu, F., & Tricot, A. (2007). Utilisation d'un hypermédia et apprentissage : deux activités concurrentes ou complémentaires ? *Psychologie française, 51*, 5-23.

Anderson, J. R. (1974). Retrieval of prepositional information from long-term memory. *Cognitive Psychology, 6*, 451-474.

Anderson, J. R. (1983). *The Architecture of Cognition.* Cambridge: Harvard University Press.

Anderson, J. R., Reder, L. M., & Lebiere, C. (1996). Working memory: Activation limitations on retrieval. *Cognitive Psychology, 30*(3), 221-256.

Anderson, V. A., Anderson, P., Northam, E., Jacobs, R., & Catroppa, C. (2001). Development of executive functions through late childhood and adolescence in an australian sample. *Developmental Neuropsychology, 20*(1), 385-406.

Andersson, U., & Lyxell, B. (2007). Working memory deficit in children with mathematical diffculties: A general or specific deficit? *Journal of Experimental Child Psychology, 96*, 197-228.

Ans, B., Carbonnel, S., & Valdois, S. (1998). A connectionist multiple-trace memory model for polysyllabic word reading. *Psychological Review, 105*, 678-723.

Arbuthnott, K., & Frank, J. (2000). Executive control in set switching residual switch cost and task-set inhibition. *Canadian Journal of Experimental Psychology, 54*(1), 33-41.

Aron, A. R., Robbins, T. W., & Poldrack, R. A. (2004). Inhibition and the right inferior frontal cortex. *Trends in Cognitive Sciences, 8*, 170-177.

August, G. J., & Garfinkel, B. D. (1990). Comorbidity of ADHD and reading among clinic-referred children. *Journal of Abnormal Child Psychology, 18*, 29-45.

Awh, E., Vogel, E., & Oh, S. H. (2006). Interactions between attention and working memory. *Neurosciences, 139*, 201-208.

Badcock, D., & Lovegrove, W. (1981). The effects of contrast, stimulus duration, and spatial frequency on visible persistence in normal and specifically disabled readers.

Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 7(3), 495-505.

Baddeley, A. D. (1986). *Working memory*. Oxford: Clarendon Press.

Baddeley, A. D. (1990). *La mémoire humaine. Théorie et pratique*. Grenoble: PUF.

Baddeley, A. D. (1996). Exploring the central executive. *Quarterly Journal of Experimental Psychology, 49*, 5-28.

Baddeley, A. D. (2000). The episodic buffer : a new component of working memory ? Trends in cognitive sciences. *4, 11*, 417-423.

Baddeley, A. D., Grant, W., Wight, E., & Thomson, N. (1975). Imagery and visual working memory. In P. M. Rabbitt & S. Dornic (Eds.), *Attention and Performance V* (pp. 205–217). London: Academic Press.

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

Baddeley, A. D., & Hitch, G. (1994). Developments in the concept of working memory. *Neuropsychology, 8*(4), 485-493.

Baddeley, A. D., Logie, R., Bressi, S., Della Sala, S., & Spinnler, H. (1986). Dementia and working memory. *Quarterly Journal of Experimental Psychology, 38*(4), 603-618.

Baddeley, A. D., & Logie, R. H. (1999). Working memory: The multiple component model. In A. Miyake & P. Shah (Eds.), *Models of Working Memory* (pp. 28-61). New York: Cambridge University Press.

Ballaz, C., Marendaz, C., & Valdois, S. (1999). *Syllabes as visual units: Evidences from dyslexic and deaf children.* Paper presented at the XIth Conference of the European Society for Cognitive Psychology, Ghent 1-4 september.

Barkley, R. A. (1997). Behavioral inhibition, sustained attention, and executive functions: Constructing a unifying theory of ADHD. *Psychological Bulletin, 121*, 65–94.

Barnes, M. A., Faulkner, H., Wilkinson, M., & Dennis, M. (2004). Meaning construction and integration in children with hydrocephalus. *Brain and Language, 89*, 47-56.

Barrouillet, P. (1996). Ressources, capacités cognitives et mémoire de travail : Postulats, métaphores et modèles. *Psychologie Française*, 41-44.

Barrouillet, P., Bernardin, S., & Camos, V. (2004). Time Constraints and Resource Sharing in Adults' Working Memory Spans. *Journal of Experimental Psychology: General, 133*(1), 83-100.

Barrouillet, P., & Camos, V. (2001). Developmental Increase in Working Memory Span: Resource Sharing or Temporal Decay? *Journal of Memory and Language, 45*, 1-20.

Bauer, R. H. (1977). Memory processes in children with learning disabilities: Evidence for deficient rehearsal. *Journal of Experimental Child Psychology, 24*, 415-430.

Baughman, F. D., & Cooper, R. P. (2007). Inhibition and young children's performance on the Tower of London task. *Cognitive Systems Research, 8*, 216-226.

Bayliss, D. M., Jarrold, C., Baddeley, A. D., & Leigh, E. (2005). Differential constraints on the working memory and reading abilities of individuals with learning difficulties and typically developing children. *Journal of Experimental Child Psychology, 92*, 76-99.

Bayliss, D. M., Jarrold, C., Gunn, D. M., & Baddeley, A. D. (2003). The complexities of complex span: Explaining individual differences in working memory in children and adults. *Journal of Experimental Psychology: General, 132*, 71-92.

Bayliss, D. M., & Roodenrys, S. (2000). Processing and Attention Deficit Hyperactivity Disorder: An Application of the Supervisory Attentional System Executive. *Developmental Neuropsychology, 17*(2), 161-180.

Bental, B., & Tirosh, E. (2007). The relationship between attention, executive functions and reading domain abilities in attention deficit hyperactivity disorder and reading disorder: a comparative study. *Journal of Child Psychology and Psychiatry, 48*(5), 455–463.

Biscaldi, M., Fischer, B., Hartnegg, K., & Gutjahr, G. (2000). Voluntary saccade control in dyslexia. *Perception & Psychophysics, 29*, 509-521.

Biscaldi, M., Gezeck, S., & Stuhr, V. (1999). Poor saccadic control correlates with dyslexia. *Neuropsychologia, 36*(11), 1189-1202.

Bonafina, M. A., Newcorn, J. H., McKay, K. E., Koda, V. H., & Halperin, J. M. (2000). ADHD and reading disabilities. A cluster analytic approach for distinguishing subgroups. *Journal of Learning Disabilities, 33*(3), 297-307.

Bosse, M. L., Tainturier, M. J., & Valdois, S. (2007). Developmental dyslexia: the visual attention span deficit hypothesis. *Cognition, 104*(2), 198-230.

Boujon, C. (2004). Attention et apprentissage. In A. Weil-Barais (Ed.), *Les apprentissages scolaires.* (pp. 238-278). Rosny: Bréal.

Boujon, C., & Lemoine, K. (2002). Le rôle de l'inhibition dans le contrôle attentionnel des traitements. In C. Boujon (Ed.), *L'Inhibition. Au carrefour des neurosciences et des sciences de la cognition*. Marseille: Solal.

Bourdin, B. (2007). Du codage visuel au codage verbal : le rôle de l'apprentissage de la lecture. *Enfance, 59*(2), 145-159.

Bowey, J. A., Cain, M. T., & Ryan, S. M. (1992). A reading-level design study of phonological skills underlying fourth-grade children's word reading difficulties. *Child Development, 63*, 999-1011.

Brocki, K. C., & Bohlin, G. (2004). Executive Functions in Children Aged 6 to 13: A Dimensional and Developmental Study. *Developmental Neuropsychology, 26*(2), 571-593.

Brosnan, M., Demetre, J., Hamil, S., Robson, K., Sheperd, H., & Cody, G. (2002). Executive functioning in adults and children with developmental dyslexia. *Neuropsychologia, 40*, 2144-2155.

Bruck, M., & Treiman, R. (1990). Phonological awareness and spelling in normal children and dyslexics: The case of initial consonant clusters. *Journal of Experimental Child Psychology, 50*, 156–178.

Buchholz, J., & Aimola Davies, A. (2005). Adults with dyslexia demonstrate space-based and object-based covert attention deficits. *Brain and Cognition, 57*, 30-34.

Bull, R., Espy, K. A., & Senn, T. E. (2004). A comparison of performance on the Towers of London and Hanoi in young children. *Journal of Child Psychology and Psychiatry, 45*, 743-754.

Burgess, P. W. (1997). Theory and methodology in executive function research. In P. M. Rabbitt (Ed.), *Methodology of frontal and executive function* (pp. 61-80). Hove: Psychology Press.

Cain, K. (2006). Individual differences in children's memory and reading comprehension: An investigation of semantic and inhibitory deficits. *Memory, 14*(5), 553-569.

Cain, K., & Oakhill, J. V. (1999). Inference making ability and its relation to comprehension failure in young children. *Reading and Writing . 11*(5-6), 489-503.

Cain, K., Oakhill, J. V., Barnes, M. A., & Bryant, P. E. (2001). Comprehension skill, inference making ability and their relation to knowledge. *Memory and Cognition, 29*, 850-859.

Cain, M. T., Oakhill, J. V., & Bryant, P. E. (2000). Phonological skills and comprehension failure: The comprehension-age match design. *Reading and Writing, 12*, 31-40.

Camus, J. F. (1996). *La psychologie cognitive de l'attention*. Paris: Armand Colin.

Cannard, C., Bonthoux, F., Blaye, A., Scheuner, N., Schreiber, A.-C., & Jacques, T. (2006). BD2I : Normes sur l'identification de 274 images d'objets et leur mise en relation chez l'enfant français de 3 à 8 ans = BD2I. *L'Année Psychologique, 106*(3), 375-396.

Cantor, J., & Engle, R. W. (1993). Working memory capacity as long-term memory activation: An individual differences approach. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition, 19*, 1101-1114.

Cantor, J., Engle, R. W., & Hamilton, G. (1991). Short-term memory, working memory, and verbal abilities: How do they relate? *Intelligence, 15*(2), 229-246.

Carlson, S. M., Davis, A. C., & Leach, J. G. (2005). Less is more executive function and symbolic representation in preschool children. *Psychological Science, 16*(8), 609-616.

Carreti, B., Cornoldi, C., DeBeni, R., & Romano, M. (2005). Updating in working memory: A comparison of good and poor comprehenders. *Journal of Experimental Child Psychology, 91*, 45-66.

Casalis, S. (2005). Dyslexies du développement et reconnaissance visuelle de mots : questions introductives. In Y. Coello, S. Casalis & C. Moroni (Eds.), *Vision, espace et cognition : Fonctionnement normal et pathologique*. Lille: Presses universitaires du Septentrion.

Casco, C., & Prunetti, E. (1996). Visual search of good and poor readers: effects with targets having single and combined features. *Perceptual and Motor Skills, 82*(3), 1155-1167.

Casey, B. J., Giedd, J. N., & Thomas, K. M. (2000). Structural and functional brain development and its relation to cognitive development. *Biological Psychology, 54*, 241-257.

Cepeda, N. J., Cepeda, M. L., & Kramer, A. F. (2000). Task switching and attention deficit hyperactivity disorder. *Journal of Abnormal Child Psychology, 28*, 213-226.

Cepeda, N. J., Kramer, A. F., & Gonzalez de Sather, J. C. (2001). Changes in executive control across the life span: examination of task-switching performance. *Developmental Psychology, 37*(5), 715-730.

Chace, K. H., Rayner, K., & Arnold, W. (2005). Eye movements and phonological parafoveal preview: effects of reading skill. *Canadian Journal of Experimental Psychology, 59*(3), 209-217.

Chanquoy, L., & Alamargot, D. (2002). Mémoire de travail et production écrite : quelques modèles récents et bilan des premiers travaux. *L'Année Psychologique, 102*, 363-398.

Chiland, C. (1988). De la complexité des difficultés de la lecture ». Handicap et inadaptation. *Les cahiers du CTNER, 41*, 145-147.

Chiland, C. (1990). *Le refus de l'école, un aspect transculturel. L'échec scolaire en France*. Paris: Presses universitaires de France.

Clément, E. (2006). Approche de la flexibilité cognitive dans la problématique de la résolution de problème. *L'Année Psychologique, 106*(3), 129-158.

Colé, P., Magnan, A., & Grainger, J. (1999). Syllable-sized units in visual words recognition: Evidence from skilled and beginning readers. *Applied Psycholinguistics, 20*, 507-532.

Colé, P., & Valdois, S. (2007). L'acquisition de la lecture et ses troubles. In A. Blaye & P. Lemaire (Eds.), *Le développement cognitif de l'enfant* (pp. 187-221). Paris: De Boeck Université.

Colle, H. A., & Welsh, A. (1976). Acoustic masking in primary memory. *Learning and Verbal Behavior, 15*, 17-32.

Colledge, E., & Blair, R. J. (2001). The relationship in children between the inattention and implusivity components of attention deficit and hyperactivity disorder and psychopathic tendencies. *Personality and individual differences, 30*, 1175-1187.

Coltheart, M., Rastle, K., Perry, C., Langdon, R., & Ziegler, J. (2001). The DRC Model: A model of visual word recognition and reading aloud. *Psychological Review, 108*, 204-256.

Conrad, R., & Hull, A. J. (1964). Information, acoustic confusion and memory span. *British Journal of Psychology, 55*, 429-432.

Content, A. (1996). Modèles de l'acquisition de la lecture : perspectives récentes. In S. Carbonnel & P. Gillet (Eds.), *Approche cognitive des troubles de la lecture chez l'enfant et l'adulte.* (pp. 63-80). Marseille: Solal.

Conway, A., & Engle, R. W. (1996). Individual differences in working memory capacity: More evidence for a general capacity theory. *Memory, 4*, 577-590.

Conway, A. R., & Engle, R. W. (1994). Working memory and retrieval: A resource dependent inhibition model. *Journal of Experimental Psychology: General, 123*(4), 354-373.

Conway, A. R., Kane, M. J., & Engle, R. W. (2003). Working memory capacity and its relation to general intelligence. *Cognitive Sciences, 7*(12), 547-552.

Conway, A. R., Tuholski, S. W., Shisler, R. J., & Engle, R. W. (1999). The effect of memory load on negative priming: An individual differences investigation. *Memory and Cognition, 27*(6), 1042-1050.

Conway, R. A., & Engle, R. W. (1996). Individual differences in working memory capacity: More evidence for a general capacity theory. *Memory, 4*, 577-590.

Cornelissen, P., Richardson, A., Mason, A., Fowler, S., & Stein, J. (1995). Contrast sensitivity and coherent motion detection measured at photopic luminance levels in dyslexics and controls. *Vision Research, 35*, 1483-1494.

Cowan, N. (1988). Evolving conceptions of memory storage, selective attention, and their mutual constraints within the human information-processing system. *Psychological Bulletin, 104*, 163-191.

Cowan, N. (1993). Activation, attention, and short-term memory. *Memory & Cognition, 21*, 162-167.

Cowan, N. (1995). *Attention and memory: An integrated framework.* Oxford Psychology Serie 26. New York: Oxford University Press.

Cowan, N., Towse, J. N., Hamilton, Z., Saults, J. S., Elliott, E. M., Lacey, J. F., et al. (2003). Children's working-memory processes: A response-timing analysis. *Journal of Experimental Psychology: General, 132*(1), 113-132.

Crain, S., Shankweiler, D., Macaruso, P., & Bar-Shhalom, E. (1990). Working memory and sentence comprehension: Investigations of children with reading disorder. In G. Vallar & T. Shallice (Eds.), *Impairments of short-term memory* (pp. 539-552): Cambridge Univ. Press.

Crone, E. A., Somsen, R. J., Zanolie, K., & Van der Molen, M. W. (2006). A heart rate analysis of developmental change in feedback processing and rule shifting from childhood to early adulthood, 99-116.

Daily, L. Z., Lovett, M. C., & Reder, L. N. (2001). Modelling individual differences in working memory performance: a source activation account. *Cognitive Science, 25*, 315-353.

Daneman, M., & Carpenter, P. A. (1980). Individual differences in working memory and reading. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behaviour, 19*, 450-466.

Daneman, M., & Carpenter, P. A. (1983). Individual differences in working memory and reading. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behaviour, 19*, 450-466.

Davidson, M. C., Amso, D., Cruess Anderson, L., & Diamond, A. (2006). Development of cognitive control and executive functions from 4 to 13 years: Evidence from manipulations of memory, inhibition, and task switching. *Neuropsychologia, 44*, 2037-2078.

De Beni, R., & Palladino, P. (2000). Intrusion errors in working memory tasks: are they related to reading comprehension ability? *Learning & Individual Differences, 12*, 131-143.

de Beni, R., Palladino, P., Pazzaglia, F., & Cornoldi, C. (1998). Increases in intrusions errors and working memory deficit of poor comprehenders. *Quarterly Journal of Experimental Psychology, 51*, 305-320.

De Beni, R., & Pazzaglia, F. (2001). Lecture : les connaissances relatives à la tâche et aux stratégies. In P. A. Doudin, D. Martin & O. Albanese (Eds.), *Métacognition et éducation* (Vol. 223-262). Lausanne: Peter Lang.

De Jong, P. F. (1998). Working Memory Deficits of Reading Disabled Children. *Journal of Experimental Child Psychology, 70*, 75-96.

De Luca, M., Di Pacea, E., Judicaa, A., Spinelli, D., & Zoccolottia, P. (1999). Eye movement patterns in linguistic and non-linguistic tasks in developmental surface dyslexia. *Neuropsychologia, 37*, 1407-1420.

Della Sala, S., Gray, C., Baddeley, A., Allamano, N., & Wilson, L. (1999). Pattern span: A tool for unwelding visuo-spatial memory. *Neuropsychologia, 37*(10), 1189-1199.

Demont, E., & Botzung, A. (2003). Contribution de la conscience phonologique et de la mémoire de travail aux difficultés en lecture: Etude auprès d'enfants dyslexiques et apprentis-lecteurs. *L'Année Psychologique, 104*, 377-410.

Demont, E., & Gombert, J.-E. (2004). L'apprentissage de la lecture : évolution des procédures et apprentissage implicite. *Enfance, 56*, 245-257.

Dempster, F., & Corkill, A. J. (1999). Interference and inhibition in cognition: Unifying themes for educational psychology. *Educational Psychology Review, 11*, 1-88.

Dempster, F. N. (1992). The rise and fall of the inhibitory mechanism: Toward a unified theory of cognitive development and aging. *Developmental Review, 12*, 45-75.

Deubel, H., Schneider, W. X., & Paprotta, I. (1998). Selective dorsal and ventral processing: Evidence for a common attentional mechanism in reaching and perception. *Visual Cognition, 5*, 81-107.

Diamond, A. (2002). Normal development of prefrontal cortex from birth to young adulthood: Cognitive functions, anatomy, and biochemistry. In D. T. Stuss & R. T. Knight (Eds.), *Principles of frontal lobe function* (pp. 466-503). New York: Oxford University Press.

Diamond, A., Carlson, S. M., & Beck, D. M. (2005). Preschool children's performance in task switching on the Dimensional Change Card Sort Task: Separating the dimensions aids the ability to switch. *Developmental Neuropsychology, 28*(2), 689-729.

Diamond, A., & Gilbert, J. (1989). Development as progressive inhibitory control of action: retrieval of a contiguous object. *Cognitive Development, 4*, 223-249.

Diamond, A., Kirkham, N., & Amso, D. (2002). Conditions under which young children can hold two rules in mind and inhibit a prepotent response. *Developmental Psychology, 38*(3), 352-362.

Dibbets, P., & Jolles, J. (2006). The switch task for children: measuring mental flexibility in young children. *Cognitive Development, 21*, 60-71.

Doignon, N., & Zagar, D. (2006). Les enfants en cours d'apprentissage de la lecture perçoivent-ils la syllabe à l'écrit ? *Canadian journal of experimental psychology, 60*(4), 258-274.

Duché, D. J. (1996). *L'enfant hyperactif*. Paris: De Boeck.

Ducrot, S., Lété, B., & Sana, S. (2004, 8-10 décembre). *L'émergence de l'effet de position optimale de fixation chez l'apprenti-lecteur*. Paper presented at the Colloque "Acquisition du langage. Vers une approche pluridisciplinaire", Strasbourg.

Ducrot, S., Lété, B., Sprenger-Charolles, L., Pynte, J., & Billard, C. (2003). The optimal viewing position effect in beginning and dyslexic readers. *10*.

Ducrot, S., & Pynte, J. (2002). What determines the eyes' landing position in words? *Perception & Psychophysics, 64*(7), 1130-1144.

Duncan, J., & Humphreys, G. W. (1989). Visual search and stimulus similarity. *Psychological Review, 96*, 433-458.

Duncan, J., Johnson, R., Swales, M., & Freer, C. (1997). Frontal lobe deficits after head injury: Unity and diversity of function. *Cognitive Neuropsychology, 14*, 713-741.

Dykerman, R., & Ackerman, P. (1991). ADD and specific reading disability: Separatebut often overlapping disorders. *Journal of learning Disabilities, 24*, 96-103.

Ecalle, J. (2000). Lire et écrire des mots au CP : aspects prédictifs. *Revue de Psychologie de l'Education, 1*(42-58).

Ecalle, J., & Magnan, A. (2002). *L'apprentissage de la lecture. Fonctionnement et développement cognitifs*. Paris: A. Colin.

Eden, G. F., Stein, J. F., Wood, H. M., & Wood, F. B. (1994). Differences in eye movements and reading problems in dyslexic and normal children. *Vision Research, 34*(10), 1345-1358.

Eden, G. F., VanMeter, J. W., Rumsey, J. M., & Zeffiro, T. A. (1996). Looking beyond the reading problems in developmental dyslexia: visualising the visual processing deficits. *NIH Research, 8*, 31-35.

Eenshuistra, R. M., Ridderinkhof, K. R., Weidema, M. A., & Van der Molen, M. W. (2007). Developmental changes in oculomotor control and working-memory effciency. *Acta Psychologica, 124*, 139-158.

Ehri, L. C., Nunes, S. R., Willows, D. M., Schuster, B. V., Yaghoub Zadeh, Z., & Shanahan, T. (2001). Phonemic awareness instruction helps children learn to read : Evidence fromthe National Reading Panel's meta-analysis. *Reading Research Quarterly, 36*, 250-287.

Ellis, A. W. (1988). Normal writing processes and peripheral acquired dysgraphias. *Language and Cognitive Processes, 3*, 99-127.

Ellis, N. (1997). Interactions in the development of reading and spelling: Stages, strategies, and exchange of knowledge. In C. A. Perfetti, L. Rieben & M. Fayol (Eds.), *Learning to spell: Research, theory, and practice across languages* (pp. 271-294). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates Publishers.

Engle, R. W. (1996). Working memory and retrieval: An inhibition-resource approach. In J. T. Richardson, R. W. Engle, L. Hasher, R. Logie, E. R. Stoltzfus & R. T. Zacks (Eds.), *Working Memory and Human Cognition*. New York: Oxford University Press.

Engle, R. W. (2001). What is working memory capacity? In H. L. Roediger, J. S. Nairne, I. Neath & A. M. Surprenant (Eds.), *The nature of remembering: Essays in honor of Robert G. Crowder*. (pp. 297-314). Washington: American Psychological Association.

Engle, R. W., Cantor, J., & Carullo, J. J. (1992). Individual differences in working memory and comprehension: A test of four hypotheses. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition, 18*, 972-992.

Engle, R. W., Conway, A. R., Tuholski, S. W., & Shisler, R. J. (1995). A resource account of inhibition. *Psychological Science, 6*(2), 122-125.

Engle, R. W., & Kane, M. J. (2004). Executive attention, working memory capacity, and a two-factor theory of cognitive control. In B. H. Ross (Ed.), *The psychology of learning and motivation* (Vol. 44, pp. 145-199). New York: Elsevier.

Evett, L. J., & Humpreys, G. W. (1981). The use of abstract graphemic information in lexical access. *Quaterly Journal of Experimental Psychology, 33*, 325-350.

Facoetti, A., Lorusso, M. L., Paganoni, P., Umiltà, C., & Mascetti, G. G. (2003). The role of visuospatial attention in developmental dyslexia: evidence from a rehabilitation study. *Cognitive Brain Research, 15*, 154-164.

Facoetti, A., Paganoni, M., & Lorusso, M. L. (2000). The spatial distribution of visual attention in developmental dyslexia. *Experimental Brain Research, 132*, 531-538.

Faraone, S. V., Doyle, A. E., Mick, E., & Biederman, J. (2001). Meta-analysis of the association between the 7-repeat allele of the dopamine D(4) receptor gene and attention deficit hyperactivity disorder. *American Journal of Psychiatry, 158*(7), 1052-1059.

Favart, M., & Olive, T. (2005). Modèles et méthodes d'étude de la production écrite. *Psychologie Française, 50*(3), 273-285.

Fawcett, A. J., & Nicolson, R. I. (1999). Performance of dyslexic children on cerebellar and cognitive tests. *Journal of Motor Behaviour, 31*(1), 68-78.

Fayol, M. (1992). Comprendre ce qu'on lit : De l'automatisme au contrôle. In M. Fayol, J.-E. Gombert, P. Lecocq, L. Sprenger-Charolles & D. Zagar (Eds.), *Psychologie cognitive de la lecture*. Paris: P.U.F.

Fayol, M. (1999). Lire et comprendre : oui mais... *JDI (Journal des instituteurs), 1*.

Fijalkow, J. (1999). Un coup pour rien. *Les Actes de Lecture, Revue AFL, 67*, 40-52.

Fischer, B. (1986). The role of attention in the preparation of visually guided eye movements in monkey and man. *Psychological Research, 48*, 251-257.

Fischer, B., Biscaldi, M. M., & Otto, P. (1993). Neuropsychologia. *Saccadic eye movements of dyslexic adult subjects, 31*(9), 887-906.

Fletcher, J. M., Shaywitz, S. E., Shankweiler, D., Katz, L., Liberman, I. Y., Stuebing, K. K., et al. (1994). Cognitive profiles of reading disability: Comparisons of discrepancy and low achievement definitions. *Journal of Educational Psychology, 86*(1), 6-23.

Florin, A. (1999). *Le développement du langage*. Paris: Dunod.

Florin, A. (2003). *Introduction à la psychologie du développement*. Paris: Dunod.

Flower, L. S., & Hayes, J. R. (1980). The dynamics of composing: Making plans and juggling constraints. In L. W. Gregg & E. R. Steinberg (Eds.), *Cognitive Processes in Writing* (pp. 31-50). Hillsdale: Lawrence Erlbaum.

Flynn, J. M., & Rahbar, M. H. (1994). Prevalence of reading failure in boys compared with girls. *Psychology in the Schools, 31*, 66-71.

Friedman, N. P., & Miyake, A. (2004). The relations among inhibition and interference control functions: A latent-variable analysis. *Journal of Experimental Psychology: General, 133*, 101-135.

Friedman, N. P., Miyake, A., Young, S. E., DeFries, J. C., Corley, R. P., & Hewitt, J. K. (2008). Individual differences in executive functions are almost entirely genetic in origin. *Journal of Experimental Psychology, 137*(2), 201-225.

Fukushima, J., Tanakab, S., Williams, J. D., & Fukushima, K. (2005). Voluntary control of saccadic and smooth-pursuit eye movements in children with learning disorders. *Brain & Development, 27*, 579–588.

Gabersek, V., & Salel, D. (1978). Quatre critères electro-oculographiques intervenant dans l'évolution de la lecture. *Revue de Neuropsychiatrie Infantile, 26*, 201-226.

Gaonac'h, D., & Fradet, A. (2003). La mémoire de travail : développement et implication dans les activités cognitives. In M. Kail & M. Fayol (Eds.), *Les sciences cognitives et l'école. La question des apprentissages* (pp. 91-150). Paris: Presses Universitaires de France.

Gaonac'h, D. (2005). Mémoire de travail et apprentissages scolaires. *ANAE, 81*, 47-52.

Gaonac'h, D., & Fradet, A. (2003). La mémoire de travail : développement et implication dans les activités cognitives. In M. Kail & M. Fayol (Eds.), *Les sciences cognitives et l'école* (pp. 91-150). Paris: PUF.

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

Garavan, H., Ross, T. J., Murphy, K., Roche, R. A. P., & Stein, E. A. (2002). Dissociable executive functions in the dynamic control of behaviour: Inhibition, error detection and correction. *NeuroImage, 17*, 1820-1829.

Garon, N., Bryson , S. E., & Smith, I. M. (2008). Executive Function in Preschoolers: A Review Using an Integrative Framework. *Psychological Bulletin, 134*(1), 31-60.

Gathercole, S. E., Alloway, T. P., Kirkwood, H. J., Elliott, J. G., Holmes, J., & Hilton, K. A. (2008). Attentional and executive function behaviours in children with poor working memory. *Learning and Individual Differences, 18*, 214-223.

Gathercole, S. E., Alloway, T. P., Willis, C., & Adams, A. M. (2006). Working memory in children with reading disabilities. *Journal of Experimental Child Psychology, 93*, 265-281.

Gathercole, S. E., & Baddeley, A. B. (1993). *Working memory and language*. Exeter, UK: LEA.

Gathercole, S. E., & Baddeley, A. D. (1990). The role of phonological memory in vovabulary acquisition: a new study of young children learning new names. *British Journal of Developmental Psychology, 81*, 439-454.

Gathercole, S. E., Pickering, S. J., Ambridge, B., & Wearing, H. (2004). The structure of working memory from 4 to 15 years of age. *Developmental Psychology, 40*(2), 177-190.

Gaux, C. (2004). Apprendre à lire. In A. Weil-Barais (Ed.), *Les apprentissages scolaires* (pp. 82-115). Rosny: Bréal.

Gaux, C., & Boujon, C. (2007). Développement du contrôle exécutif. In A. Blaye & P. Lemaire (Eds.), *Psychologie du développement cognitif de l'enfant* (pp. 253-281). Bruxelles: De Boeck.

Gavens, N., & Barrouillet, P. (2004). Delays of retention, processing efficiency, and attentional resources in working memory span development. *Journal of Memory and Language, 51*, 644-657.

Geary, D. C., & Hoard, M. K. (2001). Numerical and arithmetical deficits in learning-disabled children: Relation to

dyscalculia and dyslexia. *Aphasiology, 15*, 635-647.

Germain, B., & Mazel, I. (2007). *La lecture au début du collège au début du collège. Éléments de réflexion*. Paris: Observatoire national de la lecture.

Gernsbacher, M. A. (1993). Less skilled readers have less efficient suppression mechanisms. *Psychological Sciences, 4*(5), 294-298.

Gernsbacher, M. A., & Faust, M. E. (1991). The mechanism of suppression: A component of general comprehension skill. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 17*(2), 245-262.

Gernsbacher, M. A., Varner, K. R., & Faust, M. E. (1990). Investigating differences in general comprehension skill. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 16*(3), 430-445.

Gillerot, Y. (1998). Aspects génétiques. In A. Van Hout & F. Etienne (Eds.), *Les dyslexies. Décrire, Evaluer, Expliquer, Traiter* (pp. 69-73). Paris: Masson.

Gillet, P., Billard, C., & Autret, A. (1996). Systèmes de mémoire et apprentissage de la lecture. In S. Carbonnel, P. Gillet, M. D. Martory & S. Valdois (Eds.), *Approche cognitive des troubles de la lecture et de l'écriture chez l'enfant et l'adulte* (pp. 113-135). Marseille: Solal,.

Gnys, J. A., & Grant-Willis, W. (1991). Validation of executive function tasks with young children. *Developmental Neuropsychology, 7*(4), 487-501.

Golder, C., & Gaonac'h, D. (1998). *Lire et comprendre. Psychologie de la lecture*. Paris: Hachette Éducation.

Gould, J. R., & Glencross, D. J. (1990). Do children with a specific reading disability have a general serial-ordering deficit? *Neuropsychologia, 28*, 271-278.

Grainger, J., Bouttevin, S., Truc, C., Bastien, M., & Ziegler, J. (2003). Word superiority, pseudoword superiority, and learning to read: A comparison of dyslexic and normal readers. *Brain and Language, 87*, 432-440.

Grainger, J., & Jacobs, A. M. (1999). Temporal integration of information in orthographic priming. *Visual Cognition, 6*(3/4), 461-492.

Habib, M. (2000). The Neurological basis of Developmental Dyslexia: An overview and working hypothesis. *Brain & Development, 123*, 2373-2399.

Habib, M. (2002). Bases neurologiques des troubles spécifiques d'apprentissage. *Réadaptation, 486*, 16-28.

Hansen, J., & Bowey, J. A. (1994). Phonological analysis skills, verbal working memory and reading ability in second-grade children. *Child Development, 65*, 938-950.

Harm, M. W., & Seidenberg, M. S. (2004). Computing the Meanings of Words in Reading: Cooperative Division of Labor Between Visual and Phonological Processes. *Psychological Review, 111*, 662-720.

Hasher, L., & Zacks, R. T. (1988). Working memory, comprehension, and aging: A review anda new view. In G. Bower (Ed.), *The psychology of learning and motivation* (Vol. 22, pp. 193-225). New York: Academic Press.

Hasher, L., Zacks, R. T., & May, C. P. (1999). Inhibitory control, circadian arousal, and age. In D. Gopher & A. Koriat (Eds.), *Attention and performance XVII: Cognitive regulation of performance: Interaction of theory and application* (pp. 653-675). Cambridge: MIT Press.

Hayes, J. R., & Flower, L. S. (1980). Identifying the organization of writing processes. In L. W. Gregg & E. R. Steinberg (Eds.), *Cognitive processes in writing* (pp. 3-30). Hillsdale: Lawrence Erlbaum.

Healy, A. F., & Cunningham, T. F. (1992). A developmental evaluation of the role of word shape in word recognition. *Memory and Cognition, 20*, 141–150.

Hecker, R., & Mapperson, B. (1997). Dissociation of visual and spatial processing in working memory. *Neuropsychologia, 35*(5), 599-603.

Hegarty, M., Shah, P., & Miyake, A. (2000). Constraints on using the dual-task methodology to specify the degree of central executive involvement in cognitive tasks. *Memory & Cognition, 28*(3), 376-385.

Hinshaw, S. P. (1992). Externalizing behavior problems and academic underachievement in childhood and adolescence: Causal relationships and underlying mechanisms. *Psychological Bulletin, 111*(1), 127-155.

Hitch, G. J., Woodin, M. E., & Baker, S. (1989). Visual and phonological components of working memory in children. *Memory and Cognition, 17*, 175-185.

Hoc, J.-M. (1987). *Psychologie cognitive de la planification*. Grenoble: Presses Universitaires de Grenoble.

Hoclet, E., Gronier, D., Joly-Pottuz, B., & Carbonnel, S. (2003). Test des six éléments chez vingt-quatre traumatisés crâniens en phase de réinsertion et fractionnement du Système Attentionnel Superviseur. *Revue de Neuropsychologie, 13*(2), 263-290.

Houdé, O. (2000). Inhibition and cognitive development: Object, number, categorization, and reasoning. *Cognitive Development, 15*, 63-73.

Hugdahl, K., & Heiervang, E. (2003). Structural and functional brain correlates of dyslexia: MRI and dichotic listening. In V. Csépe (Ed.), *Dyslexia: Different brain, different behavior* (pp. 173-188). Amsterdam: Kluwer Academic Publishers.

Huizinga, M., Dolan, C. V., & van der Molen, M. W. (2006). Age-related change in executive function: Developmental trends and a latent variable analysis. *Neuropsychologia, 44*, 2017-2036.

Hurks, P. P., Adam, J. J., & Hendriksen, J. G. (2005). Controlled visuomotor preparation deficits in Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder. *Neuropsychology, 19*(1), 66-76.

Jacoby, L. L. (1983). Perceptual enhancement: Persistent effects of an experience. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 9*(1), 21-38.

James, W. (1890). *The principles of psychology*. New York: Dover Publications.

Kane, M. J., Bleckley, M. K., Conway, A. R., & Engle, R. W. (2001). A controlled attention view of working-memory capacity. *Journal of Experimental Psychology: General, 130*(2), 169-183.

Kane, M. J., & Engle, R. W. (2000). Working-memory capacity, proactive interference, and divided attention: Limits on long-term memory retrieval. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition, 26*(2), 336-358.

Kane, M. J., & Engle, R. W. (2002). The role of prefrontal cortex in working-memory capacity, executive attention, and general fluid intelligence: An individual differences perspective. *Psychonomic Bulletin & Review, 9*, 637-671.

Kane, M. J., & Engle, R. W. (2003). Working-memory capacity and the control of attention: The contributions of goal neglect, response competition, and task set to Stroop interference. *Journal of Experimental Psychology: General, 132*(1), 47-70.

Katz, R. (1986). Phonological deficiencies in children with reading disability: Evidence from an object naming task. *Cognition, 22*, 225-257.

Katz, R. B., Shankweiler, D., & Liberman, I. Y. (1981). Memory for item order and phonetic recoding in the beginning reader. *Journal of Experimental Child Psychology, 32*, 474-484.

Kellogg, R. T. (1996). A model of working memory in writing. In C. M. Levy & S. Ransdell (Eds.), *The science of writing* (pp. 57-71). Mahwah: Lawrence Erlbaum.

Kibby, M. Y., Marks, W., Morgan, S., & Long, C. J. (2004). Specific Impairment in Developmental Reading Disabilities: A Working Memory Approach. *Journal of learning disabilities, 37*(4), 349-363.

Koechlin, E., Ody, C., & Kouneiher, F. (2003). The architecture of cognitive control in the human prefrontal cortex. *Science, 302*(5648), 1181-1185.

Kray, J., & Lindenberger, U. (2000). Adult age differences in task switching. *Psychology and Aging, 15*, 126-144.

Launay, C. (1952). Etude d'ensemble des inaptitudes à la lecture. *La semaine des hôpitaux de Paris, 35*, 1463-1474.

Leather, C., & Henry, L. A. (1994). Working memory span and phonological awareness tasks as predictors of early reading ability. *Journal of Experimental Child Psychology, 58*, 88 - 111.

Lechuga, M. T., Moreno, V., Pelegrina, S., Gómez-Ariza, C. J., & Bajo, M. T. (2006). Age differences in memory control: Evidence from updating and retrieval-practice tasks. *Acta Psychologica, 123*, 279-298.

Lehto, J. (1996). Are executive function tests dependent on working memory capacity? *The Quarterly Journal of Experimental Psychology, 49A*(1), 29-50.

Lehto, J., Juujärvi, P., Kooistra, L., & Pulkkinen, L. (2003). Dimensions of executive functioning: evidence from children. *British Journal of Developmental Psychology, 21*, 59-80.

Lemaire, P., Abdi, H., & Fayol, M. (1996). Working memory and cognitive arithmetic: Evidence from the disruption of the associative confusion effect. *European Journal of Cognitive Psychology, 8*, 73-103.

Lepine, R., Bernardin, S., & Barrouillet, P. (2005). Attention switching and working memory spans. *European Journal of Cognitive Psychology, 17*, 329-345.

Lesèvre, N. (1968). L'organisation du regard chez des enfants d'âge scolaire, lecteurs normaux et dyslexiques (Etude electro-oculographique). *Revue de Neuropsychiatrie Infantile, 16*(4), 323-349.

Liberman, A. M. (1973). Segmentation of the spoken word. *Bulletin of the Orton Society, 23*, 65-77.

Logie, R. H. (1986). Visuo-spatial processing in working memory. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology A: Human Experimental Psychology, 38A*(2), 229-247.

Logie, R. H., Cocchini, G., Della Sala, S., & Baddeley, A. D. (2004). Is there a specific executive capacity for dual task coordination? Evidence from Alzheimer's Disease. *Neuropsychology, 18*, 504-513.

Logie, R. H., & Pearson, D. G. (1997). The inner eye and the inner scribe of visuo-spatial working memory: Evidence from developmental fractionation. *European Journal of Cognitive Psychology, 9*(3), 241-257.

Lorusso, M. L., Facoetti, A., Pesenti, S., Cattaneo, C., Molteni, M., & Geiger, G. (2004). Wider recognition in peripheral vision common to different subtypes of dyslexia. *Vision Research, 44*, 2413–2424.

Luciana, M., Conklin, H. M., Hooper, C. J., & Yarger, R. S. (2005). The development of nonverbal working memory and executive control processes in Adolescents. *Child Development, 76*(3), 697-712.

Luciana, M., & Nelson, C. A. (1998). The functionnal emergence of prefrontally-guided working memory systems in four to eight year old children. *Neuropsychologia, 36*(3), 273-293.

Luna, B., Garver, K. E., Urban, T. A., Lazar, N. A., & Sweeney, J. A. (2004). Maturation of cognitive processes from late childhood to adulthood. *Child Development, 75*(5), 1357-1372.

Mann, V. A., & Liberman, I. Y. (1984). Phonological awareness and verbal short-term memory: Can they presage early reading problems? *Journal of Learning Disabilities, 17*, 592-599.

Marendaz, C., Valdois, S., & Walch, J. P. (1996). Dyslexie développementale et attention visuo-spatiale. *L'Année Psychologique, 96*, 193-224.

Marin, B., & Legros, D. (2008). *Psycholinguistique cognitive: Lecture, compréhension et production de texte*. Bruxelles: DeBoeck Université.

Mark, L. S., Shankweiler, D., Liberman, I. Y., & Fowler, C. A. (1977). Phonetic recoding and reading difficulty in beginning readers. *Memory and Cognition, 5*, 623-629.

Martinez, J. P. (2003). *Un dyslexique ou un mauvais lecteur, Le grand malentendu*. Montréal: Éditions Nouvelles.

Mason, D., Humphreys, G. W., & Kent, L. (2004). Visual search, singleton capture, and the control of attentional set in ADHD. *Cognitive Neuropsychology, 21*(6), 661 - 687.

May, C. P., Kane, M. J., & Hasher, L. (1995). Determinant of negative priming. *Psychological Bulletin, 118*, 35-54.

Mayes, S. D., Calhoun, S. L., & Crowell, E. W. (2001). Clinical Validity and Interpretation of the Gordon Diagnostic System in ADHD Assessments. *Child Neuropsychology, 7*(1), 32-41.

McClelland, J., & Rumelhart, D. (1981). An interactive activation model of context effects in letter perception: Part 1. An account of basic findings. *Psychological Review, 88*, 375-107.

McConkie, G. W., Kerr, P. W., Redix, M. D., Zola, D., & Jacobs, A. M. (1989). Eye movement control during reading: Frequency of refixating a word. *Perception & Psychophysics, 46*, 245-253.

McDowd, J. M., Oseas-Kreger, D. M., & Filion, D. L. (1995). Inhibitory processes in cognition and aging. In F. Dempster & C. Brainerd (Eds.), *Interference and inhibition in cognition* (pp. 363-400). San Diego: Academic Press.

Merrill, E. C., Sperber, R. D., & McCauley, C. (1981). Differences in semantic encoding as a function of reading comprehension skill. *Memory & Cognition, 9*(6), 618-624.

Miyake, A., Friedman, N. P., Emerson, M. J., Witzki, A. H., & Howerter, A. (2000). The unity an diversity of executive functions and their contributions to complex "frontal lobe" task: a latent variable analysis. *Cognitive Psychology, 41*, 49-100.

Miyake, A., & Shah, P. (1999). *Models of working memory: Mechanisms of active maintenance and executive control*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.

Montgomery, J. W. (2003). Working memory and comprehension in children with specific language impairment: what we know so far. *Journal of Communication Disorders, 36*, 221–231.

Moores, E. (2003). Attention deficits in dyslexia: Evidence for an automatisation deficit? *European Journal of Cognitive Psychology, 15*(3), 321-348.

Morais, J. (1994). *L'art de lire*. Paris: Odile Jacob.

Morais, J., Alegria, J., & Content, A. (1987). The relationships between segmental analysis and alphabetic literacy : an interactive view. *Cahiers de Psychologie Cognitive, 7*, 415-438.

Morais, J., Pierre, R., & Kolinsky, R. (2003). Du lecteur compétent au lecteur débutant : implications des recherches en psycholinguistique cognitive et en neuropsychologie pour l'enseignement de la lecture. *Revue des sciences de l'éducation, 29*(1), 51-74.

Morgan, W. P. (1896). A case of congenital word blindness. *The British Medical Journal, 2*, 1378.

Nation, K., Adams, J. W., Bower-Crane, C. A., & Snowling, M. J. (1999). Working memory deficits in poor comprehenders reflects underlying language impairments. *Journal of Experimental Child Psychology, 73*, 139-158.

Nation, K., & Snowling, M. (1998). Individual differences in contextual facilitation: Evidence from dyslexia and poor reading comprehension. *Child Development, 69*, 996-1011.

Nazir, T. A., Jacobs, A. M., & O'Regan, J. K. (1998). Letter legibility and visual word recognition. *Memory & Cognition, 26*(4), 810-821.

Netchine, S., Solomon, M., & Guihou, M. C. (1981). Processus fondamentaux en oeuvre dans la lecture et la compréhension du langage écrit: Composantes oculaires et céphaliques de l'organisation des déplacements du regard chez les jeunes lecteurs. *Psychologie française, 26*(2), 110-124.

Nicolson, R., & Fawcett, A. (1999). Developmental Dyslexia: The role of the cerebellum. *Dyslexia, 5*, 155-177.

Nigg, J. T. (2000). On inhibition/disinhibition in developmental psychopathology: Views from cognitive and personality psychology and a working inhibition taxonomy. *Psychological Bulletin, 126*, 220-246.

Nigg, J. T. (2003). Response inhibition and disruptive behaviors: Toward a multiprocess conception of etiological heterogeneity for ADHD combined type and conduct disorder early-onset type. In J. A. King, C. F. Ferris & I. Lederhendler (Eds.), *Roots of mental illness in children* (pp. 170-182). New York: New York Academy of Sciences.

Nigg, J. T., Hinshaw, S. P., Carte, E. T., & Treating, J. J. (1998). Neuropsychological correlates of childhood Attention-Deficit/ Hyperactivity Disorder: Explainable by comorbid disruptive behavior or reading problems? *Journal of Abnormal Psychology, 107*(3), 468-480.

Norman, D. A., & Shallice, T. (1980). *Attention to action: willed and automatic control of behaviour*. San Diego, University of California: CHIP 99.

Norman, D. A., & Shallice, T. (1984). Attention to action: Willed and automatic control of behavior. In R. J. Davidson, G. E. Schwarts & D. Shapiro (Eds.), *Consciousness and self-regulation. Advances in research and theory* (Vol. 4, pp. 1-18). New-York: Plenum Press.

Oades, R. D., & Christiansen, H. (2008). Cognitive switching processes in young people with attention-deficit/hyperactivity disorder. *Archives of Clinical Neuropsychology, 23*, 21-32.

Oakhill, J., Hartt, J., & Samols, D. (2005). Levels of comprehension monitoring and working memory in good and poor comprehenders. *Reading and Writing, 18*(7-9), 657-686.

Oakhill, J., Yuill, N. M., & Parkin, A. (1986). On the nature of the difference between skilled and less-skilled comprehenders. *Journal of Research in Reading, 9*, 80–91.

Oakhill, J. V. (1984). Inferential and memory skills in children's comprehension of stories. *British Journal of Educational Psychology, 54*, 31-39.

Observatoire national de la lecture. (1998). *Apprendre à lire*. Paris: Odile Jacob.

Olive, T., & Piolat, A. (2005). Le rôle de la mémoire de travail dans la production écrite de textes. *Psychologie française, 50*, 373-390.

Olive, T., Piolat, A., & Roussey, J.-Y. (1997). Effort cognitif et mobilisation des processus en production de texte : Effet de l'habileté rédactionnelle et du niveau de connaissances. In D. Mellier & A. Vam Hoffe (Eds.), *Attention et contrôle cognitif : Mécanismes, développement des habiletés, pathologies*. (pp. 71-85). Rouen: Publications de l'Université de Rouen.

O'Regan, J. K., Lévy-Schoen, A., Pynte, J., & Brugaillere, B. (1984). Convenient fixation location within isolated words of different lengths and structure. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 10*(2), 250-257.

Palladino, P., & Cornoldi, C. (2004). Working memory performance of Italian students with foreign language learning difficulties. *Learning and individual differences, 14*(3), 137-151.

Palladino, P., Cornoldi, C., De Beni, R., & Pazzaglia, F. (2001). Working memory and updating processes in reading comprehension. *Memory and Cognition, 29*(2), 344-354.

Palmer, S. (2000). Development of phonological recoding and literacy acquisition: A four-year cross-sequential study. *British Journal of Developmental Psychology, 18*, 533-555.

Palmer, S. (2000a). Development of phonological recoding and literacy acquisition: A four-year cross-sequential study. *British Journal of Developmental Psychology, 18*, 533-555.

Palmer, S. (2000b). Phonological recoding deficit in working memory of dyslexic teenagers. *Journal of Research in Reading, 23*(1), 28-40.

Parkin, A. J., & Lawrence, A. (1994). A dissociation in the relation between memory tasks and frontal lobe tests in the normal elderly. *Neuropsychologia, 32*(12).

Passingham, R. E. (1993). *The Frontal Lobes and Voluntary Action*. Oxford: Oxford University Press.

Passolunghi, M. C., Cornoldi, C., & De Liberto, S. (1999). Working memory and intrusions of irrelevant information in a group of specific poor problem solvers. *Memory & Cognition, 27*, 779-790.

Passolunghi, M. C., & Siegel, L., S. (2001). Short-term memory, working memory, and inhibitory control in children with difficulties in arithmetic problem solving. *Journal of Experimental Child Psychology, 80*, 44-57.

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

Pauchard, P. (1987). *Modalités de la coordination oculo-cephalogyre au cours de la lecture.* Unpublished Thèse de doctorat, Paris 5, Paris.

Paulesu, E., Démonet, J.-F., Fazio, F., McCrory, E., Chanoine, V., Brunswick, N., et al. (2001). Dyslexia: Cultural diversity and biological unity. *Science, 291*, 2165-2167.

Pavlidis, G. T. (1981). Do eye movements hold the key to dyslexia? *Neuropsychologia, 19*, 57-64.

Pennington, B. F. (2003). Understanding the comorbidity of dyslexia. *Annals of Dyslexia, 53*, 15-22.

Pennington, B. F., Groisser, D., & Welsh, M. C. (1993). Contrasting cognitive deficits in attention deficit hyperactivity disorder versus reading disability. *Developmental Psychology, 29*(3), 511-523.

Pennington, B. F., & Ozonoff, S. (1996). Executive functions and developmental psychopathology. *The Journal of child psychology and psychiatry, 37*(1), 51-87.

Perfetti, C. A., & Goldman, S. R. (1976). Discourse memory and reading comprehension skill. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior, 14*, 33-42.

Portrat, S., Camos, V., & Barrouillet, P. (sous presse). Working memory in children: A time-constrained functioning similar to adults. *Journal of Experimental Child Psychology*.

Posner, M. I. (1980). Orienting of attention. *Quarterly Journal of Experimental Psychology, 32*(1), 3-25.

Prado, C., Dubois, M., & Valdois, S. (2007). Eye movements in reading aloud and visual search in developmental dyslexia: impact of the VA span. *Vision Research, 47*, 2521-2530.

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 visuospatial chez des enfants de CE1 et de CM2. *Psychologie française, 53*, 307-326.

Purvis, K. L., & Tannock, R. (1997). Language abilities in children with attention deficit hyperactivity disorder, reading disabilities, and normal controls. *Journal of Abnormal Child Psychology, 25*(2), 133-144.

Rabbit, P. (1997). *Methodology of frontal and executive function*. Hove: Psychological Press.

Rack, J. P., Snowling, M. J., & Olson, R. K. (1992). The nonword reading deficit in developmental dyslexia: A review. *Reading Research Quarterly, 27*(1), 28-53.

Ramus, F. (2002). Dyslexie: la cognition en désordre ? *La Recherche Hors-Série, 9*, 66-68.

Rativeau, S., Zagar, D., Jourdain, C., & Colé, P. (1997). L'évaluation diagnostique de la lecture chez l'apprenti-lecteur. In C. Barré-De Miniac & B. Lété (Eds.), *L'illettrisme: de la prévention chez l'enfant aux stratégies de formation chez l'adulte* (pp. 161-179). Bruxelles: De Boeck.

Rayner, K., Liversedge, S. P., & White, S. J. (2006). Eye movements when reading disappearing text: The importance of the word to the right of fixation. *Vision Research, 46*(3), 310–323.

Rayner, K., Murphy, L. A., Henderson, J. M., & Pollatsek, A. (1989). Selective attentional dyslexia. *Cognitive Neuropsychology, 3*, 309-339.

Reader, M. J., Harris, E. L., Schuerholz, L. J., & Denckla, M. B. (1994). Attention deficit hyperactivity disorder and executive dysfunction. *Developmental Neuropsychology, 10*, 493-512.

Reimers, S., & Maylor, E. A. (2005). Task switching across the life span: Effects of age on general and specific switch costs. *Developmental Psychology, 41*(4), 661–671.

Reiter, A., Tucha, O., & Lange, K. W. (2005). Executive functions in children with dyslexia. *Dyslexia, 11*(2), 116-131.

Reynolds, R. E., Shepard, C., Kreek, C., Lapan, R., & Goetz, E. T. (1990). Differences in the use of selective attention by more successful and less successful tenth-grade readers. *Journal of Educational Psychology, 82*(4), 749-759.

Richard, J.-F. (1995). *Les activités mentales : comprendre, raisonner, trouver des solutions*. Paris: Armand Colin.

Richard, J.-F. (2004, 4ème édition). *Les activités mentales : comprendre, raisonner, trouver des solutions.* Paris: Armand Colin.

Roberts, R. J., Hager, L. D., & Heron, C. (1994). Prefrontal cognitive processes: working memory and inhibition in the antisaccade task. *Journal of Experimental Psychology: General, 123*(4), 374-393.

Rodgers, B. (1983). The identification and prevalence of specific reading retardation. *British Journal of Educational Psychology, 51*, 369-373.

Roebers, C. M., & Schneider, W. (2005). Individual differences in young children's suggestibility: Relations to event memory, language abilities, working memory, and executive functioning. *Cognitive Development, 20*, 427-447.

Rogers, R. D., & Monsell, S. (1995). Costs of a predictable switch between simple cognitive tasks. *Journal of Experimental Psychology: General, 124*(2), 207-231.

Rosen, V. M., & Engle, R. W. (1997). The role of working memory capacity in retrieval. *Journal of Experimental Psychology: General, 126*(3), 211-227.

Rothbart, M. K. (1988). Temperament and the development of inhibited approach. *Child Development, 59*(5), 1241-1250.

Roucoux, A., Culée, C., & Roucoux, M. (1983). Development of fixation and pursuit eye movements in human infants. *Behavioural Brain Research, 10*(1), 133-139.

Rucklidge, J. J., & Tannock, R. (2002). Neuropsychological profiles of adolescents with ADHD: effects of reading difficulties and gender. *Journal of Child Psychology and Psychiatry, 43*(8), 988–1003.

Savage, R., Lavers, N., & Pillay, V. (2007). Working memory and reading difficulties: What we know and what we don't know about the relationship. *Educational Psychology Review, 19*, 185-221.

Scarborough, H. S. (1998). Predicting the future achievement of second graders with reading disabilities: Contributions of phonemic awareness, verbal memory, rapid naming, and IQ. *Annals of Dyslexia, 48*, 114-136.

Schaffer, H. R. (1984). The child's entry into a social world. *Behavioural Development: A Series of Monographs*, 236.

Seidenberg, M. S., & McClelland, J. L. (1989). A Distributed, developmental model of word recognition and naming. *Psychological Review, 96*, 523-568.

Seigneuric, A., Ehrlich, M. F., Oakhill, J. V., & Yuill, N. M. (2000). Working memory resources and children's reading comprehension. *Reading and Writing, 13*, 81-103.

Seigneuric, A., & Megherbib, H. (2008). Capacité de mémoire de travail et traitement du pronom chez l'enfant. *Psychologie française*.

Seron, X., Van der Linden, M., & Andrés, P. (1999). Le lobe frontal : à la recherche de ses spécificités fonctionnelles. In M. Van der Linden, X. Seron, D. Le Gall & P. Andrès (Eds.), *Neuropsychologie des lobes frontaux* (pp. 33-88). Marseille: Solal.

Seymour, P. H. K., Aro, M., & Erskine, J. M. (2003). Foundation literacy acquisition in European orthographies. *British Journal of Psychology, 94*(2), 143-174.

Shah, P., & Miyake, A. (1996). The separability of working memory resources for spatial thinking and language processing: An individual differences approach. *Journal of Experimental Psychology: General, 125*, 4-27.

Shallice, P. W., & Burgess, P. W. (1991). Deficits in strategy application following frontal lobe damage in man. *Brain & Development, 114*, 727-741.

Shankweiler, D. (1999). Words to meanings. *Scientific Studies of Reading, 3*, 113-127.

Shankweiler, D., Crain, S., Katz, R. B., Fowler, C. A., Liberman, A. M., Brady, S., et al. (1995). Cognitive profiles of reading-disabled children: Comparaison of language skills in phonology, morphology, and syntax. *Psychological Science, 6*, 149-156.

Shaywitz, S. E., Escobar, M. D., Shaywitz, B. A., Fletcher, J. M., & Makuch, R. (1992). Evidence that dyslexia may represent the lower tail of the normal distribution of reading ability. *New England Journal of Medicine, 326*, 145-150.

Shaywitz, S. E., Fletcher, J. M., & Shaywitz, B. A. (1994). Issues in the definition and classification of attention deficit disorder. *Topics in Language Disorders, 14*(4), 1-25.

Shaywitz, S. E., Shaywitz, B. A., Fletcher, J. M., & Escobar, M. D. (1990). Prevalence of reading disability in boys and girls: Results of the Connecticut Longitudinal Study. *Journal of the American Medical Association, 264*, 998-1002.

Shute, G. E., & Huertas, V. (1990). Developmental variability in frontal lobe function. *Developmental neuropsychology, 1*, 1-11.

Siegel, L. S., & Ryan, E. B. (1989). The development of working memory in normally achieving and subtypes of learning disabled children. *Child Development, 60*, 973-980.

Silva, P. A., McGee, R., & Williams, S. (1985). Some characteristics of 9-year-old boys with general reading backwardness or specific reading retardation. *Journal of Child Psychology and Psychiatry, 26*, 407-421.

Smith, E. E., Jonides, J., Koepper, R. A., Awh, E., Schumacher, E. H., & Minoshima, S. (1995). Spatial versus object working memory: pet investigations. *Journal of cognitive neuroscience, 7*(3), 337-356.

Smith-Spark, J. H., & Fisk, J. E. (2007). Working memory functioning in developmental dyslexia. *Memory, 15*(1), 34 - 56.

Smith-Spark, J. H., Fisk, J. E., Fawcett, A. J., & Nicolson, R. I. (2003). Investigating the central executive in adult dyslexics: Evidence from phonological and visuospatial

working memory performance. *European Journal of Cognitive Psychology, 15*(4), 567-587.

Sparrow, L. (2005). Etude des mouvements oculaires chez les sujets dyslexiques adultes. In Y. Coello, S. Casalis & C. Moroni (Eds.), *Vision, espace et cognition : fonctionnement normal et pathologique* (pp. 199-210). Villeneuve d'Ascq: Les Presses Universitaires du Septentrion.

Spikman, J. M., van Zomeren, A. H., & Deelman, B. G. (1996). Deficits of attention after closed-head injury: slowness only? *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology, 18*, 755–767.

Sprenger-Charolles, L., Béchennec, D., & Lacert, P. (1998). Place et rôle de la médiation phonologique dans l'acquisition de la lecture/écriture en français. *Revue Française de pédagogie,, 122*, 51-67.

Sprenger-Charolles, L., & Colé, P. (2003). *Lecture et dyslexie. Approche cognitive*. Paris: Dunod.

Sprenger-Charolles, L., Colé, P., Béchennec, D., & Kipffer-Piquard, A. (2005). French normative data on reading and related skills from EVALEC, a new computerized battery of tests (end Grade 1, Grade 2, Grade 3, and Grade 4) / Lecture et compétences reliées : données normatives pour la fin de la 1re, 2nde, 3e et 4e année du primaire issues d'une nouvelle batterie de tests, EVALEC. *Revue européenne de psychologie appliquée, 55*, 157–186.

Sprenger-Charolles, L., Colé, P., Lacert, P., & Serniclaes, W. (2000). On subtypes of developmental dyslexia: evidence from processing time and accuracy scores. *Canadian Journal of Experimental Psychology, 54*(2), 87-103.

Stablum, F., Leonardi, G., Mazzoldi, M., Ulmita, C., & Morra, S. (1994). Attention and control deficits following closed head injury. *Cortex, 30*, 603-618.

Stanovich, K. E., & Siegel, L. S. (1994). Phenotypic performance profiles of children with reading disabilities: A regression-based test of the phonological-core variable-difference model. *Journal of Educational Psychology, 86*, 24-53.

Swan, D., & Goswami, U. (1997). Phonological awareness deficits in developmental dyslexia and the phonological representations hypothesis. *journal of Experimental Child Psychology, 66*, 18-41.

Swanson, H. L. (1993). Individual differences in working memory: A model testing and subgroup analysis of learning-disabled and skilled readers. *Intelligence, 17*, 285-332.

Swanson, H. L. (1999). Reading comprehension and working memory in learning-disabled readers : is the phonological loop more important than the executive System? *Journal of Experimental Child Psychology, 72*, 1-31.

Swanson, H. L. (2003). Age-related differences in learning disabled and skilled readers' working memory. *Journal of Experimental Child Psychology, 85*, 1-31.

Swanson, H. L., & Ashbaker, M. H. (2000). Working memory, short-term memory, speech rate, word recognition and reading comprehension in learning disabled readers: does the executive system have a role? *Intelligence, 28*(1), 1-30.

Swanson, H. L., Ashbaker, M. H., & Lee, C. (1996). Learning-disabled readers' working memory as a function of processing demands. *Journal of Experimental Child Psychology, 61*, 242-275.

Swanson, H. L., & Berninger, V. (1995). The role of working memory in skilled and less skilled readers' comprehension. *Intelligence, 21*, 83-108.

Swanson, H. L., & Howell, M. (2001). Working memory, short-term memory, and speech rate as predictors of children's reading performance at different ages. *Journal of Educational Psychology, 93*, 720-734.

Swanson, H. L., & Jerman, O. (2007). The influence of working memory on reading growth in subgroups of children with reading disabilities. *Journal of Experimental Child Psychology, 96*, 249–283.

Swanson, H. L., & Kim, K. (2007). Working memory, short-term memory, and naming speed as predictors of children's mathematical performance. *Intelligence, 35*, 151-168.

Swanson, H. L., Mink, J., & Bocian, M. (1999). Cognitive processing deficits in poor readers with symptoms of reading disabilities and ADHD: More alike than different? *Journal of Educational Psychology, 91*(2), 321-333.

Swanson, H. L., & Sachse-Lee, C. (2001). Mathematical problem solving and working memory in children with learning disabilities: Both executive and phonological processes are important. *Journal of Experimental Child Psychology, 79*(3), 294-321.

Sylvester, C.-Y., Wager, T., Lacey, S., Hernandez, L., Nichols, T., Smith, E., et al. (2003). Switching attention and resolving interference: fMRI measures of executive functions. *Neuropsychologia, 41*, 357-370.

Tannock, R. (1998). Attention Deficit Hyperactivity Disorder: Advances in cognitive, neurobiological, and genetic research. *Journal of Child Psychology and Psychiatry, 39*(1), 65-99.

Tannock, R., Martinussen, R., & Frijters, J. (2000). Naming speed performance and stimulant effects indicate effortful, semantic processing deficits in Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder. *Journal of Abnormal Child Psychology, 28*(3), 237–252.

Tinker, M. A. (1958). Recent studies of eye movements in reading. *Psychological Bulletin, 55*(4), 215-231.

Towse, J. N., Hitch, G. J., & Hutton, U. (1998). A reevaluation of working memory capacity in children. *Journal of Memory and Language, 39*, 195-217.

Turner, M. L., & Engle, R. W. (1989). Is working memory span task dependent? *Journal of Memory and Language, 28*, 127-154.

Valdois, S. (2000). Pathologies développementales de l'écrit. In M. Kail & M. Fayol (Eds.), *L'acquisition du langage. Le langage en développement. Au-delà de trois ans* (pp. 247-278). Paris: Presses Universitaires de France.

Valdois, S. (2001). Neuropsychologie Cognitive: des pathologies acquises aux pathologies développementales. In F. Eustache, B. Le chevalier & F. Viader (Eds.), *Les méthodes en neuropsychologie* (pp. 237-254). Bruxelles: De Boeck.

Valdois, S. (2003, 4-5 décembre). *Les élèves en diffiucltés d'apprentissage de la lecture.* Paper presented at the Conférence de concensus sur l'enseignement de la lecture à l'école primaire, Paris.

Valdois, S. (2005). Traitements visuels et dyslexies développementales. In C. Hommet, I. Jambaque, C. Billard & P. Gillet (Eds.), *Neuropsychologie de l'enfant et troubles du développement*. Marseille: Editions Solal.

Valdois, S., Bosse, M. L., Ans, B., Zorman, M., Carbonnel, S., David, D., et al. (2003). Phonological and visual processing deficits are dissociated in developmental dyslexia: Evidence from two case studies. *Reading and writing, 16*, 693-716.

Valdois, S., Bosse, M.-L., & Tainturier, M.-J. (2004). The cognitive deficits responsible for developmental dyslexia: Review of evidence for a visual attentional deficit hypothesis. *Dyslexia, 10*, 339-363.

Van der Linden, M., Coyette, F., & Seron, X. (1992). Selective impairment of the 'central executive' component of working memory: A single case study. *Cognitive Neuropsychology, 9*(4), 301-326.

Van der Sluis, S., de Jong, P. F., & van der Leij, A. (2004). Inhibition and shifting in children with learning deficits in arithmetic and reading. *Journal of Experimental Child Psychology, 87*, 239-266.

Van der Wissel, A., & Zegers, F. E. (1985). Reading retardation revisited. *British Journal of Developmental Psychology, 3*, 3-9.

Vellutino, F. R., Fletcher, J. M., Snowling, M. J., & Scanlon, D. M. (2004). Specific reading disability (dyslexia): what have we learned in the past four decades? *Journal of Child Psychology & Psychiat, 45*(1), 2-40.

Vellutino, F. R., Scanlon, D. M., Sipay, E., Small, S., Pratt, A., Chen, R., et al. (1996). Cognitive profiles of difficult-to-remediate and readily remediated poor readers: Early intervention as a vehicle for distinguishing between cognitive and experiential deficits as basic causes of specific reading disability. *Journal of Educational Psychology, 88*, 601-638.

Verté, S., Geurts, H. M., Roeyers, H., Oosterlaan, J., & Sergeant, J. (2006). The relationship of working memory, inhibition, and response variability in child psychopathology. *Journal of Neuroscience Methods, 151*(1), 5-14.

Veuillet, E., Magnan, A., & Ecalle, J. (2004). Déficits auditifs et capacités en lecture chez les enfants dyslexiques : effet d'un entraînement audio-visuel. *Revue de Neuropsychologie, 14*(1-2), 103-132.

Visser, T., Boden, C., & Giaschi, D. (2004). Children with dyslexia: evidence for visual attention deficits in perception of rapid sequences of objects. *Vision Research, 44*, 2521-2535.

Visu-Petra, L., Benga, O., & Miclea, M. (2007)). Dimensions of attention and executive functioning in 5- to 12-years-old children: Neuropsychological assessment with the NEPSY battery. *Cognition, Brain, Behavior, 11*(3), 539-553.

Wadsworth, S., DeFries, J. C., Stevenson, J. C., Gilger, J. W., & Pennington, B. F. (1992). Gender ratios among reading-disabled children and their siblings as a function of parental impairment. *Journal of Child Psychology and Psychiatry and Allied Disciplines, 33*(7), 1229-1239.

Welsh, M. C., Pennington, B. F., & Groisser, D. (1991). A normative-developmental study of executive function : a window on prefrontal function in children. *Developmental neuropsychology, 7*(2), 131-149.

Willcutt, E. G., & Pennington, B. F. (2000). Comorbidity of reading disability and Attention-Deficit/Hyperactivity Disorders: differences by genders and subtype. *Journal of learning disabilities, 33*(2), 179-191.

Willcutt, E. G., Pennington, B. F., Boada, R., Ogline, J. S., Tunick, R. A., Chhabildas, N. A., et al. (2001). A comparison of the cognitive deficits in reading disability and attention-deficit/hyperactivity disorder. *Journal of abnormal psychology, 110*(1), 157-172.

Willcutt, E. G., Pennington, B. F., Olson, R. K., Chhabildas, N. A., & Hulslander, J. (2005). Neuropsychological analyses of comorbidity between reading disability and Attention Deficit Hyperactivity Disorder: In search of the common deficit. *Developmental Neuropsychology, 27*(1), 35–78.

Willcutt, E. G., Pennington, B. F., Olson , R. K., & DeFries, J. C. (2007). Understanding comorbidity: A twin study of reading disability and attention-deficit/hyperactivity disorder. *American Journal of Medical Genetics: Neuropsychiatric Genetics, 144B*(6), 709-714.

Wolf, M., & Bowers, P. G. (1999). The double-deficit hypothesis for developmental dyslexias. *Journal of Educational Psychology, 91*, 415-438.

Wolf, M., Goldberg O'Rourke, A., Gidney, C., Lovett, M., Cirino, P., & Morris, R. (2002). The second deficit: An investigation of the independence of phonological and naming-speed deficits in developmental dyslexia. *Reading and Writing, 15*, 43-72.

Wu, K. K., Anderson, V., & Castiello, U. (2002). Neuropsychological evaluation of deficits in executive functioning for ADHD children with or without learning disabilities. *Developmental neuropsychology, 22*(2), 501–531.

Yuill, N., Oakhill, J., & Parkin, A. (1989). Working memory, comprehension ability and theresolution of text anomaly. *British Journal of Psychology, 80*, 351-361.

Zentall, S. (1990). Fact-retrieval automatization and math problem solving by learning disabled, attention-disordered, and normal adolescents. *Journal of Educational Psychology, 82*(4), 856-865.

Index des figures

Figure 1 : Structure de la thèse..... 20
Figure 2 : nous sommes capables de reconnaître la lettre « B » dans toutes les circonstances, alors qu'elle peut revêtir des formes totalement différentes de la lettre « B ». 26
Figure 3 : Modèle de MdT de Baddeley (2000)..... 58
Figure 4 : Représentation du modèle de Cowan (1995, notre traduction). 66
Figure 5 : « Théorie des deux facteurs du contrôle cognitif », Engle et Kane en 2004 69
Figure 6 **:** Diagramme indiquant les résultats de l'analyse confirmatoire et précisant les tâches utilisées pour représenter chacun des facteurs latents (*shifting, updating, inhibition*). Miyake et al. (2000, p.70) 84
Figure 7 : Exemples d'items 2D et 3D apparaissant dans les tableaux de rappel 109
Figure 9 : Représentation schématique des facteurs susceptibles d'intervenir sur les difficultés d'apprentissage de la lecture 116
Figure 10 : Dispositif expérimental inspiré de l'étude de Ballaz et al. (1999). 123
Figure 11 : Dispositif expérimental pour la tâche d'alternance 126
Figures 12a et 12b : Illustration d'un essai composé de trois suites 128
Figure 13 : Pourcentages d'erreurs aux tâches de CI classique, CI avec alternance et CI avec mise à jour en fonction de la Présentation (graphème, syllabe) pour chaque groupe de lecteurs. 132
Figure 14 : Temps de réponse (ms) aux tâches de CI classique, CI avec alternance et CI avec mise à jour en fonction de la Présentation (graphème, syllabe) pour chaque groupe 135
Figures 15a (verbal) et 15b (non verbal) : Nombre de suites correctement mémorisées par les lecteurs en fonction de nombre d'items à traiter et à mémoriser. 138
Figure 16 : Pourcentages d'erreurs aux tâches de CI classique, CI avec alternance et CI avec mise à jour en fonction de la Présentation (syllabe, symbole) pour chaque groupe de lecteurs. 142
Figure 17 : Temps de réaction (ms) selon le type de condition (contrôle, alternance, mise à jour) en présentation verbale et non verbale pour chaque groupe de lecteurs..... 144
Figure 18 : Dispositif expérimental de la tâche d'alternance couleur-sémantique..... 164
Figure 19 : Dispositif expérimental pour la tâche d'alternance mots 165
Figure 21 : Dispositif expérimental de la tâche d'alternance formes 167

Figure 22 : Dispositif expérimental pour la tâche d'alternance spatiale 168
Figure 23 : Temps de réponse à la tâche « sémantique » pour chaque groupe en fonction du type de réponses (couleur ou catégorisation sémantique) et de la condition (répétition ou alternance) 176
Figure 24 : Temps de réponse à la tâche « sémantique » pour chaque groupe en fonction du type de réponses (couleur ou catégorisation sémantique) et de la condition (répétition ou alternance) 177
Figure 25 : Temps de réponse à la tâche « sémantique » pour chaque groupe en fonction du type de réponses (couleur ou catégorisation sémantique) et de la condition (répétition ou alternance) 177
Figure 26 : Temps de réponse à la tâche « décodage mots » pour chaque groupe en fonction du type de réponses (couleur ou casse) et de la condition (répétition ou alternance) 178
Figure 27 : Temps de réponse à la tâche « décodage mots » pour chaque groupe en fonction du type de réponses (couleur ou casse) et de la condition (répétition ou alternance) 179
Figure 28 : Temps de réponse à la tâche « décodage mots » pour chaque groupe en fonction du type de réponses (couleur ou casse) et de la condition (répétition ou alternance) 179
Figure 29 : Temps de réponse à la tâche « symboles » pour chaque groupe en fonction du type de réponses (couleur ou casse) et de la condition (répétition ou alternance). 180
Figure 30 : Temps de réponse à la tâche « décodage symboles » pour chaque groupe en fonction du type de réponses (couleur ou casse) et de la condition (répétition ou alternance). 181
Figure 31 : Temps de réponse à la tâche « décodage symboles » pour chaque groupe en fonction du type de réponses (couleur ou casse) et de la condition (répétition ou alternance). 182
Figure 32 : Temps de réponse à la tâche « formes » pour chaque groupe en fonction du type de réponses (couleur ou forme) et de la condition (répétition ou alternance) 183
Figure 33 : Temps de réponse à la tâche « formes » pour chaque groupe en fonction du type de réponses (couleur ou forme) et de la condition (répétition ou alternance). 183
Figure 34 : Temps de réponse à la tâche « formes » pour chaque groupe en fonction du type de réponses (couleur ou forme) et de la condition (répétition ou alternance) 184

Figure 35 : Temps de réponse à la tâche « spatiale » pour chaque groupe en fonction du type de réponses (couleur ou position) et de la condition (répétition ou alternance)..... 184
Figure 36 : Temps de réponse à la tâche « spatiale » pour chaque groupe en fonction du type de réponses (couleur ou position) et de la condition (répétition ou alternance)..... 185
Figure 37 : Temps de réponse à la tâche « spatiale » pour chaque groupe en fonction du type de réponses (couleur ou position) et de la condition (répétition ou alternance)..... 186
Figure 38 : Illustration d'un essai pour les tâches contrôle de PS et AS. 209
Figure 39 : Illustration d'un essai pour la tâche de PS+mise à jour..... 210
Figure 40 : Illustration d'un essai pour la tâche d'AS+mise à jour 211

Index des tableaux

Tableau 1 : *Caractéristiques moyennes des deux groupes de lecteurs (écarts-types entre parenthèses).* 123
Tableau 2 : *Conditions expérimentales pour les tâches utilisant la syllabe et le graphème.* 125
Tableau 3: *Items présentés aux tâches de MdT verbale et non verbale* 128
Tableau 4 : *Récapitulatif des résultats de l'analyse de variance aux trois tâches de CI verbales (erreurs)* 132
Tableau 5 *: Récapitulatif des résultats de l'analyse de variance aux tâches de CI classique et alternance verbales (erreurs)* 133
Tableau 6 : *Récapitulatif des résultats de l'analyse de variance aux tâches de CI classique et mise à jour verbales (erreurs)* 133
Tableau 7 *: Récapitulatif des résultats de l'analyse de variance aux trois tâches de CI verbales (temps de réponse)* 134
Tableau 8 : *Récapitulatif des résultats de l'analyse de variance aux tâches de CI classique et alternance verbales (temps de réponse)* 135
Tableau 9 : Récapitulatif des résultats de l'analyse de variance aux tâches de CI classique et mise à jour verbales (temps de réponse) 136
Tableau 10 : *Récapitulatif des résultats de l'analyse de variance aux tâches de MdT verbales et non verbales* 137
Tableau 11 : *Nombre moyen d'items rappelés (sur 4) de chacun des groupes de lecteurs aux tâches de MdT verbale et non verbale (les indications entre parenthèse correspondent aux écarts-types)* 139
Tableau 12 : *Récapitulatif des résultats de l'analyse de variance aux tâches de MdT verbales* 139
Tableau 13 : *Récapitulatif des résultats de l'analyse de variance aux tâches de MdT non verbales* 140
Tableau 14 *: Récapitulatif des résultats de l'analyse de variance aux trois tâches de CI verbales et non verbales (erreurs)* 142
Tableau 15 : *Récapitulatif des résultats de l'analyse de variance aux tâches de CI classique et alternance verbales et non verbales (erreurs)* 143
Tableau 16 : *Récapitulatif des résultats de l'analyse de variance aux trois tâches de CI verbales et non verbales (temps de réponse)* 144

Tableau 17 : *Récapitulatif des résultats de l'analyse de variance aux tâches de CI classique et alternance verbales et non verbales (temps de réponse)* 145
Tableau 18 : *Récapitulatif des résultats de l'analyse de variance aux tâches de CI classique et mise à jour verbales et non verbales (temps de réponse)* 146
Tableaux 19a et 19b: *Coefficients de corrélation entre les différentes épreuves préalables et les épreuves de CE et de MdT. Pour la présentation verbale (1a) puis pour la présentation non verbale (1b)* 148
Tableau 20 : *Coefficients de corrélation entre les différentes mesures verbales de MdT, de CE et l'âge lexique* 149
Tableau 21 : *Coefficients de corrélation entre les différentes mesures non verbales de MdT, de CE et l'âge lexique* 149
Tableau 22 : *Contribution spécifique des différentes mesures de CE et de MdT verbale et non verbale aux capacités de décodage après contrôle du niveau en vocabulaire.* 152
Tableau 23 : *Caractéristiques des groupes de différents Niveaux en lecture constitués* .. 162
Tableau 24 : *Tableau récapitulatif des effets pour les temps de réponse et les erreurs pour les enfants de CE1 et de CM1 indépendamment du niveau en lecture (écarts-types entre parenthèses)* 170
Tableau 25 : *Effets d'ordre* 171
Tableau 26 : E*ffets de renforcement* 172
Tableau 27 : *Scores obtenus aux épreuves préalables pour chaque groupe de lecteurs et résultats des analyses de variance* 173
Tableau 28 *: Tableau synoptique des effets pour les temps de réponse pour chaque comparaison (analyse de variance selon le plan S14<N2>*C2*R2)* 186
Tableau 29 : *Tableau synoptique des effets pour le pourcentage d'erreurs pour chaque comparaison. (analyse de variance selon le plan S<N2>*C2*R2)* 189
Tableau 30 : *Coefficients de corrélation entre les différentes mesures verbales de MdT, de CE et l'âge lexique. Résultats pour les enfants de CE1* 192
Tableau 31 : *Coefficients de corrélation entre les différentes mesures verbales de MdT, de CE et l'âge lexique. Résultats pour les enfants de CM1* 192
Tableau 32 : *Coefficients de corrélation entre les différentes mesures non verbales de MdT, de CE et l'âge lexique. Résultats pour les enfants de CE1* 193
Tableau 33 : *Coefficients de corrélation entre les différentes mesures non verbales de MdT, de CE et l'âge lexique. Résultats pour les enfants de CM1* 193

Tableau 34 : *Contribution spécifique des différentes mesures préalables aux capacités de décodage (aspects verbaux et non verbaux)* 196
Tableau 35 : *Contribution spécifique des tâches d'alternance verbales aux capacités de décodage après contrôle du niveau en vocabulaire et de segmentation phonémique, de l'empan en MdT et de l'âge.* 198
Tableau 36 : *Contribution spécifique des tâches d'alternance non verbales aux capacités de décodage après contrôle du niveau en vocabulaire et de segmentation phonémique, de l'empan en MdT et de l'âge.* 200
Tableau 37 : *Caractéristiques moyennes de la population (écarts-types entre parenthèses).* 208
Tableau 38 : *Scores obtenus aux épreuves préalables et corrélations avec le niveau en lecture* 213
Tableau 39 : *Pourcentage de réponses correctes aux tâches de mise à jour dans les épreuves de pro-saccades et d'anti-saccades.* 214
Tableau 40 : *Récapitulatif des résultats de l'analyse de variance pour les temps de latence* 215
Tableau 41 : *Temps de latence globaux obtenus aux quatre épreuves de pro-saccades et d'anti-saccades et corrélations avec le niveau en lecture* 215
Tableau 42 : *Récapitulatif des résultats de l'analyse de variance pour le pourcentage d'erreurs* 216
Tableau 43 : *Pourcentages d'erreurs globaux obtenus aux quatre épreuves de pro-saccades et d'anti-saccades et corrélations avec le niveau en lecture* 217
Tableau 44 : *Temps de latence globaux obtenus aux épreuves de pro-saccades + mise à jour et d'anti-saccades + mise à jour en fonction du nombre d'items à mémoriser et corrélations avec le niveau en lecture* 218

Annexes

Table des matières des annexes

ANNEXE 1 : LETTRE AUX PARENTS 264

ANNEXE 2 : DETAIL DU MATERIEL UTILISE DANS LES TACHES PREALABLES 265

.1 L'ALOUETTE 265
.2 L2MA (DECODAGE EN LECTURE) 266
.3 COMPREHENSION (AUBRET-BLANCHARD) 267
.4 RAISONNEMENT (NNAT) 270
.5 VOCABULAIRE 271
.6 CONSIGNES DES DIFFERENTES EPREUVES PREALABLES 273

ANNEXE 3 : DETAIL DU MATERIEL UTILISE DANS LES TACHES DE CONJONCTIONS ILLUSOIRES 274

.1 TACHE DE CI CLASSIQUE 274
.2 TACHES DE CI METTANT EN JEU DES COMPOSANTES EXECUTIVES 276
.3 CONSIGNES DES DIFFERENTES EPREUVES DE CI 278

ANNEXE 4 : DETAIL DU MATERIEL UTILISE DANS LES TACHES DE MDT 279

.1 ITEMS UTILISES 279
.2 CONSIGNES POUR LES TACHES DE MDT 281

ANNEXE 5 : DETAIL DU MATERIEL UTILISE DANS L'ETUDE 2 282

.1 TACHE DE SEGMENTATION PHONEMIQUE 282
.2 TACHE D'ALTERNANCE SEMANTIQUE 283
.3 TACHES D'ALTERNANCE MOTS ET SYMBOLES 285
.4 TACHE D'ALTERNANCE FORMES 286
.5 TACHE D'ALTERNANCE-SPATIALE 287
.6 CONSIGNES DES DIFFERENTES TACHES D'ALTERNANCE DE L'ETUDE 2 288

ANNEXE 6 : DETAIL DU MATERIEL UTILISE DANS L'ETUDE 3 291

.1 COURRIER ENVOYE AUX PARTICIPANTS 291
.2 CALIBRAGE DU SYSTEME DE POURSUITE OCULAIRE 292
.3 REPRESENTATION SCHEMATIQUE ET ILLUSTRATION DU DISPOSITIF 293
.4 PRETEST DE L'ETUDE 3 294
.5 IMAGES UTILISEES DANS L'ETUDE 3 295
.6 CONSIGNES DES DIFFERENTES TACHES D'ALTERNANCE DE L'ETUDE 3 297
.7 MODALITES DE CALCUL DES TEMPS DE LATENCE ET DES ERREURS A LA TACHE DE SUIVI OCULAIRE 298

ANNEXE 7 : RÉSULTATS POUR L'ÉTUDE 1 299

.1 SCORES BRUTS 299
.2 TABLEAUX RECAPITULATIFS DES EFFETS POUR L'ETUDE 1 303

ANNEXE 8 : RESULTATS POUR L'ETUDE 2 305

.1 SCORES BRUTS 305
.2 TABLEAUX RECAPITULATIFS DES EFFETS POUR L'ETUDE 2 313
.3 DETAIL DES ANALYSES DES CORRELATIONS POUR L'ETUDE 2 315
.4 ANNEXE : DETAIL DES ANALYSES DE REGRESSIONS POUR L'ETUDE 2 317

ANNEXE 9 : DES RESULTATS POUR L'ETUDE 3 320

.1 SCORES BRUTS 320
.2 NUAGES DE POINTS AUX EPREUVES DE PRO-SACCADES ET ANTI-SACCADES (SCORES COMPOSITES) 324
.3 TEMPS DE LATENCE ET POURCENTAGE D'ERREURS AUX EPREUVES DE MISE A JOUR 325

ANNEXE 1 : LETTRE AUX PARENTS

Université d'Angers
UFR : Lettres, langues et Sciences Humaines
11, boulevard Lavoisier

Angers, le 08 janvier 2005

Madame, Monsieur,

Je suis étudiante en première année de doctorat à l'Université d'Angers. Je réalise une étude qui a pour objectif de déterminer le rôle de la mémoire dans l'acquisition de la lecture. La réalisation de cette recherche nécessite le concours de plusieurs classes primaires. C'est la raison pour laquelle je vous demande l'autorisation de rencontrer les élèves de CE2 de votre établissement.

Les passations consisteront en une rencontre collective d'une heure, puis de deux rencontres individuelles d'1/2 heure chacune où les élèves réaliseront une série de courts exercices présentés sur ordinateur.
Les données recueillies resteront confidentielles et préserveront l'anonymat des enfants. En effet, il ne s'agit pas d'évaluer les capacités individuelles des élèves mais de comparer les performances en fonction du niveau de lecture. Ces observations seront menées en respectant les demandes des enseignants et après l'accord des parents et le consentement des enfants.

Je reste à votre disposition pour toutes informations complémentaires ou pour tout entretien que vous voudrez bien m'accorder. Je vous remercie par avance et vous prie de croire, Madame la Directrice, Monsieur le Directeur, en l'assurance de ma considération.

Laëtitia BOULC'H

Je soussigné(e) Madame…… ……
Monsieur……..

Parent(s) de l'enfant……...
Scolarisé à l'école……..

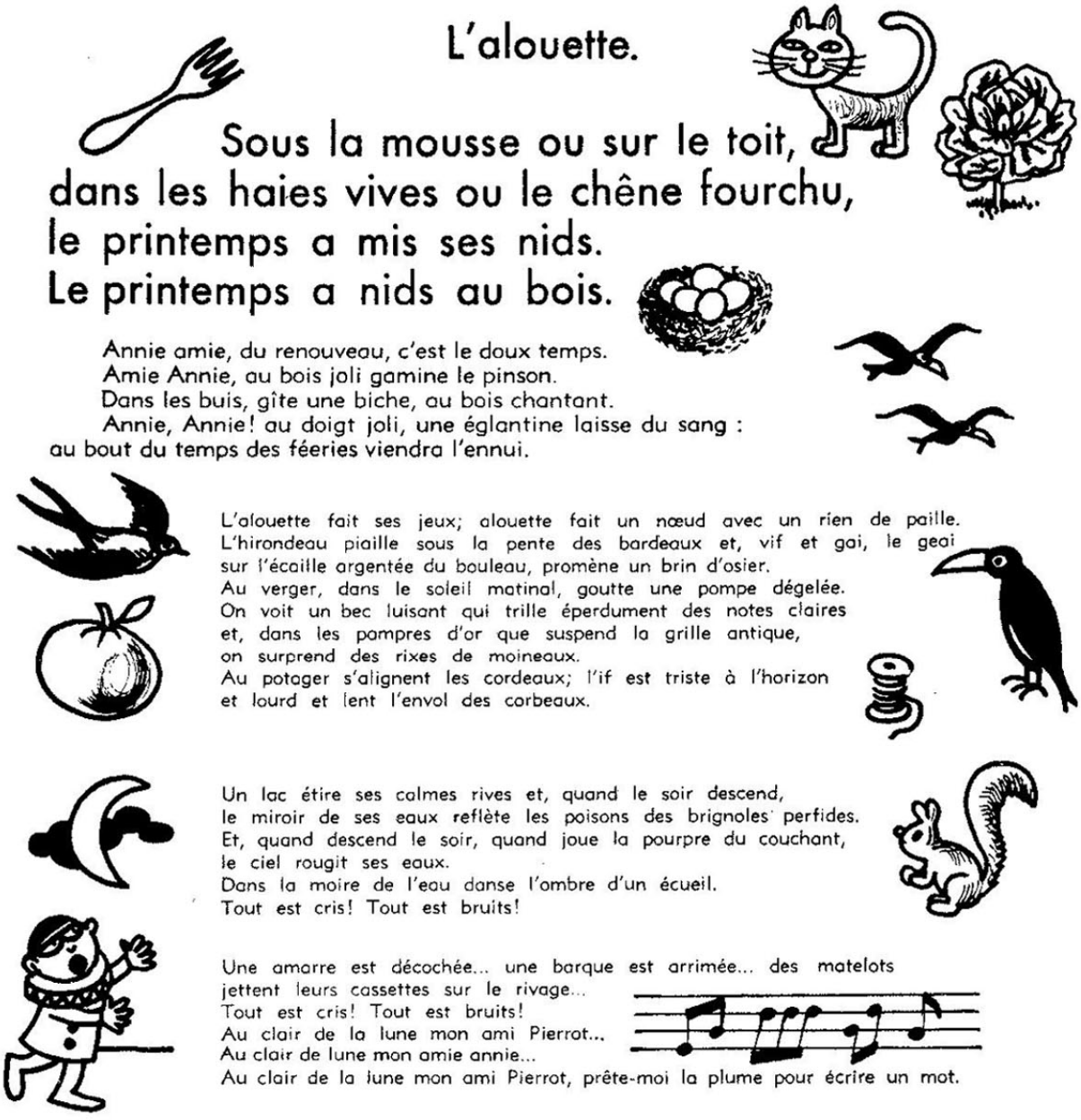
Autorise mon enfant à participer à cette étude ☐
N'autorise pas mon enfant à participer à cette étude ☐

Fait à …….. Le……

Signature(s)

ANNEXE 2 : DETAIL DU MATERIEL UTILISE DANS LES TACHES PREALABLES

.1 L'Alouette



L'alouette.

Sous la mousse ou sur le toit,
dans les haies vives ou le chêne fourchu,
le printemps a mis ses nids.
Le printemps a nids au bois.

Annie amie, du renouveau, c'est le doux temps.
Amie Annie, au bois joli gamine le pinson.
Dans les buis, gîte une biche, au bois chantant.
Annie, Annie! au doigt joli, une églantine laisse du sang :
au bout du temps des féeries viendra l'ennui.

L'alouette fait ses jeux; alouette fait un nœud avec un rien de paille.
L'hirondeau piaille sous la pente des bardeaux et, vif et gai, le geai
sur l'écaille argentée du bouleau, promène un brin d'osier.
Au verger, dans le soleil matinal, goutte une pompe dégelée.
On voit un bec luisant qui trille éperdument des notes claires
et, dans les pampres d'or que suspend la grille antique,
on surprend des rixes de moineaux.
Au potager s'alignent les cordeaux; l'if est triste à l'horizon
et lourd et lent l'envol des corbeaux.

Un lac étire ses calmes rives et, quand le soir descend,
le miroir de ses eaux reflète les poisons des brignoles perfides.
Et, quand descend le soir, quand joue la pourpre du couchant,
le ciel rougit ses eaux.
Dans la moire de l'eau danse l'ombre d'un écueil.
Tout est cris! Tout est bruits!

Une amarre est décochée... une barque est arrimée... des matelots
jettent leurs cassettes sur le rivage...
Tout est cris! Tout est bruits!
Au clair de la lune mon ami Pierrot...
Au clair de lune mon amie annie...
Au clair de la lune mon ami Pierrot, prête-moi la plume pour écrire un mot.

o u e i a

le la les un dans des do ti pu mi

Figure 1 : Document présenté à l'enfant

.2 L2MA (Décodage en lecture)

Une première liste permet d'évaluer l'assemblage : l'enfant doit lire 20 pseudo-mots (mots sans signification, par exemple : radame, moube) ce qui nécessite pour lui, d'avoir recours à un décodage strict de l'item présenté. La deuxième liste constituée de 20 mots évalue l'adressage. Les dix premiers mots sont réguliers et fréquemment rencontrés (Exemples : partir, voiture…). Les 10 suivants sont des mots irréguliers où la correspondance grapho-phonémique n'est pas respectée (Exemples : pied, monsieur…). Ceci permet d'obtenir 3 notes distinctes par enfant

- **Pseudo-mots :**

lorte	toir
mable	poute
bivre	ratin
fartir	bouvrir
radame	poiture
lople	noide
turpre	moube
bipre	tunin
trumir	poibir
tipore	dourle

- **Mots réguliers**

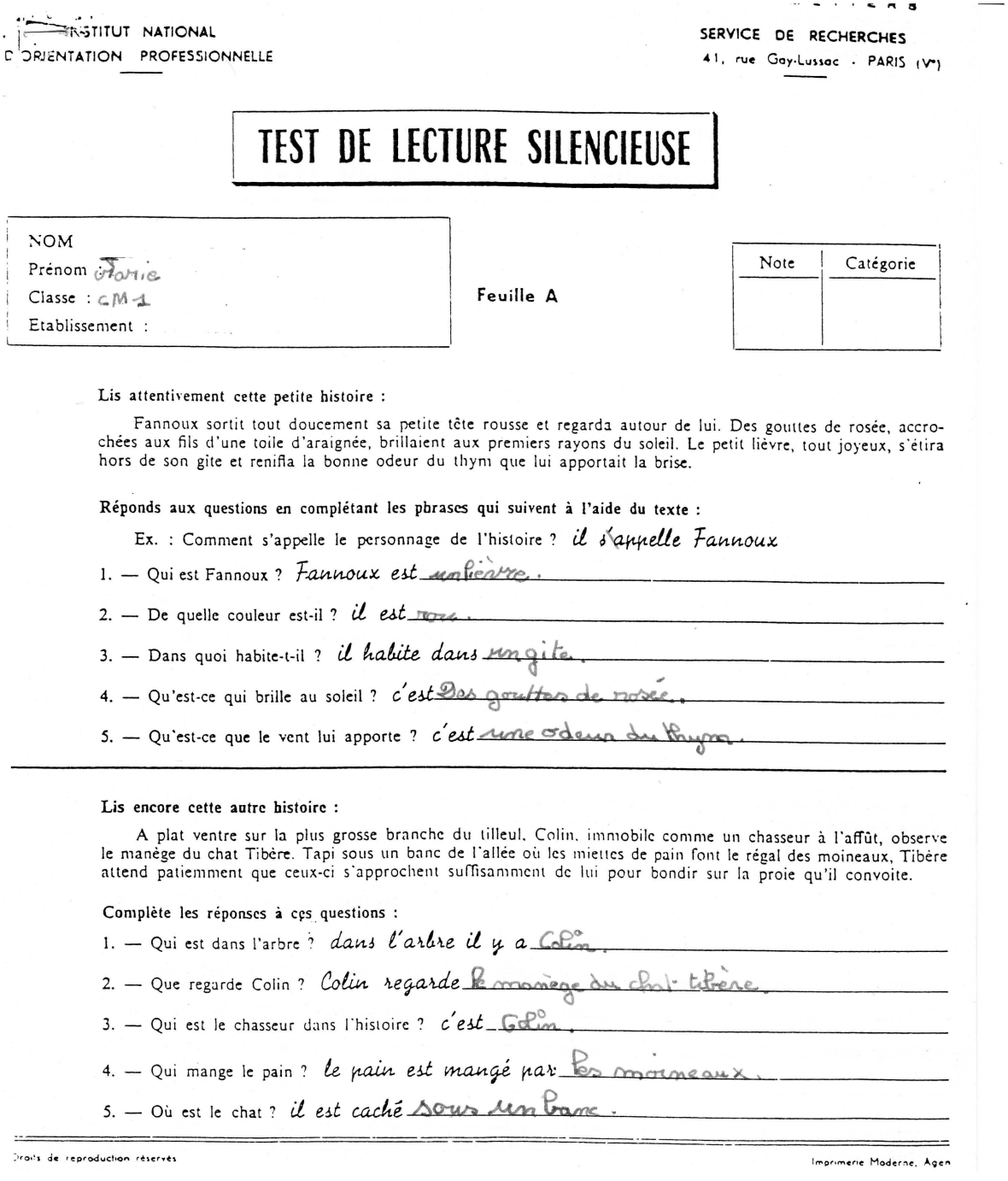
porte	soir
table	route
livre	matin
partir	ouvrir
madame	voiture

- **Mots irréguliers**

pied	noyau
pays	album
femme	poêle
second	oignon
monsieur	piscine

.3 Compréhension (Aubret-Blanchard)

Le déroulement de l'épreuve, d'une durée de 45 minutes, s'effectue collectivement. L'enfant possède 6 textes courts qu'il doit lire successivement en silence. Après chaque texte, il répond à 5 ou 6 questions relatives à ce texte. Pour chaque question, le début de la réponse est fourni, l'enfant doit la compléter en respectant la logique, ce qui l'oblige à se réapproprier le texte.



INSTITUT NATIONAL D'ORIENTATION PROFESSIONNELLE

SERVICE DE RECHERCHES
41, rue Gay-Lussac · PARIS (V^e^)

TEST DE LECTURE SILENCIEUSE

NOM
Prénom Marie
Classe : CM1
Etablissement :

Feuille A

Note	Catégorie

Lis attentivement cette petite histoire :

Fannoux sortit tout doucement sa petite tête rousse et regarda autour de lui. Des gouttes de rosée, accrochées aux fils d'une toile d'araignée, brillaient aux premiers rayons du soleil. Le petit lièvre, tout joyeux, s'étira hors de son gîte et renifla la bonne odeur du thym que lui apportait la brise.

Réponds aux questions en complétant les phrases qui suivent à l'aide du texte :

Ex. : Comment s'appelle le personnage de l'histoire ? il s'appelle Fannoux

1. — Qui est Fannoux ? Fannoux est un lièvre.
2. — De quelle couleur est-il ? il est roux.
3. — Dans quoi habite-t-il ? il habite dans un gîte.
4. — Qu'est-ce qui brille au soleil ? c'est des gouttes de rosée.
5. — Qu'est-ce que le vent lui apporte ? c'est une odeur de thym.

Lis encore cette autre histoire :

A plat ventre sur la plus grosse branche du tilleul, Colin, immobile comme un chasseur à l'affût, observe le manège du chat Tibère. Tapi sous un banc de l'allée où les miettes de pain font le régal des moineaux, Tibère attend patiemment que ceux-ci s'approchent suffisamment de lui pour bondir sur la proie qu'il convoite.

Complète les réponses à ces questions :

1. — Qui est dans l'arbre ? dans l'arbre il y a Colin.
2. — Que regarde Colin ? Colin regarde le manège du chat tibère.
3. — Qui est le chasseur dans l'histoire ? c'est Colin.
4. — Qui mange le pain ? le pain est mangé par les moineaux.
5. — Où est le chat ? il est caché sous un banc.

Droits de reproduction réservés

Imprimerie Moderne, Agen

Figure 2 : Texte n°1 et questions du test de compréhension

SERVATOIRE NATIONAL DES ARTS ET MÉTIERS

INSTITUT NATIONAL
RIENTATION PROFESSIONNELLE

SERVICE DE RECHERCHES
41, rue Gay-Lussac · PARIS (V°)

TEST DE LECTURE SILENCIEUSE

NOM : ...
Prénom : ...
Classe : ...
Etablissement : ...

Feuille B

Note	Catégorie

Lis ces deux phrases :

Paul est assis en classe à côté de Jean, au deuxième rang, derrière Patrick et Gilles. Pierre est le frère de Patrick, il est le premier de la classe.

Réponds aux questions en complétant les phrases qui suivent à l'aide du texte :

Ex. : Où se passe l'histoire ? *l'histoire se passe en classe.*

1. — Qui est le frère de Pierre ? *le frère de Pierre est* Patrick
2. — Qui est assis à côté de Paul ? *c'est* Jean qui est a côtés de Paul.
3. — A quel rang est assis Patrick ? *il est au* premier rang.
4. — Qui est assis à côté de Patrick ? *c'est* Gilles.
5. — Qui est le premier de la classe ? *c'est* Patrick qui est le premier de la classe.

Voici une autre histoire :

Michèle et Caroline sont confiées par leur mère, pour la durée des vacances, à Madame Parris qui dirige une ferme en Vendée. Caroline part tous les matins avec Laurent, le petit vacher, conduire les bêtes au grand pâturage, tandis que sa sœur pèse dans de petits paniers les groseilles et les framboises que la servante a cueillies dans le verger de la ferme.

Complète les réponses à ces questions :

1. — Qui s'occupe des fillettes pendant les vacances ? *c'est* Leur mère
2. — Dans quelle région vont-elles en vacances ? *elles vont* en Vendée
3. — Qui est Laurent ? *Laurent est* le petit vacher
4. — Que va faire Caroline tous les matins ? *elle va* conduire les bêtes au grand pâturage
5. — Qui cueille les fruits ? *c'est* sa sœur.
6. — Que fait Michèle le matin ? *Michèle*

Droits de reproduction réservés

Imprimerie Moderne, Agen

Figure 3 : Texte n°2 et questions du test de compréhension

YLSC-T

TEST DE LECTURE SILENCIEUSE

NOM : _____
Prénom : _____
Classe : _____
Etablissement : _____

Feuille C

Note	Catégorie

Lis attentivement ce texte :

Lorsqu'elle s'aperçut qu'elle était en retard au rendez-vous qu'elle avait fixé à Camille, Paulette sauta de l'autobus à peine arrêté et courut vers le musée, bousculant sur son passage un jeune garçon dont le dos ployait sous le poids d'un énorme panier plein de pommes. Le choc fut si violent que l'enfant, perdant l'équilibre, ne put redresser à temps son fardeau dont le contenu se répandit sur le trottoir.

Questions : **Réponses à compléter :**

1. — Où était Paulette lorsqu'elle s'aperçut de son retard ? *elle était* _____
2. — Qui porte le panier ? *c'est un jeune garçon.* _____
3. — Comment le porte-t-il ? *il le porte sur le dos.* _____
4. — Qui est-ce qui court ? *c'est Paulette* _____
5. — Pourquoi court-elle ? *elle court parce qu'elle est en retard.* _____
6. — Qu'est-ce qui tombe sur le trottoir ? *ce sont les pommes* _____

Voici une autre histoire :

Ce matin nous avons accueilli dans la classe, pour la première fois, un camarade italien. François l'a fait asseoir à côté de lui et lui a demandé son nom. Avec une petite courbette qui nous a tous fait rire, le nouveau a dit, souriant à toute la classe : « Angelo ». Il connaît mal notre langue car il n'est en France que depuis une semaine. Il comprend les explications du maître et peut parfois faire les problèmes, mais il est incapable de suivre la dictée. Il semble avoir très bon caractère et rit avec nous de bon cœur des fautes qu'il fait en parlant. Il chante très bien et nous a promis de nous apporter demain les photos de son pays dont il a décoré sa chambre.

Questions : **Réponses à compléter :**

1. — Comment s'appelle le nouveau camarade ? *il s'appelle Angelo.* _____
2. — Depuis quand suit-il cette classe ? *depuis ce matin* _____
3. — Quel est l'exercice le plus difficile pour lui en classe ? *c'est la dictée* _____
4. — En quoi est-il très bon ? *il est très bon en chant.* _____
5. — Où sont les photos qu'il veut montrer ? *elles sont sa chambre.* _____
6. — Dans quel pays ces photos ont-elles été prises ? *en Italie.* _____

Figure 4 : Texte n°3 et questions du test de compréhension

.4 *Raisonnement (NNAT)*

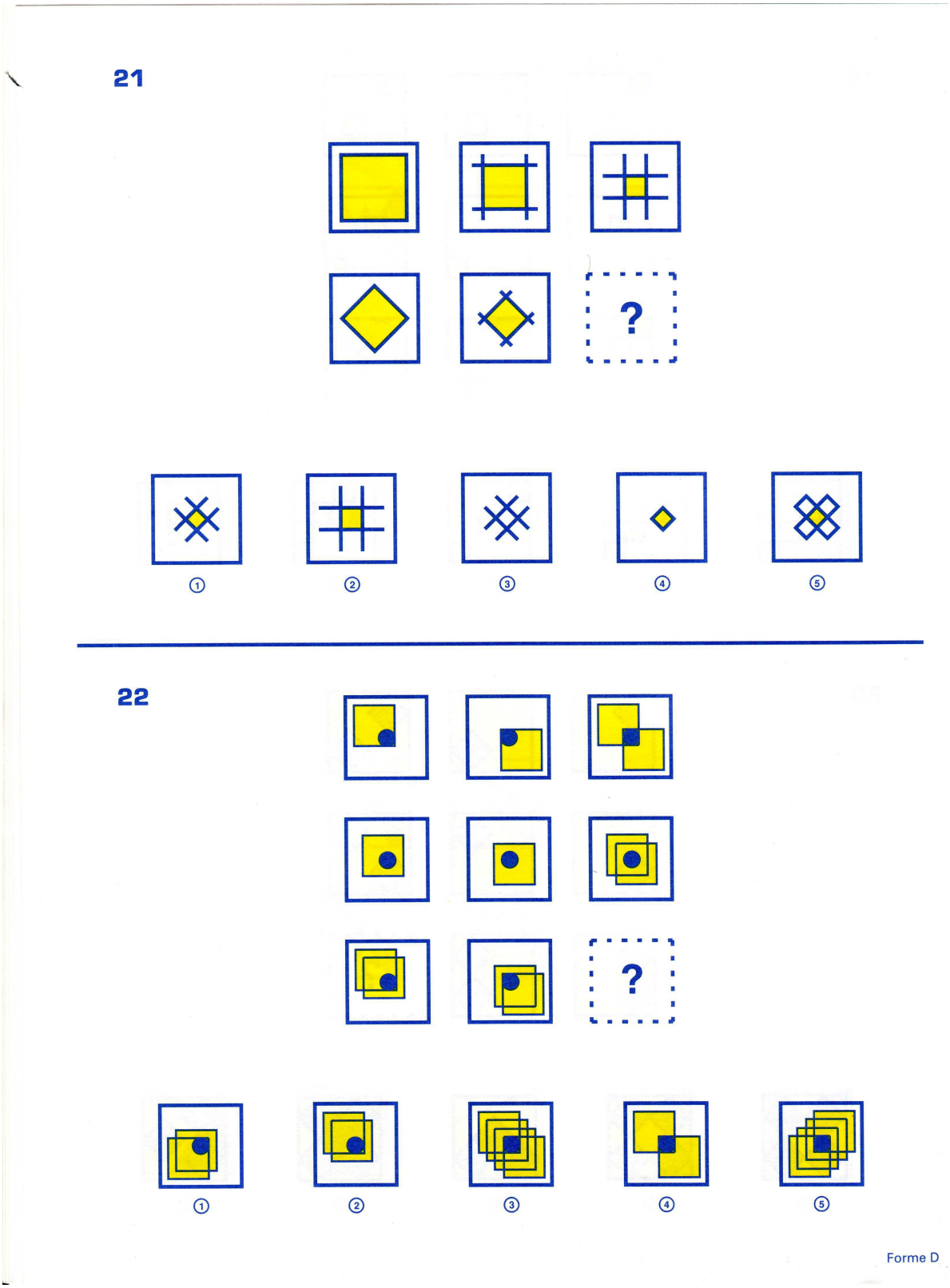


Figure 5 : Exemple de planche utilisée à l'épreuve du NNAT

.5 Vocabulaire

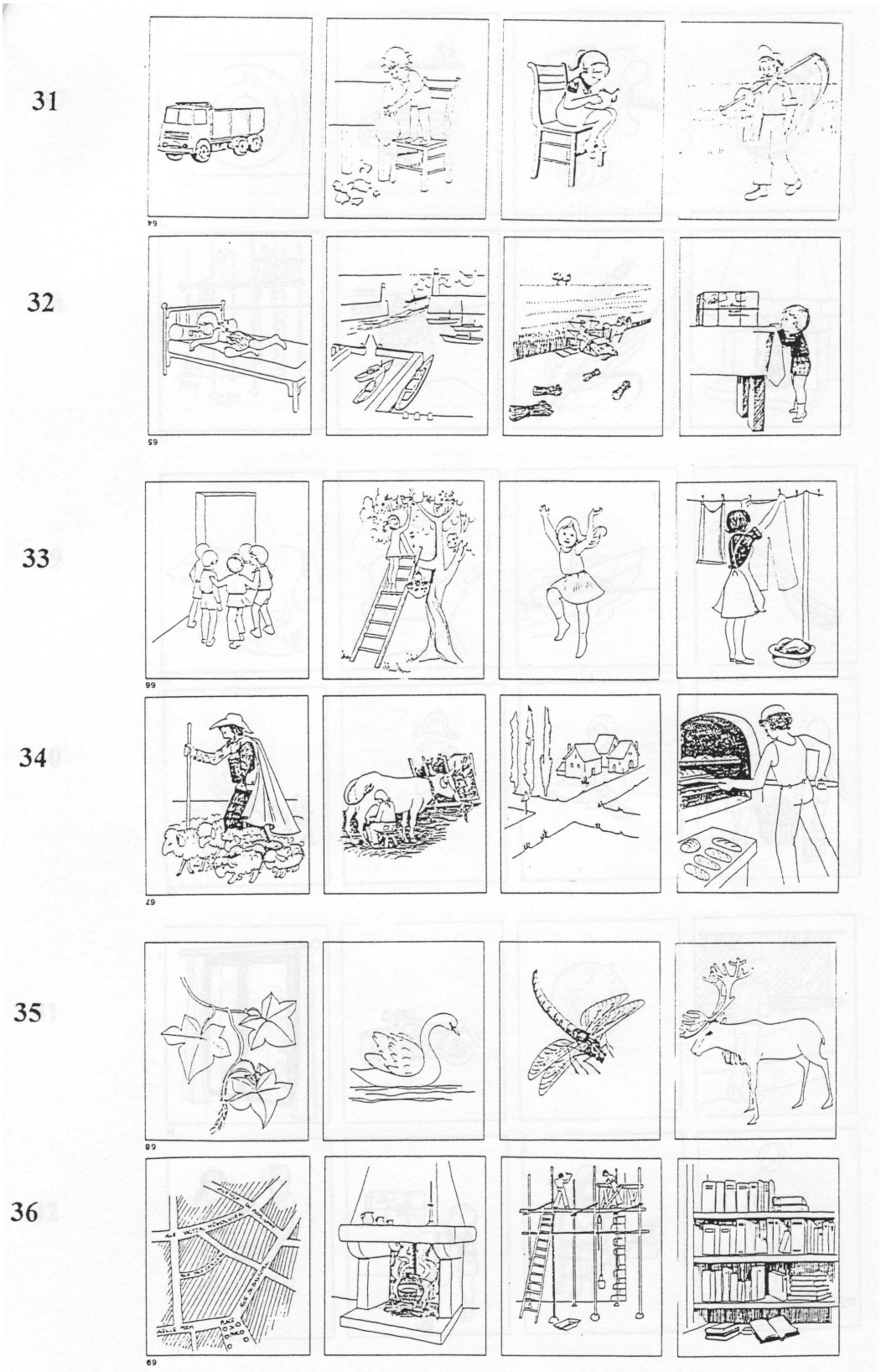


Figure 6 : Exemple de planche utilisée à la tâche de vocabulaire

Tableau 1 : *Items à l'épreuve de vocabulaire*

31	briser
32	port
33	groupe
34	carrefour
35	lierre
36	plan
37	cible
38	épi
39	canot
40	rongeur
41	guichet
42	piéton
43	récolter
44	sécateur
45	cascade
46	quai
47	assaisonner
48	clapier
49	moisson
50	équerre
51	gauler
52	reproche
53	îlot
54	escroc
55	qui luttent
56	balustrade
57	silhouette
58	s'accouder
59	souverain
60	tentation
61	germination
62	indécis
63	mappemonde
64	herbivore
65	dolmen
66	réprimande
67	jumelées
68	métamorphose
69	alternées
70	différence

.6 Consignes des différentes épreuves préalables

- **Alouette** : « Voici un texte : l'Alouette. Je vais te demander de le lire à voix haute. Essaye de me le lire sans faire de faute. Tu lis à ton rythme habituel, si tu vas trop vite, tu risques de faire beaucoup de fautes. Tu commences là (Sous la mousse…), jusque là (…pour écrire un mot). Je vais te dire quand commencer. Tu ne dois pas t'arrêter. »

- **L2MA** : « Voici des mots j'aimerais que tu les lises à haute voix »

- **Compréhension en lecture** : « Sur la première feuille, vous trouverez deux petites histoires très courtes. Lorsque je vous le dirai, vous lirez d'abord la première histoire , et quand vous l'aurez lue, vous répondrez, en vous aidant du texte, aux questions qui sont posées à la suite. Ne commencez pas tout de suite et écoutez encore : A la suite de chaque question, on a écrit les premiers mots de la réponse : vous n'avez qu'à compléter cette réponse en finissant la phrase. Les réponses sont courtes et tiennent sur la ligne. N'essayez pas d'inventer des réponses : au contraire, répondez le plus précisément possible d'après le texte que vous avez lu. Si vous ne savez pas répondre, vous passez à la suivante. Quand vous aurez fini de répondre aux questions de la première histoire, vous lirez la suivante et vous répondrez aussi aux questions. Commencez maintenant. »

- **Nnat** : « Dans ce grand dessin, il manque un morceau. Un des petits dessins peut se mettre à la place du point d'interrogation pour compléter le grand dessin. Ce sera à vous d'entourer la bonne réponse. Dans l'exemple A, la réponse est le n°1, parce que celui qui est tout bleu complète le dessin. Essayez de faire l'exemple B tout seul. La réponse était 1» Répondre aux éventuelles questions puis : « Dans ce cahier vous allez trouver beaucoup d'autres dessins à compléter. Regardez bien chaque dessin et entourer celui que vous avez choisi. Ne passez pas trop de temps sur chaque exercice mais essayez d'en faire le plus possible. Travaillez sur une seule page à la fois et faites les exercices dans l'ordre. Avez-vous des questions à poser ? (…) Vous pouvez commencer. »

- **Vocabulaire** : « Vous voyez sur ce carnet il y a des lignes de dessins. Pour chacune des lignes, je vais vous dire un mot et vous devrez entourer le dessin qui correspond au mot. Par exemple, pour la première ligne de quatre dessins, le mot est « sommeil ». Quelle image va avec ce mot ? (L'examinateur indique la bonne image et explique pourquoi) Maintenant vous allez faire l'exercice tout seul. Si vous entendez mal ou si je vais trop vite, je peux répéter les mots».

ANNEXE 3 : DETAIL DU MATERIEL UTILISE DANS LES TACHES DE CONJONCTIONS ILLUSOIRES

.1 Tâche de CI classique

Les mots ont été sélectionnés à partir de la base de données MANULEX (Leté, Sprenger-Charolles & Colé, 2002). Nous avons exploité les données du groupe G1-G5 qui prend en compte le corpus entier sans distinction d'âge (de 7 à 11 ans).

Chaque condition comportait 17 items à l'exception de ces trois tâches de CI classique qui comportaient 36 items. Le nombre d'items est plus élevé en condition de CI classique car pour observer un effet de congruence et garder des temps-contrôle suffisants en référence aux autres conditions de CI. Le détail du matériel utilisé pour les tâches de CI classique (symboles, graphèmes et syllabes) est présenté dans le tableau d ci-dessous.

Pour toutes les tâches, la taille des items et la distance entre l'écran et le point de regard ont été calculé de telle sorte que le mot ou la suite de symbole puisse être visualisé, d'un seul tenant, sans avoir recours à un balayage oculaire.

Tableau 2 : *Items proposés aux tâches de CI classiques. Présentation symboles, graphèmes et syllabes*

Symboles		**Graphèmes**		**Syllabes**	
cible	mot	cible	mot	cible	mot
i	cr o i z	o	croix	v	livrée
a	hai es	a	haies	b	débris
u	cho u z	o	choux	t	citron
o	mo n t s	n	monts	n	vernis
n	br u n s	u	bruns	v	survie
e	p r eu z	e	preux	f	safran
a	chau z	a	chaux	c	décret
i	s o i f s	i	soifs	t	pétrin
u	bo u es	o	boues	m	jasmin
n	p l an t	a	plant	p	harpon
m	camp s	m	camps	b	turbot
a	chan t	a	chant	d	cédrat
n	gan t s	n	gants	t	fiston
i	cr ai e	i	craie	b	hublot
n	r o n d s	n	ronds	t	piston
g	s gu r d	o	sourd	d	cordon
o	p o n t s	n	ponts	t	pistil
i	br i n s	i	brins	t	nectar
n	t r o n c	n	tronc	m	climat
o	co u p s	u	coups	v	bavard
a	gr an d	a	grand	c	flacon
i	p o i l s	i	poils	m	damier
n	go n gs	n	gongs	f	cafard
e	l i eu j h	e	lieux	c	tricot
i	cl i u s	o	clous	m	format
i	l o i r s	i	loirs	j	séjour
o	d r o i t	o	droit	g	berger
n	go n d s	n	gonds	b	labour
i	cho i z	i	choix	l	talent
o	s o i r s	i	soirs	v	buvard
a	champ	a	champ	c	record
k	f ki es	i	foies	n	carnet
n	f r o n t	n	front	g	dragée

.2 Tâches de CI mettant en jeu des composantes exécutives

Pour les tâches de CI mettant en jeu des composantes exécutives d'alternance et de mise à jour la procédure utilisée était la même que pour l tâche de CI classique, sauf que nous analysions les temps de réponses uniquement pour les items correctement répondus. Par conséquent, ces épreuves ne comportaient pas d'items incongruents dont nous ne pouvions pas analyser les temps. Cependant, afin d'éviter que l'enfant modifie sa stratégie par l'utilisation unique d'un traitement perceptif aux dépens d'un traitement linguistique, deux items incongruents ont été placés de façon inopinée dans chaque liste. Les temps de réaction obtenus pour ces items ne se sont pas pris en compte dans le calcul des moyennes. Nous présentons ici, les détails complémentaires relatifs aux deux tâches exécutives :

❖ **Mise à jour**

Une liste d'exemples était proposée à l'enfant avant la phase test. En phase test, 17 items étaient présentés. Au total, deux « doublons » étaient présentés: le premier, au début de l'épreuve (2ème et 3ème item) et le second, à la fin (15ème et 16ème item). Ce sont sur ces paires de mots qu'apparaissaient les deux lettres cibles identiques successives et qu'il fallait donc mémoriser[1]

Tableau 3 : *Items proposés aux tâches de CI faisant intervenir la fonction d mise à jour*

Symboles		**Graphèmes**		**Syllabes**	
cible	mot	cible	mot	cible	mot
a	p ai r s	a	pairs	s	castor
n	g an g s	n	gangs	c	percée
n	j o n cs	n	joncs	c	déclin
a	ch ai r	a	chair	i	pilote
n	c en t s	n	cents	m	permis
e	p l eu r	e	pleur	r	mortel
o	p o i d s	o	poids	s	lascar
u	cr eu z	u	creux	v	caviar
a	gl an d	a	gland	e	regard
u	l o u r d	u	lourd	k	basket
o	f r o i d	o	froid	p	esprit
n	f l an c	n	flanc	r	persan
a	r ai d s	a	raids	l	milieu
i	cr i n s	i	crins	t	fatras
u	l o u p s	u	loups	n	renard
u	s co u t	u	scout	n	surnom
n	f o n d s	n	fonds	t	destin

[1] Ces paires d'items sont mises en évidence dans le tableau, par la couleur de fond grise

❖ **Alternance**

La passation se déroulait en deux parties. Dans un premier temps, deux blocs d'entraînement étaient proposés à l'élève : Le premier bloc se composait de six items requérant que l'enfant se focalise sur la caractéristique (G) gras/non-gras de la lettre cible, dans le 2ème bloc il s'agissait de ne prendre en compte que la caractéristique couleur (C) bleu ou rouge de la lettre cible. Dans un deuxième temps, nous présentons un bloc test qui se compose de 17 items.

Tableau 4 : *Items proposés aux tâches de CI faisant intervenir l'alternance Présentation symboles, graphèmes et syllabes*

Symboles	Graphèmes	Symboles
Entraînement		
i cr o i z	i croix	g berger
o g o n g s	e vents	m armure
u s o u r d	u sourd	b cabine
i d r o i t	i trois	t carton
a s au t s	a sauts	l grelot
i t ai es	i taies	p espèce
n **gan** t s	n **gan**ts	t **bu**tane
e **p r e** u x	e **pro**ue	m **carm**in
i **s o** i r s	i **so**irs	s **cor**set
u **co u** p s	u **cou**ps	t **art**ère
n **gr a**n d	n **gra**nd	t **dict**on
u **br** u n s	u **br**uns	d **gra**din
Test		
u bo u t s	u bouts	t festin
e bl eu s	e bleus	d cedrat
a **s t** an d	a **st**and	i **li**vret
o **bo u** cs	o **bou**cs	t **ves**ton
a gai es	a gaies	d cadran
u t r o u s	u trous	s jasmin
i **p r** o i e	i **pr**oie	t **pa**trie
n **f l** an s	n **fl**ans	e **re**flux
e v eu f s	e veufs	d pardon
m p l o mb	m plomb	r persil
u **co u** r t	u **cou**rt	t **sul**tan
a **f r** ai s	a **fr**ais	f **re**flet
a cl ai r	a clair	p cyprès
n l o n g s	n longs	g verger
o **go** t s	o **goû**ts	r **ser**mon
u **bo u** r g	u **bou**rg	r **cor**net
o mo u es	o moues	t nectar

.3 Consignes des différentes épreuves de CI

❖ **Conjonction illusoire** : « Pour ces deux premières conditions, nous donnerons à l'enfant la consigne suivante : « Sur l'écran tu vas voir apparaître une étoile tu la regardes bien attentivement car ensuite va apparaître une lettre. Tu dois te souvenir de cette lettre car ensuite tu verras un mot, qui disparaîtra très vite, et qui contient cette lettre. Tu devras décider de quelle couleur était cette lettre. Cette lettre sera soit en bleu, soit en rouge. Si elle est bleue tu appuieras sur la touche bleue, si elle est rouge tu appuieras sur la touche rouge. Souviens-toi : dès que le mot a disparu, tu dois donner ta réponse. On va commencer par un exemple pour que tu comprennes bien. »

❖ **Mise à jour :** « Dans cet exercice, tu dois me dire de quelle couleur est la lettre dans le mot qui suit la lettre présentée seule. Elle sera soit bleue, soit rouge. Tu réponds comme tout à l'heure en utilisant les touches rouge et bleue du clavier. Mais, cette fois-ci tu devras, en plus, faire attention à la lettre présentée avant le mot. Tu dois regarder si deux lettres pareilles se suivent. Si tu vois la même lettre répétée deux fois de suite, tu dois t'en souvenir car, à la fin de l'exercice, je te demanderai de me dire quelle est la **dernière** lettre, qui était répétée deux fois. Je te demanderai seulement la dernière, si tu en as vu d'autres avant, tu ne dois pas les rappeler, je te demanderai seulement la dernière lettre répétée deux fois. On va faire un exemple pour que tu comprennes bien. »
Sur l'écran tu vas voir apparaître des images. Ces images sont des vêtements, de la nourriture ou des animaux. Il y aura plusieurs listes, avant chaque liste je te donnerai le nom de deux catégories. Je te demande de dire le nom de chaque image qui apparaît et de mémoriser la dernière image des 2 catégories que je t'ai données au départ. Par exemple, si je te dis vêtement et animal, tu devras me donner le nom du dernier vêtement et du dernier animal que tu auras vu. Pour que tu comprennes bien, on va faire un exemple. Regarde bien. »

❖ **Alternance** : « Comme tout à l'heure tu vas voir une lettre, puis un mot, apparaître sur l'écran, mais maintenant, le mot sera soit en rouge et bleu, soit en noir. Ensuite tu verras un mot dans lequel tu devras retrouver la lettre vue juste avant. Si le mot est en couleur, tu devras me dire si la lettre dans le mot est rouge ou bleue. Par contre, si ce mot est en noir tu devras me dire si la lettre dans le mot est en gras ou non. Une lettre en gras est une lettre qui est plus épaisse, le trait est plus gros. »

ANNEXE 4 : DETAIL DU MATERIEL UTILISE DANS LES TACHES DE MDT

.1 Items utilisés

Cette tâche de mémoire de travail est inspirée de l'étude de : Daily, Lovett &, Reder,. (2001). Elle a été modifiée et simplifiée afin de proposer une condition verbale et une condition non-verbale, adaptée aux compétences des enfants de primaire

Nous utilisons les chiffres 1 à 9 et les consonnes d et m. Afin de ne pas rester à un niveau purement perceptif de détection de la forme [d], la police de caractère des lettres varie continuellement. Ceci qui permet de s'assurer que le traitement correspond à la reconnaissance de lettres qui correspond selon les modèles de lecture à la reconnaissance d'une représentation abstraite des lettres qui est indépendante de la police, de la typographie. Trois types d'écriture sont utilisés : minuscule-manuscrite : **d** , minuscule-script : **d** et majuscule-sript **D**.

Procédure : Chaque lettre ou symbole apparaît successivement, toutes les 900 ms. A la fin de chaque essai, le chiffre est présenté pendant une durée de 1 sec. De plus, la présentation des essais à l'intérieur d'une même série suit un déplacement régulier de gauche à droite permettant ainsi de marquer les essais consécutifs. Ainsi les items du premier essai apparaissent à gauche de l'écran, une lettre en remplaçant une autre. Les essais suivants se décalent progressivement vers la droite de façon à ce que les items du dernier essai soient positionnés à l'extrême droite de l'écran. La présentation des suites se fait dans un ordre croissant de difficulté.

Tableau 5 : *Items présentés aux tâches de MdT verbale et non-verbale*

	Tâche verbale MdT			Tâche non-verbale de MdT		
	1-2 items à traiter	2-3 items à traiter	3-4 items à traiter	1-2 items à traiter	2-3 items à traiter	3-4 items à traiter
2 items à mémoriser	d 4	dm 1	mmd 2	d 4	d m 1	mmd 2
	mm 2	mmd 8	mdmd 7	mm 2	mmd 8	md md 7
	m 8	md 3	mdd 6	m 8	md 3	md d 6
	d d 1	dmm 4	dmmd 5	d d 1	d mm 4	d mmd 5
	d 3	dd 7	mmd 4	d 3	d d 7	mmd 4
	mm 9	mdd 2	dmdd 1	mm 9	md d 2	d md d 1
	m 5	dd 5	dmd 8	m 5	d d 5	d md 8
	dm 7	mdm 6	mdmm 9	d m 7	md m 6	md mm 9
3 items à mémoriser	m 5	md 4	mmd 1	m 5	md 4	mmd 1
	dm 9	ddm 1	mddd 9	d m 9	d d m 1	md d d 9
	d 8	dm 8	dmm 5	d 8	d m 8	d mm 5
	d 4	mm 3	ddd 4	d 4	mm 3	d d d 4
	dm 3	dmd 7	dmdm 2	d m 3	d md 7	d md m 2
	m 7	dm 9	mdd 8	m 7	d m 9	md d 8
	d 1	dd 5	mdm 3	d 1	d d 5	md m 3
	md 2	dmd 6	mdmd 7	md 2	d md 6	md md 7
	d 5	mm 2	ddm 9	d 5	mm 2	d d m 9
	m 3	md 8	dmm 5	m 3	md 8	d mm 5
	md 4	mmd 1	ddmd 1	md 4	mmd 1	d d md 1
	d 8	dd 3	mmdd 4	d 8	d d 3	mmd d 4

En condition symboles les chiffres représentent la position du point sur l'écran.

1	2	3
4	5	6
7	8	9

.2 Consignes pour les tâches de MdT

❖ **Tâche de MdT verbale** :

« Tu vas voir apparaître sur l'écran une lettre ou un chiffre. Quand tu verras une lettre tu devras me dire si, oui ou non, cette lettre est un [d]. Quand le chiffre apparaîtra, tu devras le retenir en mémoire dans ta tête. Ensuite, il y aura encore d'autres lettres et d'autres chiffres. Garde toujours les chiffres en mémoire, car à la fin, je te demanderai de réécrire, dans l'ordre, tous les chiffres que tu auras vus. On va faire un exemple, ensemble, pour que tu comprennes bien. Tu verras les lettres sont écrites de différentes façons. Tu ne dois pas faire attention à la façon dont les lettres sont écrites »

❖ **Tâche de MdT non-verbale** :

« Maintenant tu vas voir apparaître sur l'écran des signes suivis d'un point qui apparaîtra à un endroit précis sur l'écran. Quand tu verras les signes tu devras me dire si, oui ou non, tu vois celui-ci (lui montrer le signe inscrit sur une feuille). Ensuite, tu verras un point et tu devras te souvenir de l'endroit où il est apparu sur l'écran. Ensuite, il y aura encore d'autres signes et d'autres points. Garde toujours en mémoire l'endroit où les différents points sont apparus, car à la fin je te demanderai de me montrer, dans l'ordre, l'endroit où tous les points sont apparus. On va faire un exemple, ensemble, pour que tu comprennes bien. »

ANNEXE 5 : DETAIL DU MATERIEL UTILISE DANS L'ETUDE 2

.1 Tâche de segmentation phonémique

Consigne donnée à l'enfant :

Je vais te dire un mot. On va chercher des morceaux dans les mots. Ecoute bien, dans le mot « lapin » on entend « la » « pin ». Dans le mot « carnaval » on entend « car » « na » « val ». Maintenant à toi. On va faire d'autres exemples. …

Maintenant tu vas faire l'exercice tout seul. Si tu entends mal tu me le dis, je peux te répéter les mots.

Tableau 6 : *Items présentés à la tâche de segmentation phonémique (Gaux, 1994)*

sud	mi
bloc	judo
bec	métal
pli	cinq
truc	cou
moteur	matin
char	chef
bleu	peur

.2 Tâche d'alternance sémantique

❖ **Prétest :**

Nous avons présenté à six adultes et cinq enfants (de 7 à 12 ans) une liste de 60 mots (30 que nous considérions comme appartenant à la catégorie « École » et 30 autres se rapportant à la catégorie « Vacances ». Chaque enfant devait catégoriser les mots dans l'une ou l'autre des catégories, ils avaient également la possibilité de répondre « les deux ». Au final nous avons sélectionné, pour chaque thème, 20 mots qui ne portaient pas à ambiguïté c'est à dire pour lesquels l'ensemble des sujets s'accordait pour dire qu'ils appartenaient soit à l'un soit à l'autre des sous-ensembles. Le mot « jeux » a par exemple été écarté, puisque trois personnes l'ont rangé dans la catégorie « École », quatre personnes ont répondu « les deux », et quatre seulement l'ont considéré comme relié au thème « Vacances ». De même le mot « sieste » n'a pas été retenu, puisqu'il n'a pas fait l'unanimité : sur onze personnes interrogées, seulement neuf considéraient qu'il correspondait au thème « Vacances ». Vous trouverez ci-dessous la liste des 40 mots retenus. Les mots des deux catégories sont appareillés sur le nombre de syllabes et le nombre de lettres dans le mot.

❖ **Items retenus pour la phase d'entrainement**

Tableau 7 : *Items d'entrainement présentés lors de la tâche d'entraînement sémantique*

VACANCES		**ECOLE**	
Items de couleur jaune	**Items de couleur grise**	**Items de couleur jaune**	**Items de couleur grise**
SURF	CRABE	CRAIE	COURS
NOEL	COLO	RECRE	ETUDE
JUILLET	PALMIER	COLLE	FEUTRE
BRONZAGE	TOURISME	LECTURE	MAITRESSE
OCEAN	COCOTIER	DICTEE	ECOLIERS

❖ Items retenus pour la phase test

Tableau 8 : *Items tests correspondant à la tâche d'alternance sémantique*

VACANCES			ECOLE		
Nombre de syllabes	Nombre de lettres	Items	Nombre de syllabes	Nombre de lettres	Items
1 syllabe	5	GLACE	1 syllabe	5	FAUTES
	5	PLAGE		5	REGLE
	5	SABLE		5	LIVRE
	5	TENTE		5	COLLE
	6	VAGUES		6	MAITRE
2 syllabes	5	HOTEL	2 syllabes	5	STYLO
	5	REPOS		6	CAHIER
	6	PECHE		6	CRAYON
	6	SOLEIL		6	DICTEE
	6	VALISE		6	LECONS
	6	VOYAGE		7	DEVOIRS
	7	VISITES		7	CANTINE
	7	CAMPING		7	TABLEAU
	7	PISCINE		7	TRAVAIL
	8	MONTAGNE		8	CARTABLE
3 syllabes	7	PARASOL	3 syllabes	7	POESIES
	8	CARAVANE		8	ADDITION
	8	COCOTIER		8	DIVISION
	10	COQUILLAGE		10	ORTOGRAPHE

.3 *Tâches d'alternance mots et symboles*

Tableau 9 : *Items présentés lors de la phase d'entraînement (réponse couleur uniquement)*, pour les tâches mots et symboles

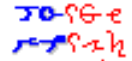
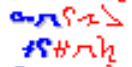
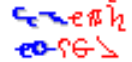
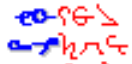
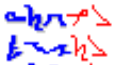
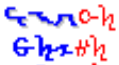
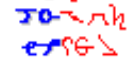
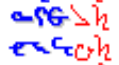
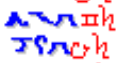
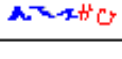
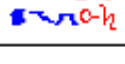
	Mots	Symboles		Mots	Symboles
Réponse Bleu	(ROUES)		Réponse Rouge	BLOND	
	SEIZE			PIEUX	
	POIDS			FLANC	
	FONDS			VRAIE	
	NEUFS			QUAIS	
	NAINS			BAGUE	
	PINCE			MOCHE	
	BOUTS			CLANS	
	FAUNE			PREUX	
	HEURT			CRAIE	
	MOINE				

Tableau 10 : *Items correspondant à la tâche d'alternance mots et symboles*

Mots				Symboles			
Réponse « Bleu ou Gras »		Réponse « Rouge ou Fin »		Réponse « Bleu ou Gras »		Réponse « Rouge ou Fin »	
PEURS	MOULE	COCHE	LIONS				
JOIES	NEIGE	DROIT	GNOUX				
VENTS	PAIRE	PLANT	PNEUS				
TOURS	BOURG	FIGUE	FLOUE				
JAMBE	BEIGE	PLAID	CRANS				
HOUPE	PANSE	CLAIR	QUAND				
MEULE	COMTE	PAGNE	GUEUX				
BONDS	DOUZE	CROIX	MOQUE				
PAUME	FAUTE	GLAND	CLOUS				
DOIGT	HOULE	FRAIS	LIEUX				

.4 *Tâche d'alternance formes*

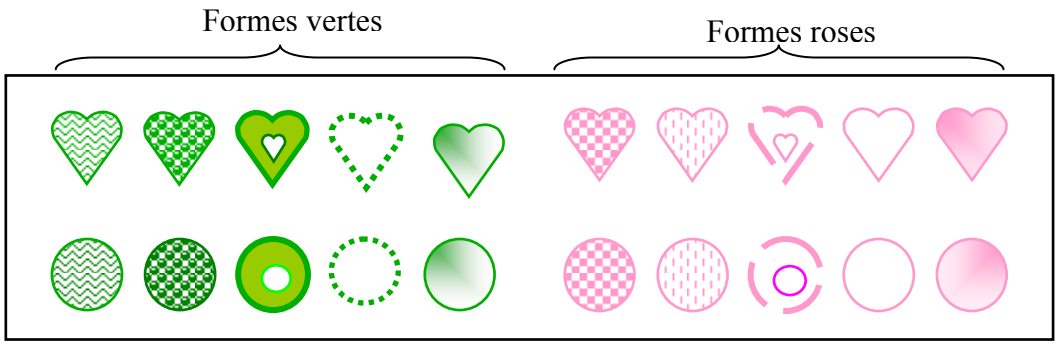


Figure 7 : Items présentés lors de l'entraînement de la tâche formes

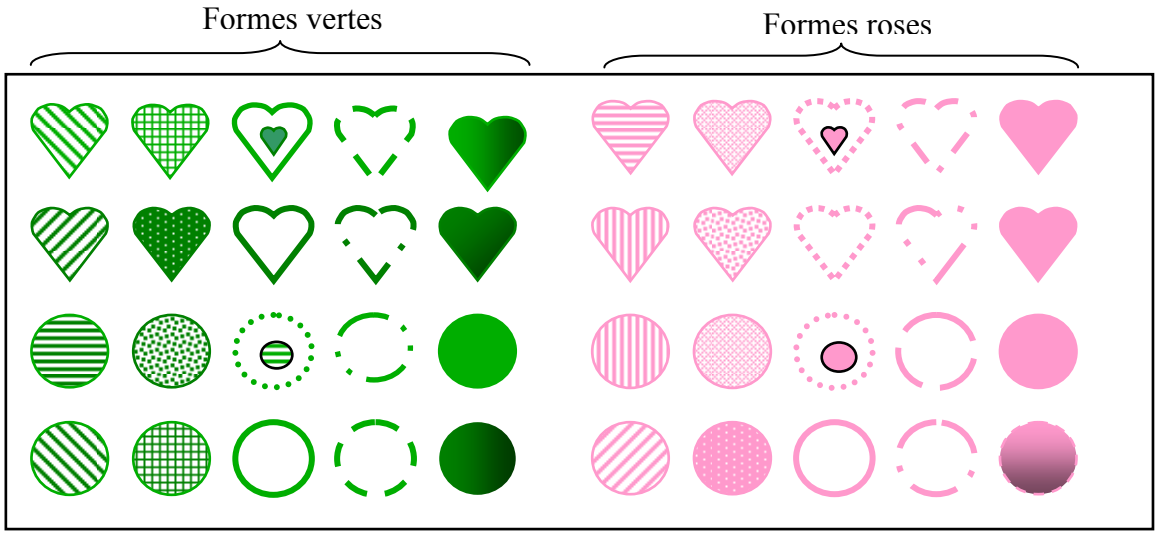


Figure 8 : Items correspondant à la tâche d'alternance formes

.5 Tâche d'alternance-spatiale

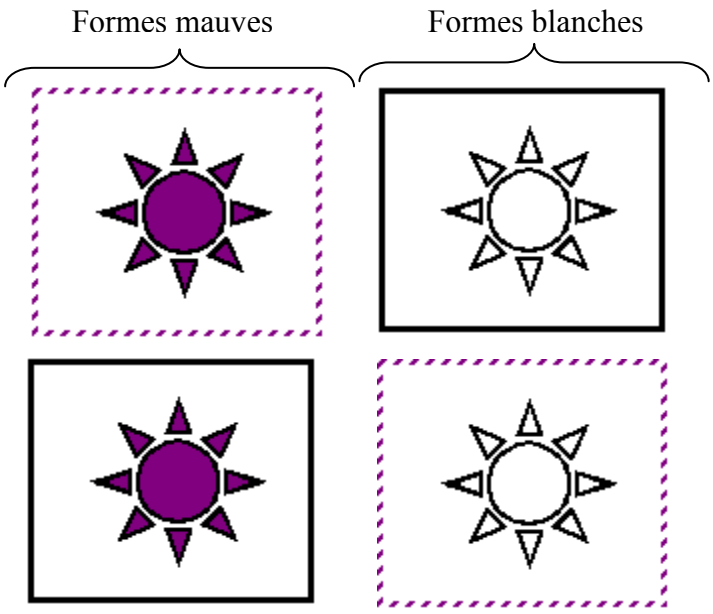


Figure 9 : Items correspondant à la tâche d'alternance spatiale

.6 Consignes des différentes tâches d'alternance de l'étude 2

❖ Préambule

Je vais te montrer quelques petits exercices sur ordinateur. Tu devras donner tout haut ta réponse. Pour me souvenir de ce que tu as répondu je vais enregistrer ce que tu vas me dire. Je vais donc utiliser ce casque avec ce micro, on va le mettre sur ta tête comme ca, avec le micro devant ta bouche (mettre le casque). Tu peux parler normalement, le micro va enregistrer tout seul, il faut juste parler bien fort et ne rien dire pendant l'exercice, sauf les réponses. D'accord ? Si tu veux on va faire un essai avec ta voix, pour voir si le micro entend bien ce que tu dis.

❖ Tâche d'alternance Mots

Sur l'écran tu vas voir apparaître une lettre puis un mot. Dans ces mots, les lettres sont de couleur bleu ou rouge. Pour chaque mot tu dois dire de quelle couleur est la lettre. Par exemple, si tu vois la lettre [P] puis le mot [lapin], tu dois dire la couleur du [P]. Si le P est bleu tu dis « bleu » dans le micro, si le P est rouge alors tu dis juste « rouge » dans le micro. Il faut répondre le plus vite possible mais sans faire de faute.

Tu as vu que jusque là les mots étaient entourés d'un cadre bleu et rouge. A partir de maintenant ils peuvent être entourés d'un cadre noir. Donc, maintenant, quand le cadre est en couleur tu me donnes la couleur de la lettre (ca c'est comme tu as fait avant), et quand le cadre est noir tu dois me dire si la lettre est en gras ou pas. En gras, ça veut dire que le trait est gros et épais. Si le lettre est en gras tu dis « gras », il elle n'est pas en gras tu dis « fin ». Donc je te répète si la cadre est en couleur tu dis « bleu » ou « rouge », si la cadre est noir tu dis « gras » ou « fin ». Essaie toujours de répondre le plus vite que tu peux. Il faut faire attention car le cadre change tout le temps. D'accord ? On va faire un exemple pour que tu comprennes bien.

❖ Tâche d'alternance Symboles

Pour cet exercice, ça va être la même chose que ce que tu viens de faire sauf, que ce ne sera plus une lettre et un mot qui vont apparaître mais un symbole et une serie de symboles. Tu vas regarder le symbole qui apparaît en premier puis regarder dans la suite de quelle couleur est la symbole que tu viens de voir. S'il est bleu tu dis « bleu » et s'il est rouge tu dis « rouge » en répondant le plus vite possible et sans faire de fautes.

Voilà maintenant il peut y avoir un cadre noir autour des symboles. Si le cadre est noir tu dois dire si le symbole est gras ou fin dans le mot. Par contre si le cadre est en couleur tu dois dire si ce symbole est bleu ou rouge. Ca va tu as compris ? On va faire un exemple pour que tu comprennes bien.

❖ Tâche d'alternance Sémantique

Sur l'écran tu vas voir apparaître un mot. Les mots sont, soit écrit en jaune, soit écrit en gris. Tu dois dire dans le micro, le plus vite possible, de quelle couleur est écrit le mot. S'il est écrit en jaune tu dis « jaune » et s'il est écrit en gris tu dis « gris ». D'accord ?» On va faire un exemple.

Tu as vu que jusque là les mots étaient entourés d'un cadre jaune et gris. A partir de maintenant ils peuvent être entourés d'un cadre noir. Ce que je te demande maintenant c'est de me donner la couleur de la lettre quand le cadre est en couleur (ca c'est comme tu as fait avant), mais quand le cadre est noir tu dois me dire si le mot est en rapport avec l'école ou avec les vacances. Par exemple si tu vois le mot « palmier » ca fait penser aux vacances alors tu dis « vacances », par contre le mot « maitresse » ça fait penser à l'école, alors là tu vas dire « école ». Donc je te répète si la cadre est en couleur tu dis « jaune » ou « gris », si la cadre est noir tu dis « école » ou « vacances ». D'accord ? On va faire un exemple pour que tu comprennes bien.

Tu as vu que jusque là les formes étaient entourées d'un cadre vert et rose. A partir de maintenant elles peuvent être entourées d'un cadre noir. Ce que je te demande maintenant c'est de me donner la couleur de la forme quand le cadre est en couleur (ca c'est comme tu as fait avant), mais quand le cadre sera noir tu devras me dire si la forme est un cœur ou un rond. Si c'est un cœur tu dis « cœur » et si c'est un rond tu dis « rond ». Donc je te répète si la cadre est en couleur tu dis « rose » ou « vert », si la cadre est noir tu dis «cœur » ou « rond ». D'accord ? On va faire un exemple pour que tu comprennes bien.

❖ Tâche d'alternance Formes

Sur l'écran tu vas voir apparaître une forme. Elle peut être de couleur verte ou rose. Tu dois dire dans le micro, le plus vite possible, de quelle couleur est la forme. Si elle est rose tu dis « rose » et si elle est verte, tu dis « vert ». D'accord ?» On va faire un exemple.

- Tâche d'alternance Spatiale

Sur l'écran tu vas voir apparaître un soleil. Il peut être blanc ou mauve. Tu dois dire dans le micro, le plus vite possible de quelle couleur est le soleil. S'il est mauve tu dis « mauve » et s'il est blanc tu dis « blanc ». D'accord ?» On va faire un exemple.

Tu as vu que jusque là les soleils étaient entourés d'un cadre blanc et mauve. A partir de maintenant ils peuvent être entourés d'un cadre noir. Ce que je te demande maintenant c'est de me donner la couleur du soleil quand le cadre est en couleur (ca c'est comme tu as fait avant), mais quand le cadre est noir tu devras me dire si le soleil est en haut ou en bas de l'écran. S'il est en haut, tu dis « haut » et s'il est en bas, tu dis « bas ». On va faire comme si l'écran était divisé en deux au milieu (tracer une ligne horizontale imaginaire au centre de l'écran. Quand le soleil est au dessus (monter la partie supérieure de l'écran) on va dire qu'il est en haut. Quand le soleil est en dessous (monter la partie inférieure de l'écran) on va dire qu'il est en bas. Donc je te répète : si le cadre est en couleur tu dis « mauve » ou « blanc », si le cadre est noir tu dis «haut » ou « bas ». D'accord ? On va faire un exemple pour que tu comprennes bien.

ANNEXE 6 : DETAIL DU MATERIEL UTILISE DANS L'ETUDE 3

.1 Courrier envoyé aux participants

Bonjour,

Je suis doctorante en sciences cognitives à l'Université d'Angers. Je réalise actuellement une étude à l'aide d'un dispositif qui permet de suivre les mouvements oculaires. L'objectif est d'étudier le contrôle des mouvements oculaires dans des situations réflexes. Je suis à la recherche d'étudiants de 18 à 25 ans volontaires pour participer à cette étude originale. Les passations durent moins d'une heure (15 min pour le paramétrage de l'appareil puis environ 30 min pour l'étude en elle-même) et sont anonymes. Si vous êtes disponibles, merci de remplir le bulletin ci-joint, je vous contacterai rapidement pour prendre rendez-vous et répondre à vos éventuelles questions.

Je vous remercie pour l'attention que vous voudrez bien porter à cette étude.

Laetitia Boulc'h

Année de naissance : _____

Téléphone : _____

Adresse mail : _____

Problèmes de vue éventuels _____

Merci de nous précisez à quels moments vous seriez éventuellement disponible pour réaliser cette expérience :

_____

_____

_____

.2 Calibrage du système de poursuite oculaire.

Le calibrage s'effectuait en 6 étapes, la durée totale du paramétrage pouvait varier de 3 à 15 minutes en fonction des sujets.

Dans un premier temps un cliché facial était réalisé. Deux caméras étaient positionnées face au sujet. Sur l'écran apparaissaient deux cadres correspondant au champ de chacune de ces caméras. Le sujet devait se placer de telle sorte que son visage apparaisse centré horizontalement dans les cadres des caméras A et B. Pour la caméra A, qui possédait un zoom plus important, les sourcils devaient se situer à l'extrémité supérieure du cadre, et les lèvres à l'extrémité inférieure. Lorsque le sujet était correctement positionné, un cliché était réalisé.

Dans un second temps, plusieurs points de repères étaient positionnés sur cette photo. Ces points de repère correspondaient aux commissures des lèvres, aux coins des yeux ce qui permettait d'établir des repères fixes les uns par rapport aux autres. Puis, des points supplémentaires étaient ajoutés sur des éléments repérables du visage (sourcils, grain de beauté, narines, …) ce qui permettaient d'améliorer la précision et la stabilité du suivi du regard.

Ces points étant positionnés, la troisième étape consistait à régler plus finement ces points de repères, en calibrant leur taille et le filtre de récupération notamment.

Dans un 4ème temps, nous agissions sur les paramètres oculaires pour affiner la qualité des mesures. Les paramètres tels que l'ouverture des yeux, la taille de la pupille et de l'iris, étaient ajustés, les caractéristiques de l'œil et le port de lunettes pouvaient être spécifiés.

La 5ème et la 6ème étape permettaient le calibrage du regard et de l'écran. Pour calibrer le regard, il était demandé au sujet de fixer le centre de la caméra A, puis le centre de la caméra B. Cette manipulation permettait au système de calculer la distance inter-oculaire.

Lors du calibrage de l'écran, on présentait au sujet une matrice sur fond noir sur laquelle apparaissent successivement des points blancs (aux 8 points cardinaux et au centre de l'écran). Le sujet devait fixer chaque point blanc dès qu'il apparaissait. Cette étape permettait au système de comparer la position des points présentés et la position des points de regard enregistrés et de calculer ainsi une distance moyenne d'erreur pour chaque œil. Un calibrage bien effectué devait permettre d'obtenir des valeurs d'angle inférieures à 1 degré. Si la valeur obtenue était supérieure, les cinq dernières phases du calibrage étaient réitérées.

.3 Représentation schématique et illustration du dispositif

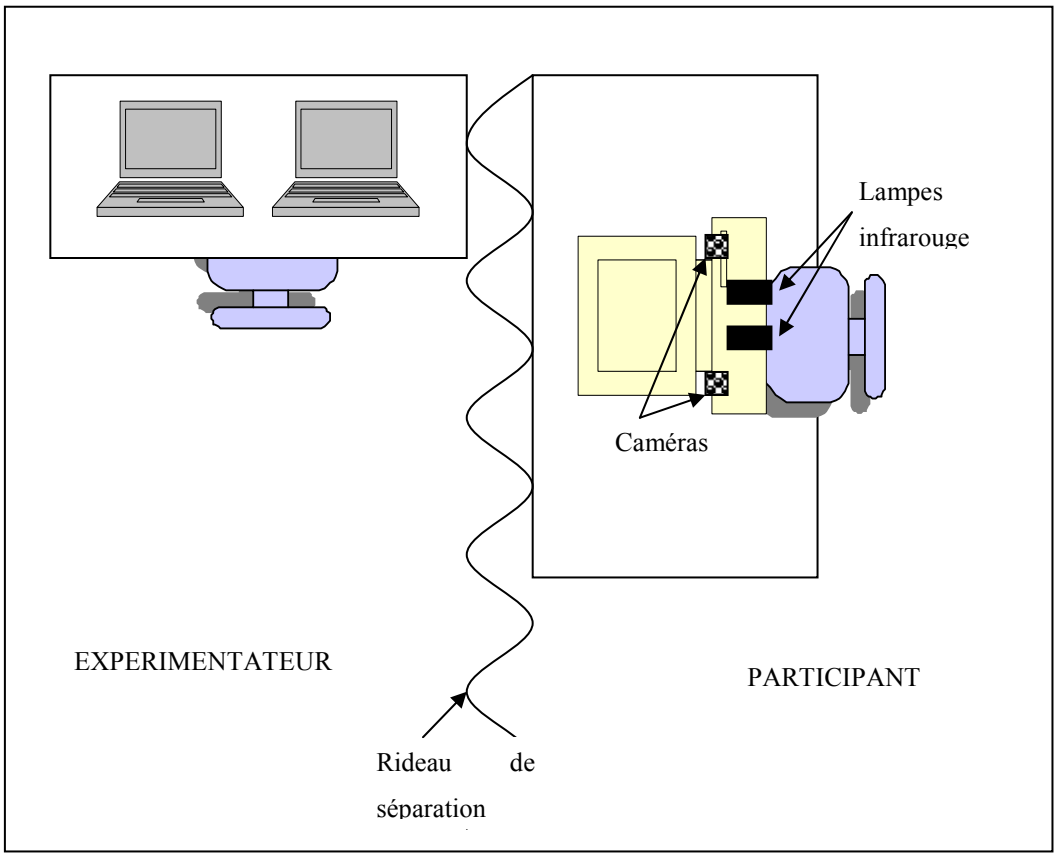


Figure 10 : Représentation schématique de la salle d'expérimentation

Figure 11 : Photographie de l'installation du suiveur oculaire

.4 Prétest de l'étude 3

Dans un premier temps, un prétest a été réalisé auprès de 21 étudiants de tous niveaux et toutes disciplines (lettres, sciences humaines, sciences, iut…). Suite à ces premières passations plusieurs modifications ont été apportées.

La luminosité de l'écran a été atténuée. Les participants se trouvaient dans une pièce obscure, face à un écran blanc sur lequel apparaissait des items noirs (croix de fixation, points, images). Les participants ont signalé à plusieurs reprises une fatigue oculaire et des difficultés à fixer les items sur cet l'écran blanc très lumineux. Dans les passations suivantes, le fond d'écran a été légèrement grisée et la luminosité de l'écran diminuée.

Une autre modification concerne le nombre d'essais présentés dans les tâches de PS + mise à jour et d'AS + mise à jour. Dans chacune de ces tâches nous proposions 8 suites (2 suites de 3, 5, 8 et 12 images). Les résultats obtenus portaient alors sur une nombre trop limité de données, nous avons donc décider d'augmenter le nombre de suites à 12 suites (3 de 3, 5, 8 et 12 items).

Afin, nous avons contrôlé plus précisément l'âge des participants. Dans le prétest les participants étaient âgés de 18 à 32 ans. Pour éviter tout biais du à cette disparité, dans la phase test nous n'avons sélectionné que des lecteurs âgés de 18 à 22 ans.

.5 Images utilisées dans l'étude 3

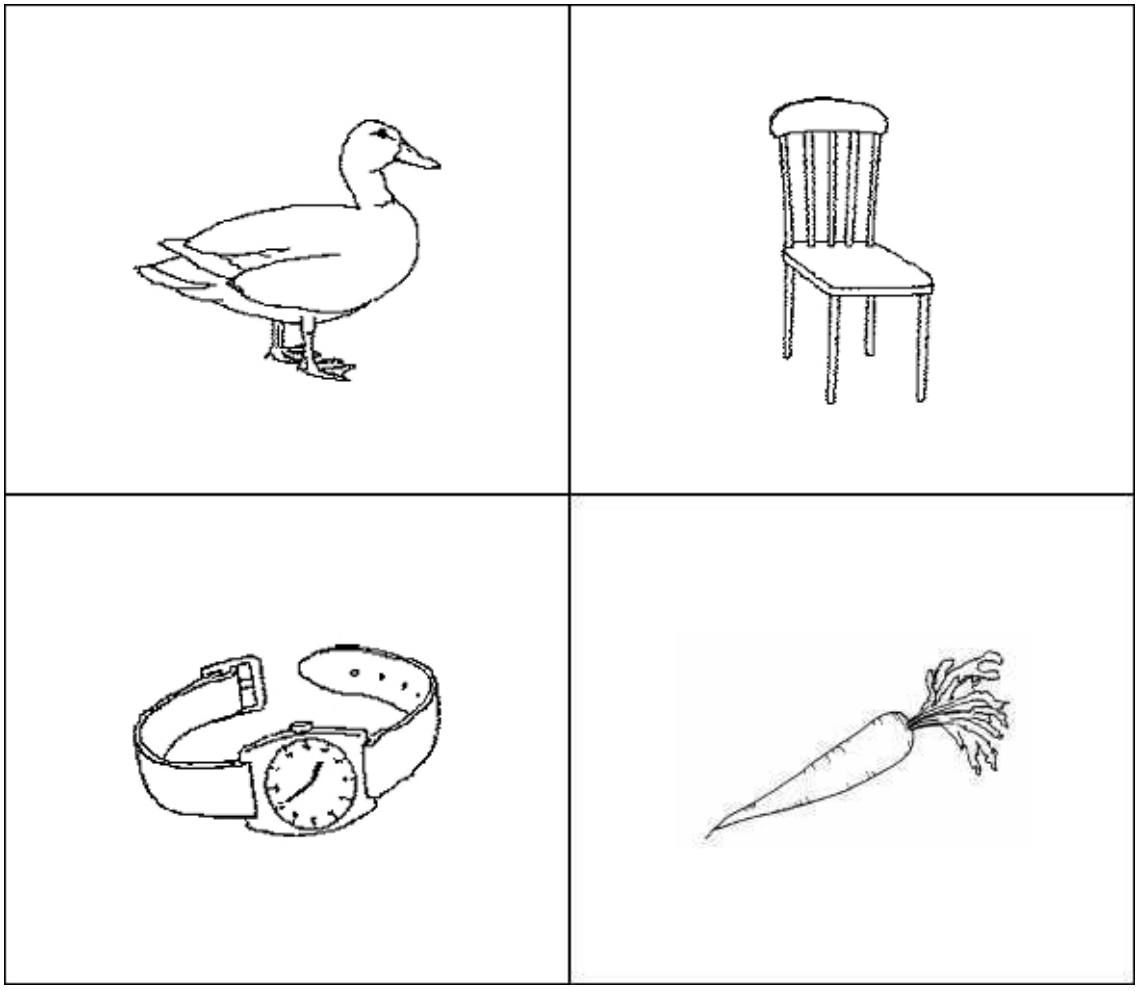


Figure 12 : Exemple d'images présentées dans les tâches de mise à jour AS et PS

Tableau 11 : Noms des images utilisées dans les tâches de mise à jours AS et PS

	Anti-saccades		**Pro-saccades**	
Exemples	Harmonica		Aquarium	
	Domino		Saucisson	
	Balançoire		Pyjama	
Entrainement	Tournevis	Dentifrice	Sapin	Escargot
	Robinet	Coquillage	Pantalon	Cafetière
	Cagoule	Cerf-volant	Trottinette	Canapé
	Chocolat	Coccinelle	Grille-pain	Hélicoptère
Phase Expérimentale	Ane	Girafe	Banc	Chaussures
	Assiette	Guitare	Clé	Echelle
	Autruche	Hache	Doigt	Fenêtre
	Bague	Horloge	Lampe	Marteau
	Balai	Immeuble	Lion	Nuage
	Ballon	Jupe	Nid	Perceuse
	Bol	Lèvres	Œil	Raisin
	Bonnet	Livre	Os	Robot
	Botte	Lunette	Ours	Soleil
	Bouée	Main	Pince	Souris
	Bougie	Montre	Robe	Tomate
	Bouton	Moto	Scie	Tondeuse
	Bras	Mouton	Ski	Yo-yo
	Camion	Nez	Table	Avion
	Canard	Noisette	Verre	Banane
	Carotte	Œuf	Brosse	Basket
	Cartes	Oiseau	Bûches	Bateau
	Casque	Oreille	Bus	Bureau
	Casserole	Orteil	Cage	Cadeau
	Cerise	Panneau	Chien	Cahier
	Chaise	Pêche	Cube	Cheveux
	Chat	Peigne	Dé	Cochon
	Chaussette	Pied	Feu	Collier
	Chenille	Pinceau	Feuille	Culotte
	Cheval	Plume	Fleur	Dauphin
	Ciseaux	Poêle	Jambe	Etoile
	Clou	Poire	Lit	Fusée
	Coq	Pomme	Loup	Garçon
	Couteau	Porte	Luge	Igloo
	Crabe	Poupée	Mouche	Lapin
	Crapaud	Râteau	Niche	Maison
	Crayon	Renard	Roue	Orange
	Croissant	Requin	Tasse	Panier
	Cuillère	Rose	Tente	Passoire
	Echarpe	Singe	Vache	Piano
	Fauteuil	Stylo	Poule	Poisson
	Fourchette	Tortue	Zèbre	Poulet
	Fourmi	Train	Ampoule	Poussette
	Fraise	Valise	Bouteille	Tambour
	Fromage	Vase	Brouette	Tee-shirt
	Gant	Vélo	Cabane	Trompette
	Gâteau	Veste	Chapeau	Voiture

.6 Consignes des différentes tâches d'alternance de l'étude 3

- Pro-saccades contrôle

Sur l'écran, apparaitront une croix, puis un point. Vous devrez fixez la croix, puis regarder le point. Il faut réagir le plus rapidement possible et sans faire d'erreurs. Voici un exemple.
Avant de commencer l'exercice, vous allez vous entraîner sur quelques essais. Concentrez-vous.
Fin de la séquence d'entraînement. Début de la phase expérimentale. Concentrez-vous.

- Anti-saccades contrôle

Sur l'écran, apparaitront une croix, puis un point. Vous devrez fixez la croix, puis regarder à l'opposer du point. Il faut réagir le plus rapidement possible mais sans faire d'erreurs. Voici un exemple :
Avant de commencer l'exercice, vous allez vous entraîner sur deux essais. Concentrez-vous.
Fin de la séquence d'entraînement. Début de la phase expérimentale. Concentrez-vous.

- Pro-saccades + mise à jour

Sur l'écran, apparaitront une croix, puis un point, puis une image. Vous devrez fixez la croix, puis regarder le point et enfin mémoriser l'image. Il faut réagir le plus rapidement possible mais sans faire d'erreurs. Plusieurs essais seront présentés successivement. A la fin de chaque série d'essais vous devrez rappeler qu'elles étaient les deux dernières images à mémoriser. Attention chaque série comporte un nombre différent d'essais. Voici un exemple :
Avant de commencer l'exercice, vous allez vous entraîner sur deux essais. Concentrez-vous.
Fin de la séquence d'entraînement. Début de la phase expérimentale. Concentrez-vous.

- Anti-saccades + mise à jour

Sur l'écran, apparaitront une croix, puis un point, puis une image. Vous devrez fixez la croix, puis regarder à l'opposer du point et enfin mémoriser l'image. Il faut réagir le plus rapidement possible mais sans faire d'erreurs. Plusieurs essais seront présentés successivement. A la fin de chaque série d'essais vous devrez rappeler qu'elles étaient les deux dernières images à mémoriser. Attention chaque série comporte un nombre différent d'essais.
Avant de commencer l'exercice, vous allez vous entraîner sur deux essais. Concentrez-vous.
Fin de la séquence d'entraînement. Début de la phase expérimentale. Concentrez-vous.

.7 *Modalités de calcul des temps de latence et des erreurs à la tâche de suivi oculaire*

Deux variables dépendantes sont prises en compte : les temps de latence et le nombre d'erreurs. Le temps de latence correspondait au délai (en ms) entre l'apparition du point et le premier mouvement des yeux. Une erreur était commise lorsque le premier mouvement des yeux s'orientait dans la mauvaise direction (à l'opposé du point dan la tâche de PS ou vers le point dans la tâche de AS).

Puisque les yeux sont sujets à d'incessantes micro-saccades, le premier mouvement des yeux correspondait à une saccade franche vers la gauche ou la droite de l'écran. Nous considérions qu'une saccade franche correspondait à un mouvement des yeux se déplaçant de plus de 200 pixels sur la gauche ou la droite de la croix de fixation.

L'écran est divisé dans sa largeur en 1280 pixels. La croix de fixation se situe au niveau du pixel 640, le point gauche au niveau du pixel 150 et le point droit au niveau du pixel 1130 (voir figure 13). Une saccade franche à gauche correspondait à un déplacement vers la gauche au-deçà du pixel 440 (640 - 200) et une saccade franche à droite correspondait à un déplacement vers la droite au-delà du pixel 840 (640 + 200). Tout mouvement des yeux compris entre les pixels 440 et 840 n'était pas considéré comme une saccade franche et n'était donc pas pris en compte dans le décompte des erreurs ou le calcul des temps de latence.

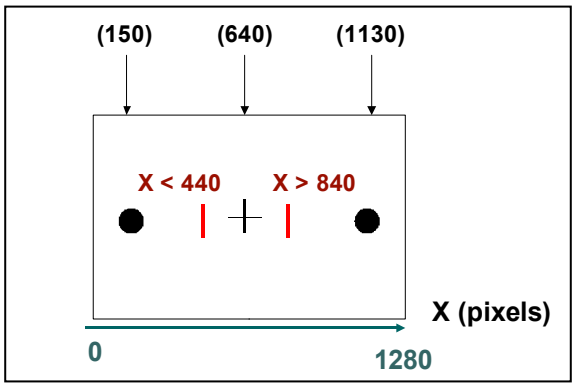


Figure 13 : Calcul des temps de latence et des erreurs

ANNEXE 7 : RÉSULTATS POUR L'ÉTUDE 1

.1 Scores bruts

Tableau 12 : *Scores bruts obtenus aux épreuves préalables (étude 1)*

Enfants (n°)	Groupe	Age réél (mois)	Age lexique (alouette)	Compré-hension	Lecture pseudo-mots	Lecture mots réguliers	Lecture mots irréguliers	Raisonnement (NNAT)	Vocabu-laire
3	FL	105	95	21	12	9	8	5	37
43	FL	101	95	28	17	10	10	6	42
110	FL	102	95	14	19	10	10	10	35
111	FL	104	95	22	19	10	8	9	32
113	FL	103	95	29	20	10	9	6	47
117	FL	105	95	21	16	9	7	7	43
4	FL	103	96	19	17	10	9	9	33
154	FL	107	96	28	20	9	10	7	41
26	FL	104	97	19	17	9	9	8	43
36	FL	102	97	24	20	10	10	6	43
39	FL	106	97	16	16	9	8	9	30
42	FL	104	97	24	17	10	10	5	40
49	FL	101	97	25	20	10	9	7	32
120	FL	108	97	25	17	10	10	5	40
125	FL	109	97	28	19	10	10	8	39
126	FL	105	97	28	20	10	10	6	40
137	FL	109	97	21	20	10	8	9	44
152	FL	105	97	19	20	10	9	8	32
153	FL	107	97	19	19	10	10	8	35
92	FL	97	98	23	18	10	9	8	33
95	FL	101	98	19	20	10	10	7	35
122	FL	105	98	27	17	10	10	10	45
129	FL	102	98	19	20	10	10	7	38
144	FL	101	98	24	20	10	10	5	40
48	FL	109	99	22	17	10	9	8	40
93	FL	108	99	28	14	10	8	7	41
50	NL	109	107	30	19	10	10	7	34
149	NL	102	108	20	20	10	10	6	38
148	NL	104	109	21	20	10	8	7	43
155	NL	107	109	26	19	9	9	9	48
132	NL	106	110	25	20	10	10	9	35
156	NL	105	110	25	20	9	9	10	48
133	NL	104	111	29	20	10	10	9	40
135	NL	109	112	27	17	10	9	7	47
23	NL	109	118	24	18	10	10	7	43
96	NL	107	118	24	17	10	10	6	44
118	NL	108	118	25	18	9	10	8	43
54	NL	103	119	26	20	10	10	8	43
105	NL	101	119	18	20	10	10	8	39
108	NL	102	120	24	19	10	10	8	44
130	NL	108	120	25	19	10	9	7	44
102	NL	97	121	22	20	10	10	8	41
140	NL	99	121	22	20	9	10	7	40
1	NL	109	122	29	19	10	9	8	46
8	NL	106	122	26	20	10	10	5	45
38	NL	107	122	29	20	10	10	9	49
109	NL	105	122	26	20	10	10	7	45
115	NL	105	122	27	20	10	9	6	45
124	NL	107	122	26	20	10	10	8	45
147	NL	109	122	24	17	10	10	8	39

Tableau 13 : *Scores bruts (pourcentage d'erreurs) obtenus aux tâches de CI, CI +alternance et CI + mise à jour, pour les conditions graphèmes, syllabes et symboles*

Enfants (n°)	Groupe	CI Graphèmes	CI Syllabes	CI Symboles	Alternance Graphèmes	Alternance Syllabes	Alternance Symboles	Mise à jour Graphèmes	Mise à jour Syllabes	Mise à jour Symboles
3	FL	16,70	0,00	8,35	0,00	25,00	12,50	17,65	11,76	14,71
43	FL	16,70	27,80	22,25	37,50	25,00	31,25	11,76	5,88	8,82
110	FL	16,70	27,80	22,25	25,00	12,50	18,75	5,88	5,88	5,88
111	FL	0,00	0,00	16,70	0,00	12,50	12,50	5,88	11,76	0,00
113	FL	16,70	0,00	8,35	25,00	0,00	12,50	11,76	0,00	5,88
117	FL	0,00	0,00	0,00	0,00	37,50	18,75	11,76	5,88	8,82
4	FL	16,70	0,00	8,35	37,50	12,50	0,00	35,29	5,88	11,76
154	FL	0,00	16,70	16,70	25,00	25,00	25,00	25,00	11,76	5,88
26	FL	0,00	16,70	5,88	12,50	12,50	25,00	25,00	11,76	5,88
36	FL	0,00	27,80	8,35	0,00	37,50	12,50	11,76	11,76	0,00
39	FL	0,00	8,35	0,00	0,00	25,00	37,50	0,00	17,65	11,76
42	FL	0,00	0,00	12,50	0,00	0,00	12,50	35,29	11,76	17,65
49	FL	16,70	11,76	16,70	12,50	0,00	0,00	11,76	25,00	17,65
120	FL	0,00	16,70	0,00	25,00	25,00	23,53	0,00	17,65	23,53
125	FL	0,00	0,00	27,80	25,00	12,50	25,00	11,76	5,88	5,88
126	FL	16,70	0,00	0,00	25,00	12,50	25,00	29,41	0,00	0,00
137	FL	0,00	0,00	0,00	12,50	25,00	25,00	0,00	0,00	5,88
152	FL	16,70	0,00	22,25	0,00	0,00	12,50	35,29	5,88	11,76
153	FL	5,88	0,00	16,70	0,00	0,00	0,00	5,88	5,88	0,00
92	FL	0,00	11,76	2,94	12,50	12,50	25,00	0,00	5,88	0,00
95	FL	0,00	25,00	11,76	0,00	11,76	25,00	8,35	11,76	5,88
122	FL	0,00	11,76	12,50	25,00	12,50	12,50	0,00	5,88	5,88
129	FL	0,00	0,00	0,00	12,50	0,00	5,88	0,00	5,88	12,50
144	FL	12,50	0,00	22,25	12,50	11,76	12,50	17,65	0,00	11,76
48	FL	12,50	0,00	11,76	5,88	0,00	12,50	0,00	11,76	5,88
93	FL	0,00	8,35	2,94	0,00	8,35	0,00	0,00	5,88	8,35
50	NL	0,00	2,94	0,00	12,50	12,50	16,70	0,00	11,76	5,88
149	NL	16,70	16,70	16,70	0,00	0,00	0,00	5,88	29,41	17,65
148	NL	0,00	8,35	13,90	0,00	6,25	12,50	0,00	11,76	5,88
155	NL	0,00	16,70	8,35	0,00	12,50	6,25	5,88	0,00	2,94
132	NL	0,00	16,70	8,35	0,00	0,00	0,00	0,00	17,65	8,82
156	NL	27,80	16,70	22,25	25,00	12,50	18,75	17,65	17,65	17,65
133	NL	0,00	0,00	0,00	12,50	12,50	12,50	0,00	5,88	2,94
135	NL	16,70	27,80	22,25	0,00	12,50	6,25	5,88	17,65	11,76
23	NL	0,00	0,00	0,00	25,00	0,00	12,50	5,88	0,00	2,94
96	NL	0,00	16,70	8,35	0,00	12,50	6,25	5,88	0,00	2,94
118	NL	27,80	0,00	13,90	0,00	12,50	6,25	0,00	0,00	0,00
54	NL	16,70	16,70	16,70	0,00	12,50	6,25	5,88	11,76	8,82
105	NL	16,70	16,70	16,70	25,00	25,00	25,00	0,00	11,76	5,88
108	NL	16,70	5,88	0,00	0,00	0,00	5,88	5,88	25,00	0,00
130	NL	5,88	8,35	0,00	5,88	12,50	16,70	2,94	0,00	5,88
102	NL	0,00	0,00	0,00	0,00	11,76	12,50	0,00	0,00	8,35
140	NL	11,76	16,70	0,00	11,76	0,00	12,50	23,53	11,76	0,00
1	NL	8,35	16,70	0,00	0,00	0,00	0,00	5,88	5,88	11,76
8	NL	0,00	5,88	16,70	12,50	0,00	16,70	11,76	11,76	0,00
38	NL	6,25	6,25	12,50	11,76	25,00	12,50	11,76	0,00	5,88
109	NL	6,25	0,00	6,25	12,50	12,50	12,50	0,00	0,00	8,35
115	NL	5,88	2,94	12,50	0,00	0,00	6,25	0,00	2,94	0,00
124	NL	0,00	12,50	16,70	12,50	0,00	5,88	2,94	11,76	11,76
147	NL	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,88	8,35

Tableau 14 *: Scores bruts (temps de réponse ms) obtenus aux tâches de CI, CI +alternance et CI + mise à jour, pour les conditions graphèmes, syllabes et symboles*

Enfants (n°)	Groupe	CI Graphèmes	CI Syllabes	CI Symboles	Alternance Graphèmes	Alternance Syllabes	Alternance Symboles	Mise à jour Graphèmes	Mise à jour Syllabes	Mise à jour Symboles
3	FL	953	1174	1063	1364	1039	1202	1261	1235	1248
43	FL	804	852	828	1009	837	923	1012	743	878
110	FL	909	876	892	1417	1272	1345	983	1230	1107
111	FL	754	739	700	904	893	1099	909	994	901
113	FL	1035	1043	1039	1009	1087	1048	1103	1176	1140
117	FL	1070	1106	1088	1111	1293	1202	1234	1377	1306
4	FL	1038	1100	787	1007	1089	852	902	1420	1321
154	FL	1111	1154	1113	1412	1301	1327	1275	1212	1357
26	FL	836	988	1003	1278	1021	1134	996	912	1014
36	FL	978	1001	948	1092	1166	1010	916	1076	1008
39	FL	1126	991	1001	1117	1391	1303	1269	1235	1390
42	FL	990	896	1294	1176	1146	946	961	912	1240
49	FL	749	906	813	963	1071	927	1043	1106	847
120	FL	711	776	844	808	819	841	719	714	743
125	FL	915	888	901	1134	1222	1242	1088	1141	1165
126	FL	1044	934	899	952	939	993	889	975	930
137	FL	952	972	1001	1468	1321	1303	988	881	743
152	FL	1290	1141	1295	1326	1396	1304	1381	1264	1247
153	FL	1162	1046	1010	1263	1159	1339	1213	1139	1211
92	FL	1004	993	901	1013	926	865	852	732	870
95	FL	1016	956	965	1003	892	954	1465	1362	1328
122	FL	1109	886	1155	1005	1332	1339	1419	1135	1500
129	FL	1387	1334	1184	1402	1323	1302	1184	1203	1298
144	FL	1057	901	846	1245	940	954	962	738	894
48	FL	640	664	674	611	684	607	612	639	611
93	FL	970	965	989	1215	1437	1151	1291	942	954
50	NL	914	893	881	945	970	882	970	935	839
149	NL	1053	1155	1104	1111	1116	1114	1045	1130	1088
148	NL	912	1007	960	1012	971	992	1005	933	1019
155	NL	978	1024	1001	954	1089	1022	1044	1112	1078
132	NL	1070	1018	1044	999	994	997	927	1093	1010
156	NL	1075	1203	1139	977	1202	940	1170	1140	1155
133	NL	729	719	724	816	789	803	888	729	809
135	NL	1097	864	981	890	1155	1023	804	1056	930
23	NL	772	622	697	995	772	884	946	868	907
96	NL	987	1006	997	965	976	971	859	832	896
118	NL	649	822	736	643	922	650	1195	690	943
54	NL	1165	1366	1266	949	1139	894	1228	1099	1014
105	NL	1103	1133	1118	1140	1265	1203	1032	1170	1018
108	NL	789	863	845	913	912	934	969	963	818
130	NL	1076	1009	1145	1186	1089	1243	998	1005	1079
102	NL	988	965	1034	1028	1128	1127	1045	986	990
140	NL	909	879	802	921	1029	1023	785	743	909
1	NL	741	758	662	716	654	678	778	872	777
8	NL	1018	1075	1002	1111	1124	1071	1085	943	1009
38	NL	987	936	964	932	1068	1026	1078	999	1018
109	NL	864	859	903	1053	1073	1055	1165	1193	1004
115	NL	890	883	944	840	930	833	953	974	983
124	NL	1011	1087	998	1104	1132	1065	982	1043	988
147	NL	844	989	922	822	837	839	959	917	1068

Tableau 15 : *Nombre de suites correctement rappelées dans les différentes conditions aux tâches de MdT verbale et non-verbale*

Enfants (n°)	Groupe	Verbal						Non-verbal					
		M2-T12	M2-T23	M2-T34	M3-T12	M3-T23	M3-T34	M2-T12	M2-T23	M2-T34	M3-T12	M3-T23	M3-T34
3	FL	4	4	3	3	2	0	3	2	1	4	0	0
43	FL	4	2	1	2	3	0	2	4	1	2	1	0
110	FL	4	4	3	3	3	1	4	3	2	4	3	1
111	FL	3	3	2	3	2	1	3	3	2	2	3	0
113	FL	2	2	2	4	3	1	4	2	2	3	1	0
117	FL	4	3	1	3	2	0	3	3	1	3	2	0
4	FL	4	2	1	2	3	0	2	4	1	2	1	0
154	FL	4	2	1	2	3	0	2	4	1	2	1	0
26	FL	4	4	1	3	1	2	3	4	2	4	3	0
36	FL	4	3	2	3	2	1	3	1	2	1	1	1
39	FL	3	3	2	4	2	2	2	2	2	1	2	0
42	FL	4	3	3	2	2	0	3	3	0	2	2	0
49	FL	4	4	1	1	2	0	3	2	1	4	0	0
120	FL	4	4	0	3	2	1	3	2	0	2	2	0
125	FL	3	2	1	4	3	1	3	3	1	3	2	1
126	FL	3	3	2	3	2	1	3	3	2	2	3	0
137	FL	3	2	1	4	3	1	3	3	1	3	2	1
152	FL	4	3	1	3	2	0	3	3	1	3	2	0
153	FL	4	4	3	3	2	0	3	2	1	4	0	0
92	FL	4	3	1	3	2	0	3	3	1	3	2	0
95	FL	4	4	3	3	3	1	4	3	3	4	3	2
122	FL	4	4	3	4	2	1	3	1	2	1	2	0
129	FL	4	4	3	4	3	1	3	2	3	3	2	0
144	FL	3	3	2	3	2	1	3	3	2	2	3	0
48	FL	4	4	1	3	3	1	3	3	1	4	0	0
93	FL	4	4	3	3	3	1	4	3	3	4	3	2
50	NL	3	2	2	4	2	0	3	3	0	3	1	0
149	NL	3	3	1	4	1	1	2	3	0	2	1	0
148	NL	4	3	2	4	3	1	3	3	1	3	3	0
155	NL	3	4	2	4	3	0	3	4	3	3	2	0
132	NL	4	4	0	3	2	2	3	2	0	2	2	0
156	NL	4	3	2	3	2	1	4	2	1	3	3	1
133	NL	2	2	2	4	3	1	4	2	2	3	1	0
135	NL	4	2	3	4	3	3	4	2	2	3	3	0
23	NL	3	3	2	3	3	2	4	3	3	3	2	0
96	NL	4	4	2	4	2	1	3	3	1	4	3	1
118	NL	4	4	2	4	3	0	4	4	2	3	2	0
54	NL	4	4	2	4	3	2	3	3	2	2	3	1
105	NL	4	3	2	3	2	1	4	2	1	3	3	1
108	NL	3	4	2	3	4	2	3	4	2	3	2	2
130	NL	4	4	3	4	3	1	3	1	2	1	2	0
102	NL	4	4	3	4	3	1	3	2	3	3	2	0
140	NL	2	3	1	3	2	2	2	2	0	2	2	0
1	NL	4	4	2	4	4	0	4	4	2	3	2	1
8	NL	4	4	2	4	4	2	3	3	1	4	3	1
38	NL	3	3	2	3	3	2	3	4	2	3	1	1
109	NL	4	4	2	4	4	1	3	3	1	4	2	2
115	NL	3	3	1	3	3	2	3	3	2	4	3	2
124	NL	4	3	1	3	3	2	3	3	2	3	1	0
147	NL	3	3	3	4	3	1	3	3	1	3	2	1

.2 Tableaux récapitulatifs des effets pour l'étude 1

Tableau 16 : *Pourcentages d'erreurs et temps de réponse pour chaque groupe de lecteurs en fonction du type de Condition (contrôle, alternance, mise à jour), du type de Présentation (graphème, syllabe). (Ecarts-types entre parenthèses)*

	Contrôle		Alternance		Mise à jour	
	Graphèmes	Syllabes	Graphèmes	Syllabes	Graphèmes	Syllabes
	Pourcentage d'erreurs					
Normolecteurs	7,6 (9,1)	9,63 (8,01)	6,95 (8,8)	8,0 (7,9)	4,9 (6,1)	8,8 (8,5)
Faibles lecteurs	6,3 (7,84)	8,0 (10,3)	12,7 (12,6)	13,7 (11,4)	12,2 (12)	8,4 (5,96)
Moyennes	6,96	8,83	9,95	10,99	8,69	8,58
	7,89		10,47		8,63	
	Temps de réponse					
Normolecteurs	943 (136)	964 (163)	959 (130)	1014 (147)	996 (122)	976 (138)
Faibles lecteurs	985 (170)	972 (144)	1127 (207)	1115 (206)	1074 (213)	1057 (222)
Moyennes	964	968	1046	1066	1036	1018
	966		1056		1027	

Tableau 17 : *Pourcentage d'erreurs Temps de réponses et (écarts-type entre parenthèses) obtenus par chaque groupe de lecteurs en fonction du type de Matériel et du type de Condition*

	Verbale			Non-verbale		
	CI Classique	Alternance	Mise à jour	CI Classique	Alternance	Mise à jour
	Pourcentage d'erreurs					
Normolecteurs	9,6 (8,01)	8,0 (7,9)	8,8 (8,5)	8,8 (8.0)	9,6 (6.6)	6,4 (5.2)
Faibles Lecteurs	8,1 (10,3)	13,7 (11,4)	8,4 (5,96)	10,7 (8.6)	16,3 (10.1)	8,2 (9.5)
Moyennes.	8,83	10,99	8,58	9,75	12,95	7,3
	Temps de réponse					
Normolecteurs	964 (163)	1014 (147)	976 (138)	953 (153)	969 (146)	973 (97)
Faibles Lecteurs	972 (144)	1115 (206)	1057 (222)	971 (159)	1097 (201)	1087 (235)
Moyennes.	968	1066	1018	962	1033	1030

Tableau 18 : *Analyse de variance selon le plan <N2>C2*P2 pour les erreurs à la tâche de CI sans et avec mise à jour en présentation verbale et non-verbale*

	ddl	*F*	*p*
Niveau lecture	(1, 48)	<1	ns
Condition	(1, 48)	1,68	ns
Niv Lec*Condition		<1	ns
Présentation	(1, 48)	<1	ns
Niv Lec*Présentation		1,93	ns
Niv Lec*Condition*Présentation	(1, 48)	<1	ns

ANNEXE 8 : RESULTATS POUR L'ETUDE 2

.1 Scores bruts

Tableau 19 : *Scores bruts obtenus aux épreuves préalables par les NL et FL de CE1 (étude 2)*

Enfants (n°)	Groupe	Classe	Age réél (mois)	Age lexique (alouette)	Vitesse en lecture	Compré-hension	Lecture pseudo-mots	Lecture mots réguliers	Lecture mots irréguliers	Raisonnement (NNAT)	Vocabu-laire	Segm. Phoném.
101	FL	CE1	93	85	8	19	20	10	10	8	34	4
111	FL	CE1	99	81	5	17	17	9	8	5	37	0
112	FL	CE1	94	86	7	18	19	10	9	9	43	5
118	FL	CE1	90	84	7	22	20	10	9	9	35	13
120	FL	CE1	97	82	7	26	17	9	9	4	38	6
123	FL	CE1	93	81	6	18	18	8	8	9	38	2
124	FL	CE1	94	84	8	17	18	10	8	4	41	2
125	FL	CE1	95	82	9	16	20	10	8	2	39	2
127	FL	CE1	90	81	6	18	20	10	9	6	34	3
129	FL	CE1	99	87	8	20	19	9	10	8	39	9
130	FL	CE1	93	84	7	24	20	10	9	5	40	1
131	FL	CE1	99	86	8	18	20	10	10	7	38	3
137	FL	CE1	94	82	7	20	19	10	10	7	42	0
163	FL	CE1	96	82	7	22	20	9	9	8	41	11
145	FL	CE1	99	83	6	29	20	10	10	7	45	5
149	FL	CE1	93	85	8	23	20	10	10	6	48	5
153	FL	CE1	91	82	7	20	18	10	10	5	39	6
159	FL	CE1	97	87	9	19	20	10	10	7	44	5
100	NL	CE1	98	93	9	17	19	9	8	5	44	9
102	NL	CE1	97	94	9	24	18	10	10	6	35	12
104	NL	CE1	90	94	17	21	19	10	10	9	39	9
110	NL	CE1	101	95	8	20	19	10	9	6	34	6
115	NL	CE1	90	95	18	28	20	10	10	8	39	5
150	NL	CE1	93	96	8	22	20	10	9	7	38	6
109	NL	CE1	97	96	13	26	20	10	10	10	39	7
138	NL	CE1	100	97	8	20	19	10	10	8	39	2
142	NL	CE1	98	98	16	28	20	10	10	7	38	4
154	NL	CE1	96	98	8	23	19	10	10	6	47	2
103	NL	CE1	96	99	10	19	20	10	10	8	46	6
160	NL	CE1	95	99	10	28	20	10	10	8	40	5
116	NL	CE1	101	99	7	26	20	10	9	10	48	7
132	NL	CE1	92	101	10	20	20	10	9	8	45	15
105	NL	CE1	100	103	11	22	20	10	10	8	42	16
128	NL	CE1	103	103	11	22	20	10	10	6	35	5
133	NL	CE1	103	103	18	20	19	10	10	7	40	4
140	NL	CE1	99	104	19	26	18	10	10	7	38	8
157	NL	CE1	94	104	13	24	20	10	10	7	38	8
144	NL	CE1	92	105	18	27	20	10	10	8	44	6
156	NL	CE1	99	105	20	24	20	10	9	8	43	11
114	NL	CE1	91	107	13	19	19	10	8	8	45	8
121	NL	CE1	92	108	19	18	20	10	10	9	47	8

Tableau 20 : *Scores bruts obtenus aux épreuves préalables par les NL et FL de CM1 (étude 2)*

Enfants (n°)	Groupe	Classe	Age réél (mois)	Age lexique (alouette)	Vitesse en lecture	Compré-hension	Lecture pseudo-mots	Lecture mots réguliers	Lecture mots irréguliers	Raisonnement (NNAT)	Vocabu-laire	Segm. Phoném.
37	FL	CM1	119	94	9	20	19	10	8	6	55	9
58	FL	CM1	112	95	13	27	20	10	10	8	75	16
59	FL	CM1	115	95	11	28	20	10	9	5	57	10
60	FL	CM1	119	95	15	22	20	10	10	6	57	9
27	FL	CM1	123	95	11	27	20	10	9	4	77	14
20	FL	CM1	118	96	10	26	20	10	10	8	69	8
56	FL	CM1	118	96	11	27	18	10	10	7	73	13
49	FL	CM1	127	97	13	24	20	10	10	5	79	6
57	FL	CM1	114	98	7	28	19	10	9	4	61	2
39	FL	CM1	117	98	13	23	20	10	9	9	77	10
17	FL	CM1	114	99	13	27	20	10	10	6	61	9
10	FL	CM1	114	100	9	19	20	10	9	6	62	6
16	FL	CM1	115	100	10	23	18	10	7	8	51	14
22	FL	CM1	118	103	11	26	19	10	8	9	69	7
2	FL	CM1	116	104	13	22	20	10	10	9	61	7
23	FL	CM1	116	104	13	24	20	10	10	5	70	11
3	FL	CM1	119	105	13	22	20	10	9	8	59	8
35	FL	CM1	113	105	7	19	19	10	10	6	79	8
41	FL	CM1	117	105	11	23	20	10	10	6	65	10
48	FL	CM1	122	106	8	23	20	10	10	8	71	6
5	FL	CM1	117	107	12	24	20	10	9	7	71	8
25	FL	CM1	119	107	19	21	18	10	10	8	51	15
36	FL	CM1	117	108	11	20	20	10	9	9	71	6
13	NL	CM1	122	114	25	23	20	10	10	9	69	8
18	NL	CM1	120	114	23	21	19	10	8	9	75	10
1	NL	CM1	120	115	20	26	20	10	10	8	59	10
11	NL	CM1	119	115	28	24	20	10	10	8	77	12
14	NL	CM1	117	117	21	27	20	10	10	6	75	11
33	NL	CM1	121	117	25	25	19	10	10	5	67	11
40	NL	CM1	113	117	26	20	20	10	10	6	69	14
28	NL	CM1	120	119	14	22	19	10	9	9	79	13
29	NL	CM1	121	121	19	23	20	10	10	8	71	9
9	NL	CM1	123	123	16	25	19	10	9	9	67	8
6	NL	CM1	124	125	20	22	20	10	10	7	65	11
42	NL	CM1	117	125	18	27	20	10	10	6	77	9
30	NL	CM1	124	126	19	25	20	10	10	7	61	10
31	NL	CM1	120	126	22	24	19	10	9	7	69	15
53	NL	CM1	113	126	18	28	19	10	10	4	61	12
54	NL	CM1	115	127	20	27	20	10	10	5	73	14
7	NL	CM1	120	128	21	24	20	10	10	6	71	11
32	NL	CM1	116	130	19	26	20	10	9	8	71	16
12	NL	CM1	118	131	34	25	20	10	10	8	77	16
21	NL	CM1	126	132	39	28	20	10	10	5	76	8
52	NL	CM1	117	132	26	26	20	10	10	6	77	14

Tableau 21 : *Scores bruts (temps de réponse) obtenus aux différentes conditions des tâches d'alternance par les NL et FL de CE1*

Enfants (n°)	Groupe	Classe	Tâche Sémantique				Tâche Mots				Tâche Symboles				Tâche Formes				Tâche Spatial			
			Couleur		Sémantique		Couleur		Mots		Couleur		Symboles		Couleur		Formes		Couleur		Position	
			Alt.	Rep.	Alt.	Rep.	Alt.	Rep.	Alt.	Rep.	Alt.	Rep.	Alt.	Rep.	Alt.	Rep.	Alt.	Rep.	Alt.	Rep.	Alt.	Rep.
101	FL	CE1	2768	2428	4292	4151	2660	2384	3311	2557	2881	2830	2523	2212	2157	1964	2675	2347	2190	1998	2312	1825
111	FL	CE1	2439	2600	3746	3135	2543	3019	3496	3491	4277	3430	3832	3134	2944	3067	5093	1961	2211	1797	2202	1882
112	FL	CE1	2775	2407	4001	3272	3330	3612	3343	3021	3206	2640	2666	2230	2074	1965	2549	2304	2168	2384	2642	2042
118	FL	CE1	1897	1877	2203	2109	3383	2226	3316	2997	2094	2093	2871	2578	2583	1626	2283	2913	2302	2194	2824	2214
120	FL	CE1	2517	2678	3845	3257	3298	2250	2486	1667	2339	1968	2085	1066	1872	1963	2836	3052	2401	2147	2532	2711
123	FL	CE1	3142	2802	4259	4110	3093	2508	4395	3732	2276	2495	3994	3313	1761	1768	2308	2136	1624	1442	1745	1592
124	FL	CE1	2494	2303	4515	4597	2927	2409	2018	2290	2797	2262	2742	2785	1800	1964	2595	1995	2211	1797	2202	1882
125	FL	CE1	3046	2530	6403	4488	3159	3578	3317	1633	2872	3162	2708	1233	2430	2222	2952	2342	2724	3059	3027	2629
127	FL	CE1	2830	2540	4052	3683	3336	2787	3196	2721	2797	2397	3040	2490	1862	2320	2572	2594	1886	1921	2138	1902
129	FL	CE1	2438	2035	5228	4086	2632	2698	3419	3401	3334	2629	2874	2111	2271	2146	2762	2468	2305	2690	2582	2015
130	FL	CE1	2680	2134	2569	2358	2178	2038	2214	2128	2199	2134	2200	2221	2529	2137	2031	2247	1810	1529	1517	1481
131	FL	CE1	3215	3045	5838	5928	2937	1882	3834	3179	2639	2100	3308	2760	2047	1973	2523	2418	2019	1835	1833	1740
137	FL	CE1	2353	2366	3187	2952	2813	1992	2695	1928	2473	2438	2327	2354	2077	1806	2369	2087	1766	1687	1914	1657
163	FL	CE1	2475	2407	4001	3272	2728	2257	4395	3031	3206	2640	2666	2230	2165	2074	2549	2304	2168	2384	2642	2042
145	FL	CE1	2519	2196	2773	2482	2042	1817	2845	2129	2275	2242	2260	2287	2088	2001	2151	2169	1818	1601	1653	1533
149	FL	CE1	3591	3489	4929	6720	3509	3352	4443	4123	3760	3070	4042	3704	3139	2368	3126	2362	2734	3417	3818	3321
153	FL	CE1	2977	2822	4792	4531	2978	2771	3676	2787	3458	3115	4070	3647	1720	1896	3808	2190	2115	1816	2017	1811
159	FL	CE1	2272	2262	3192	3267	2703	2264	2550	2611	2554	2324	2476	2810	1881	1626	2666	1572	2404	1759	2571	2024
100	NL	CE1	1925	2621	3009	3267	2707	2551	2845	2560	2662	2216	3220	2930	1976	1913	2302	1778	3257	2896	2064	1941
102	NL	CE1	2462	2958	3978	3485	2456	2043	2395	2679	3120	3531	2722	2469	2419	2065	2125	2591	1920	2289	2715	2417
104	NL	CE1	2521	3027	3330	3413	2689	2132	3343	3021	2687	1962	2497	2528	2076	1622	2078	1845	1827	1897	2317	1966
110	NL	CE1	2259	1973	2487	2386	1992	2433	3345	2489	2331	1950	2767	2532	1811	1814	1665	1804	2057	2019	2002	2285
115	NL	CE1	2051	2035	3424	3571	4277	3921	2988	2933	2754	2479	2668	3642	1836	2473	2635	2730	1783	2059	2127	2549
150	NL	CE1	2817	3161	3606	3166	2502	2576	2997	2557	2700	2326	2482	2582	2251	1633	2099	1911	1823	1755	2172	1943
109	NL	CE1	2254	2234	3429	3550	2497	2365	2672	2394	2403	2476	2559	2756	1748	1815	1724	1750	1390	1318	1612	1284
138	NL	CE1	2120	1847	3568	3026	2024	2074	2386	2218	1776	2075	2507	2083	1896	1923	1959	2059	1815	1875	2285	1933
142	NL	CE1	2578	2511	3699	3246	2603	1950	2506	2882	2805	2627	2542	2554	2406	2041	2281	2081	1847	1888	2308	2062
154	NL	CE1	2964	3093	3561	3250	3142	3517	3465	3315	2777	2545	2678	2629	1750	1995	2545	2320	2129	2090	2059	2037
103	NL	CE1	2990	2484	3493	3376	2731	2297	2620	2619	2638	2470	2272	2288	2167	1700	2786	2005	1666	1752	1775	1931
160	NL	CE1	2345	2402	3525	2967	2502	2668	3084	2718	2400	2871	2887	2734	1812	1934	1767	1752	1832	1905	2230	1979
116	NL	CE1	1681	1176	3211	3142	1072	1248	2510	2204	1285	1085	2173	1466	1576	1525	1586	1733	1796	1978	2381	1990
132	NL	CE1	2984	2490	2993	2876	1568	1379	2256	1327	1394	1376	1474	1202	1997	1989	1963	1684	2088	2092	1989	1679
105	NL	CE1	2845	2468	3793	2710	2459	2537	2058	2356	2777	2545	2678	2329	1577	1860	1933	1883	1975	1616	2125	1933
128	NL	CE1	2286	2267	3561	3583	3002	3076	3997	2557	2208	3053	2662	2433	1803	1553	1651	1673	1672	1666	2048	1564
133	NL	CE1	3031	2827	3747	4054	3435	2773	2739	3488	3689	4100	3291	3038	3138	2934	2694	3160	2489	2858	2984	2986
140	NL	CE1	2153	1943	3489	2973	2967	2156	2309	1700	2021	2619	2787	2501	1756	1844	2098	1823	1796	1978	1981	1990
157	NL	CE1	2284	1856	3251	3248	2511	2469	2772	2464	2396	2760	2711	2490	1704	1745	1837	1793	1765	1780	1842	1766
144	NL	CE1	3484	2990	3493	3376	3111	3078	2694	2512	2891	3073	2971	2699	2497	2389	2463	2184	2588	2592	2889	2179
156	NL	CE1	2760	2687	3599	3263	2906	3177	3645	2909	2799	2609	2665	2612	1885	1688	2114	2058	2086	2079	1957	2061
114	NL	CE1	2698	2203	3584	3400	2136	2017	2018	2493	2603	1984	2872	1932	1970	2046	2235	2365	1945	1386	2029	1926
121	NL	CE1	2358	2518	2825	3111	3011	2970	3179	3774	2673	2866	2842	2699	1565	1520	1732	1885	1835	1773	1689	1875

Tableau 22 : *Scores bruts (temps de réponse) obtenus aux différentes conditions des tâches d'alternance par les NL et FL de CM1*

Enfants (n°)	Groupe	Classe	Tâche Sémantique				Tâche Mots				Tâche Symboles				Tâche Formes				Tâche Spatial			
			Couleur		Sémantique		Couleur		Mots		Couleur		Symboles		Couleur		Formes		Couleur		Position	
			Alt.	Rep.	Alt.	Rep.	Alt.	Rep.	Alt.	Rep.	Alt.	Rep.	Alt.	Rep.	Alt.	Rep.	Alt.	Rep.	Alt.	Rep.	Alt.	Rep.
37	FL	CM1	2577	1962	2876	2522	2412	2292	3448	2654	2402	2272	2953	2288	2088	1861	2153	2056	2052	1922	1871	1950
58	FL	CM1	2704	1805	3142	2532	2422	2513	2445	2230	2624	2480	2868	2667	1968	1813	2215	2252	1978	1760	2270	1692
59	FL	CM1	2506	1944	2837	2491	2631	2298	3098	2885	2517	2153	2825	2440	1904	1795	2482	2065	2122	2031	2254	2176
60	FL	CM1	2261	2020	3074	2407	2698	2293	3063	2857	3009	2689	2990	2865	2308	2120	2455	2262	2467	2063	2342	1961
27	FL	CM1	2143	2037	2454	2468	2508	2469	2750	2831	2211	2372	2514	2434	2081	2358	2387	2275	2251	2243	2268	2187
20	FL	CM1	1962	1917	2201	2247	2165	2212	2445	2347	2208	2255	2473	2330	2074	2018	2378	2211	2142	2138	2296	2046
56	FL	CM1	2225	1961	2660	2549	2297	2372	2841	2742	2327	2205	2933	2506	2040	1793	2074	2113	1802	1769	1953	1836
49	FL	CM1	3543	2363	2987	1863	2568	2890	2775	2458	2409	2177	2811	2600	1814	1749	2353	2084	2275	1945	2418	2339
57	FL	CM1	1934	1759	2377	2024	2168	2096	2555	2399	2268	2143	2555	2424	1983	1774	1859	1743	1976	1827	2037	1891
39	FL	CM1	2243	1896	2703	2509	2590	2367	2474	2728	2327	2239	2869	2508	2041	1777	2440	2114	1754	1661	1840	1714
17	FL	CM1	3707	2527	3151	2027	2432	2654	2839	2722	2573	2341	3175	2764	1978	1913	2517	2248	2153	2109	2582	2503
10	FL	CM1	2136	1556	2573	2433	2752	2050	2814	2223	2579	2077	2514	2185	1815	1727	1998	1731	1620	1984	2320	1626
16	FL	CM1	2812	1732	2688	2524	2209	2224	2727	2301	2267	2282	3490	2359	1763	1200	2109	2131	2182	1851	1830	1823
22	FL	CM1	2534	2175	3107	2520	2841	2550	3284	3086	2535	2268	2912	2394	2254	2041	2376	2259	2086	1808	2514	2010
2	FL	CM1	2843	2290	3154	2630	2727	2357	3074	2530	2695	2325	2713	2543	2404	2231	2449	2258	2653	2270	2038	2805
23	FL	CM1	2828	2382	3138	2609	2447	2344	3367	2706	2725	2460	3297	2212	2521	2476	2130	2103	2322	2044	2783	2339
3	FL	CM1	2435	2456	2525	2129	2513	2143	3060	2816	2580	2252	2735	2349	1947	1974	2592	2601	2101	1822	2284	1712
35	FL	CM1	2428	1757	2905	2570	2688	2383	3062	3067	2418	2054	3234	2492	1761	1700	2598	1867	2026	2059	1944	2272
41	FL	CM1	2474	1644	2630	2478	2481	2137	3171	2262	2373	2179	3002	2272	1789	1463	2053	1931	1901	1918	2539	1724
48	FL	CM1	2735	2283	3133	2587	2472	2417	3308	2641	2585	2351	3441	2383	2393	2249	2318	2207	2353	2041	2028	2385
5	FL	CM1	2323	2149	2263	1902	2089	1948	2648	2437	2157	1916	2406	2113	2010	1918	2139	1919	1604	1518	2753	1898
25	FL	CM1	2675	2229	3085	2856	2606	2703	3026	2865	2814	2611	3664	2292	2231	2291	2397	2324	2361	2283	2391	2578
36	FL	CM1	2499	2189	2674	2379	2348	2325	3337	2601	2336	2263	2535	2202	2120	2104	2268	2122	1982	1901	2180	2238
13	NL	CM1	2023	1666	2828	2998	1991	2031	2357	2246	2221	2137	2632	2325	2101	1988	2247	1845	2024	2207	2137	2159
18	NL	CM1	2234	1849	2582	2141	2105	2053	2479	2417	2015	1971	2487	2417	1720	1655	2259	1890	2027	1911	1759	1734
1	NL	CM1	2539	2257	2989	2863	2197	2752	2437	2089	2410	2255	2295	2347	1059	1019	1956	1920	1429	1586	1829,2	1575
11	NL	CM1	2964	2252	2520	2401	2098	1618	2625	2456	2074	1706	2309	1860	2201	2009	2040	2306	2240	1884	1963	1884
14	NL	CM1	2273	2120	2744	2127	1818	1893	2287	1941	2383	1958	2652	2206	1927	1963	2017	1922	2053	1792	2319	1808
33	NL	CM1	2752	2255	2755	2482	2148	2185	2231	2172	2342	2181	2902	2604	2282	1514	1998	2013	1835	1735	2063	1730
40	NL	CM1	1883	1897	2448	2017	2348	2391	2598	2429	2554	2305	2940	2576	1817	1972	1929	2126	2333	2045	2210	1929
28	NL	CM1	1852	1793	2839	2713	2471	2839	2983	2662	2645	2087	2852	2735	2513	1759	1985	2243	1923	2152	1835,1	2162
29	NL	CM1	2309	2430	2819	2275	2539	2870	3324	2856	2518	3164	2463	2494	2075	2179	2359	2501	2561	2052	1917	2055
9	NL	CM1	1456	1365	2076	1759	2157	1913	2872	2602	1890	2145	2218	1859	1559	1765	1899	1751	2106	2037	1996	1802
6	NL	CM1	1677	1723	1998	1744	1903	1842	1708	1731	2105	2151	1926	2172	1544	1800	1643	1832	2381	2051	2021	2379
42	NL	CM1	2619	2186	2632	2264	2408	1955	3156	2698	2378	2032	2281	2033	2064	1986	2028	2014	2147	1838	2545	1846
30	NL	CM1	2331	2112	2829	2644	2305	2320	2423	2397	2387	2241	2854	2581	2444	1941	2015	2128	1910	2051	2120	1901
31	NL	CM1	2021	1846	2384	2103	2193	1957	2340	2182	2265	2167	2695	2261	1903	1873	1821	1906	2136	1994	1726	1982
53	NL	CM1	2694	2462	3179	2804	2624	2610	2553	2710	3053	2690	2793	2681	2604	2497	2562	2542	2748	2559	2322	2543
54	NL	CM1	2245	2052	2649	2336	2437	2175	3077	2341	2628	2208	2494	2335	2136	2081	2135	2278	2340	2182	2247	2169
7	NL	CM1	1785	1765	2560	2269	2332	2090	2418	2362	2401	1721	2228	2159	2069	1676	2040	2323	1923	1814	2179	2074
32	NL	CM1	3082	2386	3536	3411	3073	2829	3159	3129	3160	3069	3079	2744	2211	2491	2485	2625	2643	2077	2158	2029
12	NL	CM1	1807	1726	1986	1819	2049	2108	2316	2357	1999	2048	2087	2150	2046	1985	2185	1965	1607	1667	1787	1787
21	NL	CM1	1924	1914	1866	1896	2162	2385	2634	2581	2055	2058	2444	2304	1758	1896	1805	1799	2026	1908	1944	1952
52	NL	CM1	2552	2255	2355	2482	1865	1799	2045	2009	2192	2181	2762	2604	1695	1514	2013	1998	1535	1435	1535	1430

Tableau 23 : *Scores bruts (pourcentage d'erreurs) obtenus aux différentes conditions des tâches d'alternance par les NL et FL de CE1*

Enfants (n°)	Groupe	Classe	Tâche Sémantique				Tâche Mots				Tâche Symboles				Tâche Formes				Tâche Spatial			
			Couleur		Sémantique		Couleur		Mots		Couleur		Symboles		Couleur		Formes		Couleur		Position	
			Alt.	Rep.	Alt.	Rep.	Alt.	Rep.	Alt.	Rep.	Alt.	Rep.	Alt.	Rep.	Alt.	Rep.	Alt.	Rep.	Alt.	Rep.	Alt.	Rep.
101	FL	CE1	20	20	30	10	30	20	60	0	30	20	30	10	20	10	10	10	20	10	40	0
111	FL	CE1	50	0	30	0	30	20	40	50	20	10	0	20	30	0	20	0	0	20	10	10
112	FL	CE1	0	10	40	30	20	0	30	30	20	10	0	10	0	10	20	0	0	10	20	0
118	FL	CE1	0	0	0	0	0	10	20	0	10	0	10	0	0	0	20	20	0	0	10	0
120	FL	CE1	20	20	30	0	10	0	20	30	10	0	20	10	20	10	40	0	20	10	30	10
123	FL	CE1	0	0	0	0	20	0	0	20	10	0	20	0	0	10	10	0	0	0	0	0
124	FL	CE1	0	0	50	20	30	0	50	20	40	10	50	20	30	20	40	10	20	20	50	40
125	FL	CE1	20	0	20	0	10	0	10	0	0	0	10	0	0	0	0	0	20	0	0	0
127	FL	CE1	10	0	30	0	20	10	20	10	20	10	20	10	20	0	20	0	0	0	0	0
129	FL	CE1	0	10	40	0	0	10	10	0	0	10	20	10	20	0	0	10	0	10	0	0
130	FL	CE1	20	0	20	0	20	10	30	10	10	0	0	10	0	0	10	0	0	0	0	0
131	FL	CE1	0	0	10	0	20	10	20	0	0	0	0	0	0	10	20	0	10	0	10	0
137	FL	CE1	20	10	30	30	20	0	30	30	30	10	20	20	20	10	20	0	20	0	20	0
163	FL	CE1	10	0	30	30	10	10	10	20	10	0	30	0	10	0	0	10	0	10	10	20
145	FL	CE1	20	20	30	0	10	0	20	30	10	0	0	10	20	30	40	0	20	10	30	10
149	FL	CE1	0	0	0	0	20	0	0	20	20	10	10	0	0	10	10	0	0	0	0	0
153	FL	CE1	0	0	10	0	20	10	10	10	0	10	0	0	10	0	10	0	10	0	30	10
159	FL	CE1	10	0	20	20	0	10	30	20	30	10	10	10	10	10	0	0	10	0	10	0
100	NL	CE1	10	0	20	0	20	10	0	10	10	10	20	10	0	10	30	0	0	0	20	20
102	NL	CE1	0	0	10	0	20	10	20	0	10	0	10	10	10	0	0	0	10	10	10	0
104	NL	CE1	0	10	0	0	20	0	10	20	10	0	10	0	10	0	20	0	20	10	20	0
110	NL	CE1	10	0	20	0	20	10	0	10	20	20	20	10	0	10	10	0	0	0	30	20
115	NL	CE1	0	20	20	0	0	0	20	0	20	10	0	0	10	10	20	0	20	10	20	10
150	NL	CE1	0	0	0	10	10	10	10	0	10	10	20	0	10	0	10	0	0	0	10	0
109	NL	CE1	0	0	10	0	0	10	10	0	10	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0
138	NL	CE1	10	0	20	10	30	20	10	0	10	0	10	10	0	10	0	0	0	0	10	10
142	NL	CE1	10	10	20	0	10	10	20	0	10	0	10	10	20	10	30	0	10	0	20	10
154	NL	CE1	0	0	10	10	0	0	10	0	10	0	10	10	0	0	0	0	0	0	0	10
103	NL	CE1	0	0	0	0	10	0	0	0	0	10	0	10	0	0	10	10	0	0	0	0
160	NL	CE1	20	20	30	20	20	10	40	20	10	0	0	0	20	10	30	10	10	20	20	30
116	NL	CE1	0	0	0	0	0	0	20	30	10	0	10	0	10	0	20	0	30	10	10	0
132	NL	CE1	20	20	10	20	20	10	20	0	20	10	20	10	20	20	0	30	10	20	20	0
105	NL	CE1	0	20	20	0	10	0	20	0	0	10	0	0	10	10	20	0	10	10	30	10
128	NL	CE1	0	0	20	0	20	10	20	0	10	10	0	20	0	0	0	0	0	10	0	0
133	NL	CE1	0	0	0	0	0	10	10	0	10	10	10	0	10	0	0	10	20	0	0	0
140	NL	CE1	0	0	10	0	20	10	20	10	10	0	20	10	0	0	0	0	10	20	20	10
157	NL	CE1	10	10	10	0	20	10	10	0	10	0	10	0	0	0	10	10	10	0	10	0
144	NL	CE1	10	20	20	0	10	20	10	0	0	0	10	20	0	0	0	0	0	0	10	0
156	NL	CE1	30	0	20	10	0	10	30	0	0	10	10	10	0	0	10	10	0	10	0	0
114	NL	CE1	0	0	0	0	30	0	20	0	10	0	20	10	10	0	10	0	0	10	10	0
121	NL	CE1	10	30	30	10	20	0	10	20	10	0	20	20	20	0	20	0	20	0	20	0

Tableau 24 : *Scores bruts (pourcentage d'erreurs) obtenus aux différentes conditions des tâches d'alternance par les NL et FL de CM1*

Enfants (n°)	Groupe	Classe	Tâche Sémantique				Tâche Mots				Tâche Symboles				Tâche Formes				Tâche Spatial			
			Couleur		Sémantique		Couleur		Mots		Couleur		Symboles		Couleur		Formes		Couleur		Position	
			Alt.	Rep.	Alt.	Rep.	Alt.	Rep.	Alt.	Rep.	Alt.	Rep.	Alt.	Rep.	Alt.	Rep.	Alt.	Rep.	Alt.	Rep.	Alt.	Rep.
37	FL	CM1	0	0	10	10	0	10	20	10	10	10	10	10	0	0	0	20	0	0	20	20
58	FL	CM1	0	10	30	0	10	0	10	10	10	0	0	10	0	10	0	0	10	0	0	0
59	FL	CM1	20	10	30	20	20	20	20	20	10	0	10	10	10	0	30	20	20	10	30	10
60	FL	CM1	0	0	10	0	10	0	0	0	0	10	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0
27	FL	CM1	0	0	10	0	10	0	10	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	FL	CM1	10	0	30	0	0	0	20	10	10	0	10	0	10	0	10	0	0	0	10	0
56	FL	CM1	10	0	10	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0
49	FL	CM1	0	0	10	10	0	10	0	0	0	0	0	10	0	0	20	10	0	10	10	0
57	FL	CM1	0	0	0	0	10	0	10	0	0	0	10	0	10	0	0	10	10	0	10	0
39	FL	CM1	20	0	20	0	20	10	30	10	20	10	20	10	10	0	20	10	0	0	0	0
17	FL	CM1	0	0	0	0	0	0	10	0	10	0	10	0	10	0	10	10	10	0	10	10
10	FL	CM1	0	0	0	0	20	10	30	0	30	0	20	0	10	20	0	0	0	0	0	0
16	FL	CM1	0	0	20	0	10	10	20	0	0	0	10	0	10	0	20	10	10	0	10	10
22	FL	CM1	0	0	10	0	30	20	10	0	20	0	10	20	10	0	10	0	0	0	10	0
2	FL	CM1	10	0	20	10	10	0	10	0	0	0	20	10	10	0	10	20	10	0	20	20
23	FL	CM1	20	0	30	0	20	10	30	20	10	20	20	10	10	10	0	10	10	10	10	0
3	FL	CM1	0	0	20	20	10	0	0	0	10	0	10	10	0	0	10	0	0	0	0	0
35	FL	CM1	10	10	20	10	0	0	10	0	10	20	10	0	0	0	0	10	10	20	20	20
41	FL	CM1	10	0	0	10	20	0	20	0	10	10	30	10	0	20	20	0	0	0	0	0
48	FL	CM1	0	0	0	0	30	30	10	0	0	0	0	10	0	10	0	0	0	10	20	0
5	FL	CM1	0	10	0	0	0	0	20	0	10	20	20	10	0	10	10	0	0	0	10	10
25	FL	CM1	10	0	10	10	10	10	20	10	20	0	20	0	10	0	30	0	0	0	10	0
36	FL	CM1	0	10	20	0	10	0	0	0	10	0	10	0	0	0	0	0	0	10	10	0
13	NL	CM1	0	0	20	0	0	0	10	0	0	0	0	10	0	0	10	0	10	0	10	0
18	NL	CM1	0	0	10	10	10	0	0	0	10	0	10	0	0	0	10	0	0	0	0	0
1	NL	CM1	10	0	0	0	10	0	10	0	10	0	10	0	20	0	0	10	0	0	10	10
11	NL	CM1	0	20	0	30	0	0	0	0	0	0	10	10	10	0	0	10	10	10	10	10
14	NL	CM1	0	0	10	0	20	10	10	0	20	10	30	20	0	0	20	0	0	0	0	0
33	NL	CM1	20	0	0	30	10	0	20	10	20	10	10	0	10	0	10	10	10	0	0	0
40	NL	CM1	0	10	0	0	20	10	20	20	10	10	10	0	20	20	30	10	0	10	0	0
28	NL	CM1	10	0	0	0	10	10	10	0	10	10	10	10	20	10	10	0	10	0	10	10
29	NL	CM1	0	0	0	0	0	0	10	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	10	10
9	NL	CM1	0	0	0	0	10	0	20	0	20	0	0	10	10	0	20	10	0	10	20	10
6	NL	CM1	0	0	0	0	10	10	10	0	10	0	10	0	0	0	0	0	0	0	10	10
42	NL	CM1	0	0	10	0	10	10	10	10	0	0	20	0	0	20	0	10	0	0	20	10
30	NL	CM1	0	0	20	0	20	20	10	0	0	10	0	0	0	0	0	0	10	0	0	10
31	NL	CM1	20	10	0	0	0	10	20	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	10	20	20
53	NL	CM1	0	0	10	0	0	10	0	0	10	20	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0
54	NL	CM1	0	0	0	0	10	10	0	0	10	10	10	10	0	0	0	0	0	10	10	0
7	NL	CM1	0	10	20	0	0	0	10	0	0	10	0	0	0	0	10	20	10	10	10	10
32	NL	CM1	0	0	20	0	10	0	0	10	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0
12	NL	CM1	0	0	10	0	0	0	10	0	10	0	0	0	10	0	10	0	0	0	0	0
21	NL	CM1	10	20	0	0	10	0	10	10	10	20	0	0	0	10	10	10	0	20	10	0
52	NL	CM1	20	0	10	0	10	0	0	0	0	0	10	10	0	20	0	0	10	0	0	0

Tableau 25 : *Nombre de suites correctement rappelées dans les différentes conditions aux tâches de MdT verbale et non-verbale pour les enfants de NL et FL de CE1*

Enfants (n°)	Groupe	Classe	Verbal						Non-verbal					
			M2-T12	M2-T23	M2-T34	M3-T12	M3-T23	M3-T34	M2-T12	M2-T23	M2-T34	M3-T12	M3-T23	M3-T34
101	FL	CE1	3	2	1	2	0	1	4	3	2	4	3	1
111	FL	CE1	2	2	0	1	1	0	3	0	0	0	0	0
112	FL	CE1	3	3	1	1	2	0	4	3	2	3	2	0
118	FL	CE1	3	3	2	2	2	1	4	2	0	2	2	0
120	FL	CE1	2	4	2	3	1	0	3	2	0	3	1	0
123	FL	CE1	4	2	0	0	0	0	3	3	1	2	0	0
124	FL	CE1	3	3	2	1	2	0	4	2	2	3	1	0
125	FL	CE1	4	2	0	0	0	0	3	2	0	0	0	0
127	FL	CE1	4	3	0	0	0	0	4	2	1	3	0	0
129	FL	CE1	4	3	2	3	0	0	3	4	1	2	2	0
130	FL	CE1	4	2	2	2	2	1	3	2	0	2	2	0
137	FL	CE1	4	3	1	1	0	0	3	2	0	3	2	0
145	FL	CE1	2	4	0	1	0	0	3	3	1	2	0	0
149	FL	CE1	3	3	1	3	2	0	3	3	1	1	2	0
153	FL	CE1	3	4	1	2	1	0	4	2	1	3	0	0
159	FL	CE1	3	4	2	2	2	1	3	3	1	3	2	0
163	FL	CE1	3	2	1	1	1	0	3	4	1	2	2	1
166	FL	CE1	4	2	0	2	0	0	4	2	1	3	1	0
100	NL	CE1	3	3	2	2	2	1	3	3	1	4	2	0
102	NL	CE1	3	2	2	2	2	0	2	2	1	3	1	0
104	NL	CE1	3	3	0	2	0	0	3	2	0	3	2	0
110	NL	CE1	4	2	0	0	0	0	4	1	0	1	2	0
115	NL	CE1	4	2	2	3	2	0	4	4	1	3	1	0
150	NL	CE1	3	4	0	2	0	0	4	3	1	2	2	1
109	NL	CE1	2	4	0	3	0	0	2	2	1	3	1	0
138	NL	CE1	4	3	0	2	2	0	3	3	1	1	2	0
142	NL	CE1	4	3	1	3	0	0	4	3	2	4	3	1
154	NL	CE1	3	3	1	1	1	0	3	3	1	3	3	0
103	NL	CE1	3	3	2	3	2	1	3	4	2	2	2	0
160	NL	CE1	3	2	1	3	3	2	4	2	2	3	1	0
116	NL	CE1	3	3	0	2	0	0	3	2	0	3	2	0
132	NL	CE1	3	2	1	3	1	1	4	2	1	3	0	0
105	NL	CE1	4	3	3	3	1	0	4	3	2	3	0	1
128	NL	CE1	3	2	2	3	2	0	4	2	1	3	0	0
133	NL	CE1	2	2	2	4	3	1	4	2	2	3	1	0
140	NL	CE1	3	3	2	3	2	1	2	4	0	3	2	0
157	NL	CE1	2	4	0	3	0	0	3	1	1	2	2	0
144	NL	CE1	3	3	2	2	2	1	4	3	1	3	2	0
156	NL	CE1	4	3	0	2	2	0	3	3	1	1	2	0
114	NL	CE1	4	3	1	3	1	0	4	3	2	4	3	1
121	NL	CE1	3	3	1	1	1	0	3	3	1	3	3	0

Tableau 26 : *Nombre de suites correctement rappelées dans les différentes conditions aux tâches de MdT verbale et non-verbale pour les enfants de NL et FL de CM1*

Enfants (n°)	Groupe	Classe	Verbal						Non-verbal					
			M2-T12	M2-T23	M2-T34	M3-T12	M3-T23	M3-T34	M2-T12	M2-T23	M2-T34	M3-T12	M3-T23	M3-T34
37	FL	CM1	4	4	3	4	2	0	2	1	1	1	1	1
58	FL	CM1	4	3	2	3	2	1	3	1	2	1	1	1
59	FL	CM1	4	4	1	1	2	0	3	2	1	4	0	0
60	FL	CM1	4	4	0	4	4	2	4	3	3	4	3	2
27	FL	CM1	4	3	2	4	3	4	4	4	1	3	2	0
20	FL	CM1	3	4	3	4	3	4	3	2	3	3	2	0
56	FL	CM1	4	4	1	2	1	0	2	2	0	2	2	0
49	FL	CM1	3	4	2	4	3	0	4	4	2	2	2	1
57	FL	CM1	4	3	3	4	3	2	3	4	2	3	1	1
39	FL	CM1	4	3	2	3	3	2	3	3	1	3	2	1
17	FL	CM1	3	4	1	2	3	0	4	2	0	2	0	0
10	FL	CM1	4	4	1	3	1	2	3	4	2	4	3	0
16	FL	CM1	3	4	2	4	3	0	4	3	3	2	3	0
22	FL	CM1	4	4	3	3	3	1	4	3	3	4	3	2
2	FL	CM1	4	4	3	4	3	1	3	2	3	3	2	0
23	FL	CM1	4	4	1	3	3	1	3	3	1	4	0	0
3	FL	CM1	4	3	3	4	4	0	3	3	2	2	2	1
35	FL	CM1	4	4	2	3	3	1	3	3	2	3	2	0
41	FL	CM1	4	3	0	1	1	0	2	3	1	3	2	0
48	FL	CM1	4	4	3	4	2	1	3	1	2	1	2	0
5	FL	CM1	3	3	2	4	2	2	2	2	2	1	2	0
25	FL	CM1	4	4	1	2	1	0	2	2	0	2	2	0
36	FL	CM1	4	3	2	4	2	0	4	2	1	2	1	1
13	NL	CM1	4	4	3	4	3	3	4	4	2	3	2	1
18	NL	CM1	4	2	1	3	2	3	3	3	1	4	3	1
1	NL	CM1	4	2	1	2	1	1	2	3	0	2	1	0
11	NL	CM1	3	3	2	3	3	2	4	4	2	3	1	1
14	NL	CM1	4	4	2	4	2	1	4	3	0	3	3	2
33	NL	CM1	3	2	2	4	2	0	3	3	0	3	1	0
40	NL	CM1	4	4	2	4	3	2	3	3	2	2	3	1
28	NL	CM1	4	4	2	4	3	0	4	3	1	3	1	1
29	NL	CM1	4	4	2	4	1	1	3	3	1	4	2	1
9	NL	CM1	4	2	3	4	3	1	4	2	2	3	3	0
6	NL	CM1	4	4	2	3	4	1	3	4	1	3	2	0
42	NL	CM1	3	2	1	2	3	0	3	2	0	2	2	0
30	NL	CM1	4	3	2	3	3	2	3	3	1	3	2	1
31	NL	CM1	3	4	2	4	3	0	4	4	2	2	2	1
53	NL	CM1	3	4	1	2	3	0	4	2	0	2	0	0
54	NL	CM1	4	3	1	3	3	2	4	3	2	3	1	0
7	NL	CM1	4	4	2	3	3	3	4	2	3	3	2	0
32	NL	CM1	3	4	2	3	3	2	4	4	2	3	2	1
12	NL	CM1	4	4	2	4	3	3	3	3	1	4	0	0
21	NL	CM1	4	3	3	4	4	2	4	3	3	4	3	2
52	NL	CM1	4	4	4	3	4	2	4	2	2	3	3	0

.2 Tableaux récapitulatifs des effets pour l'étude 2

Tableau 27 : *Temps de réponse (ms) obtenus aux deux tâches d'alternance pour chaque groupe de lecteurs en fonction du type de réponse (entraînée ou non entraînée) et de la Condition (item répété ou alterné). (Ecarts-types entre parenthèses)*

	Verbal								Non-Verbal											
	Tâche Sémantique				Tâche Mots				Tâche Symboles				Tâche Formes				Tâche Spatiale			
	Entraînée (couleur)		Non entraînée (cat. sem.)		Entraînée (couleur)		Non entraînée (casse)		Entraînée (couleur)		Non entraînée (casse)		Entraînée (couleur)		Non entraînée (forme)		Entraînée (couleur)		Non entraînée (position)	
	Répété	Alterné	Répété	Alterné	Répété	Alterné	Répété	Alterné	Répété	Alterné	Répété	Alterné	Répété	Alterné	Répété	Alterné	Répété	Alterné	Répété	Alterné
CE1 NL	2424 (484)	2515 (425)	3236 (337)	3419 (335)	2495 (624)	2621 (641)	2616 (524)	2818 (510)	2504 (641)	2512 (526)	2483 (492)	2648 (361)	1913 (330)	1983 (366)	2037 (375)	2098 (350)	1980 (390)	1973 (378)	2012 (335)	2155 (342)
CE1 FL	2495 (382)	2690 (400)	3799 (1187)	4101 (1099)	2546 (549)	2902 (408)	2745 (701)	3274 (719)	2553 (422)	2857 (590)	2509 (697)	2926 (655)	2049 (326)	2188 (400)	2303 (336)	2769 (704)	2081 (533)	2158 (305)	2016 (462)	2342 (560)
CM1 NL	2015 (291)	2239 (438)	2359 (433)	2599 (407)	2220 (374)	2249 (289)	2398 (325)	2572 (402)	2213 (362)	2365 (325)	2355 (264)	2543 (310)	1884 (323)	1987 (360)	2092 (256)	2068 (222)	1951 (243)	2092 (342)	1949 (255)	2029 (239)
CM1 FL	2045 (269)	2545 (430)	2402 (252)	2797 (306)	2349 (218)	2481 (202)	2626 (258)	2940 (308)	2277 (173)	2476 (213)	2418 (186)	2909 (347)	1928 (292)	2056 (214)	2125 (196)	2293 (199)	1955 (192)	2094 (258)	2074 (320)	2249 (276)

Tableau 28: *Pourcentages d'erreurs obtenus aux deux tâches d'alternance verbales pour chaque groupe de lecteurs en fonction du type de réponse (entraînée ou non entraînée) et de la Condition (item répété ou alterné). (Ecarts-types entre parenthèses)*

	Verbal								Non-Verbal											
	Tâche Sémantique				Tâche Mots				Tâche Symboles				Tâche Formes				Tâche Spatial			
	Entraînée (couleur)		Non entraînée (cat. sem.)		Entraînée (couleur)		Non entraînée (casse)		Entraînée (couleur)		Non entraînée (casse)		Entraînée (couleur)		Non entraînée (forme)		Entraînée (couleur)		Non entraînée (position)	
	Répété	Alterné	Répété	Alterné	Répété	Alterné	Répété	Alterné	Répété	Alterné	Répété	Alterné	Répété	Alterné	Répété	Alterné	Répété	Alterné	Répété	Alterné
CE1 NL	6,95 (9,73)	6,08 (8,38)	3,91 (6,56)	13,04 (9,73)	7,39 (6,19)	13,47 (9,82)	5,22 (8,97)	14,78 (9,47)	4,78 (5,93)	9,56 (5,62)	7,39 (6,88)	10,87 (7,33)	3,47 (7,14)	3,91 (5,83)	3,47 (7,14)	10,87 (10,83)	6,08 (7,22)	7,82 (9,02)	5,65 (8,43)	12,61 (9,63)
CE1 FL	5,01 (7,85)	11,11 (13,23)	7,77 (12,15)	23,33 (14,55)	6,66 (6,86)	16,11 (9,78)	16,66 (14,14)	22,77 (16,01)	6,11 (6,07)	15,01 (12,01)	7,77 (13,88)	13,89 (13,77)	7,22 (8,26)	11,67 (10,98)	3,33 (16,11)	16,11 (13,34)	5,56 (7,04)	8,33 (9,23)	5,56 (10,41)	15,01 (15,43)
CM1 NL	3,33 (6,58)	4,29 (7,46)	3,33 (9,13)	6,67 (7,06)	4,76 (6,02)	8,10 (6,80)	2,86 (5,61)	9,05 (7,00)	5,71 (6,76)	7,14 (7,17)	4,76 (6,02)	6,67 (7,96)	3,81 (7,40)	4,76 (7,50)	4,29 (5,98)	6,67 (8,56)	3,81 (5,90)	3,81 (4,98)	5,24 (6,02)	7,14 (7,37)
CM1 FL	2,17 (4,22)	5,22 (7,30)	4,35 (6,62)	13,48 (10,71)	6,09 (8,39)	11,30 (9,20)	3,91 (6,56)	14,35 (11,99)	4,35 (7,28)	9,13 (7,93)	6,09 (5,83)	10,87 (8,48)	3,48 (6,47)	4,78 (5,11)	5,65 (7,28)	8,70 (10,14)	3,04 (5,59)	3,92 (5,83)	4,35 (7,28)	9,57 (8,25)

.3 Détail des analyses des corrélations pour l'étude 2

Tableau 29 : *Coefficients de corrélation entre les épreuves préalables et les différentes mesures verbales de MdT, de CE et l'âge lexique. Résultats pour les enfants de CE1*

	Épreuves Préalables			
	Compréhension	Raisonnement (NNAT)	Vocabulaire	Segment. Phonémique
Age lexique	**0,47**	0,09	**0,71**	**0,56**
Ep. CE Verbales				
Mots TR	-0,13	0,08	**-0,32**	-0,18
Mots Err	0,15	0,03	-0,04	0,11
Sémantique TR	-0,07	-0,06	-0,18	-0,08
Sémantique Err	-0,12	-0,25	**-0,28**	**-0,23**
Ep. MdT Verbales				
M2 T1/2	0,06	0,02	0,09	0,06
M2 T2/3	0,02	0,01	-0,12	-0,01
M2 T3/4	0,08	0,03	0,17	0,19
M3 T1/2	**0,29**	0,08	0,22	0,21
M3 T2/3	0,04	-0,02	0,08	0,03
M3 T3/4	0,08	0,05	0,08	0,01

Coefficient en gras = p<.05

Tableau 30 : *Coefficients de corrélation entre les épreuves préalables et les différentes mesures verbales de MdT, de CE et l'âge lexique. Résultats pour les enfants de CM1*

	Épreuves Préalables			
	Compréhension	Raisonnement (NNAT)	Vocabulaire	Segment. Phonémique
Age lexique	0,15	0,01	**0,32**	**0,42**
Ep. CE Verbales				
Mots TR	**-0,32**	-0,03	-0,23	**-0,28**
Mots Err	-0,24	0,04	-0,23	-0,19
Sémantique TR	-0,10	-0,07	-0,08	**-0,25**
Sémantique Err	0,05	0,07	-0,04	-0,03
Ep. MdT Verbales				
M2 T1/2	0,10	0,13	**0,30**	0,05
M2 T2/3	0,07	0,07	**0,28**	0,08
M2 T3/4	-0,02	0,15	0,15	-0,09
M3 T1/2	0,14	0,08	**0,33**	0,02
M3 T2/3	0,16	0,14	**0,34**	0,04
M3 T3/4	0,19	0,06	**0,41**	0,08

Coefficient en gras = p<.05

Tableau 31 : *Coefficients de corrélation entre les épreuves préalables et les différentes mesures non-verbales de MdT, de CE et l'âge lexique. Résultats pour les enfants de CE1*

	Épreuves Préalables			
	Compréhension	Raisonnement (NNAT)	Vocabulaire	Segment. Phonémique
Age lexique	**0,43**	0,11	**0,31**	**0,54**
Ep. CE Non-Verb.				
Symboles TR	**-0,42**	-0,08	-0,21	-0,17
Symboles Err	-0,13	**-0,24**	**-0,29**	-0,23
Formes TR	**-0,37**	-0,22	0,05	**-0,28**
Formes Err	-0,11	-0,07	-0,11	**-0,40**
Visuo-spatial TR	-0,23	0,15	-0,10	-0,14
Visuo-spatial Err	-0,23	0,22	-0,13	-0,05
Ep.MdT Non Verb.				
M2 T1/2	-0,16	-0,03	-0,14	-0,04
M2 T2/3	0,13	0,10	**0,26**	0,14
M2 T3/4	-0,08	0,10	0,05	0,06
M3 T1/2	0,11	**0,24**	0,11	0,01
M3 T2/3	0,03	0,18	0,11	0,07
M3 T3/4	-0,13	0,18	-0,15	-0,06

Coefficient en gras = p<.05

Tableau 32 : *Coefficients de corrélation entre les épreuves préalables et les différentes mesures non-verbales de MdT, de CE et l'âge lexique. Résultats pour les enfants de CM1*

	Épreuves Préalables			
	Compréhension	Raisonnement (NNAT)	Vocabulaire	Segment. Phonémique
Age lexique	0,15	0,01	**0,32**	**0,42**
Ep. CE Non-Verb.				
Symboles TR	**-0,28**	0,02	**-0,35**	0,01
Symboles Err	0,05	0,07	-0,04	-0,03
Formes TR	-0,14	-0,03	-0,01	**-0,40**
Formes Err	-0,10	0,15	-0,08	0,16
Visuo-spatial TR	0,15	-0,15	-0,01	-0,07
Visuo-spatial Err	0,09	0,06	0,11	-0,31
Ep.MdT Non Verb.				
M2 T1/2	0,19	0,07	**0,26**	0,14
M2 T2/3	0,05	-0,13	0,08	0,07
M2 T3/4	-0,14	0,08	0,01	-0,08
M3 T1/2	0,03	-0,04	0,14	0,06
M3 T2/3	-0,24	0,09	0,13	0,03
M3 T3/4	-0,01	-0,08	0,16	0,05

Coefficient en gras = p<.05

.4 Annexe : Détail des analyses de régressions pour l'étude 2

Tableau 33 : *Contribution spécifique des tâches d'alternance et de l'âge aux capacités de décodage après contrôle du niveau en vocabulaire et de segmentation phonémique.*

Verbal					**Non Verbal**				
Étapes	Variables indépendantes	ß	R^2	Augmentation R^2	Étapes	Variables indépendantes	ß	R^2	Augmentation R^2
1° *Vocabulaire*			**.41*** **		1° *Vocabulaire*			**.41*** **	
2a° *Voca + CE*			**.46*** **	.05	2a° *Voca + CE*			**.46*** **	.05
	Vocabulaire	**.59** ***				Vocabulaire	**.61** ***		
	Mots TR	**-.20** **				Formes TR	**-.21** **		
2b° *Voca + CE*			**.42*** **	.01	2b° *Voca + CE*			**.45*** **	.01
	Vocabulaire	**.64** ***				Vocabulaire	**.60** ***		
	Mots Err	-.01				Formes Err	**-.18** **		
2c° *Voca + CE*			**.44*** **	.03	2c° *Voca + CE*			**.49*** **	.03
	Vocabulaire	**.65** ***				Vocabulaire	**.62** ***		
	Sémantique TR	**-.14** *				Symb+Spatial TR	**-.27** ***		
2d° *Voca + CE*			**.44*** **	.03	2d° *Voca + CE*			**.47*** **	.03
	Vocabulaire	**.60** ***				Vocabulaire	**.56** ***		
	Sémantique Err	**-.17** *				Symb+Spatial Err	**-.25** ***		
3a° *Voca + CE + Age*			**.47*** **	.06	3a° *Voca + CE + Age*			**.47*** **	.06
	Vocabulaire	**.34** *				Vocabulaire	**.45** **		
	Mots TR	**-.21** **				Formes TR	**-.20** **		
	Age réél	**.27** *				Age réél	.19		
3b° *Voca + CE + Age*			**.43*** **	.02	3b° *Voca + CE + Age*			**.46*** **	.02
	Vocabulaire	**.44** ***				Vocabulaire	**.42** ***		
	Mots Err	-.01				Formes Err	**-.18**		
	Age réél	.22				Age réél	.21		
3c° *Voca + CE + Age*			**.45*** **	.04	3c° *Voca + CE + Age*			**.51*** **	.04
	Vocabulaire	**.42** **				Vocabulaire	**.37** **		
	Sémantique TR	**-.15** *				Symb+Spatial TR	**-.28** *		
	Age réél	**.26** *				Age réél	**.28** *		
3d° *Voca + CE + Age*			**.45*** **	.04	3d° *Voca + CE + Age*			**.48*** **	.04
	Vocabulaire	**.42** **				Vocabulaire	**.42** **		
	Sémantique Err	**-.16** *				Symb+Spatial Err	**-.24** ***		
	Age réél	.21				Age réél	.16		

Tableau 34 : *Contribution spécifique des tâches d'alternance verbales aux capacités de décodage après contrôle du niveau en vocabulaire et de segmentation phonémique, de l'empan en MdT et de l'âge.*

Verbal (MdT V1)					Verbal (MdT V2)				
Étapes	Variables indépendantes	ß		R^2	Augmentation R^2	Étapes	Variables indépendantes	ß		R^2	Augmentation R^2
4a°	*Voca + SegPh + MdT V1+ CE*			**.59*** **	.18	4a°	*Voca + SegPh + MdT V2+ CE*			**.61*** **	.10
	Vocabulaire	**.38**	***				Vocabulaire	**.34**	***		
	Segmentation phonémique	**.37**	***				Segmentation phonémique	**.27**	***		
	MdT verbal 1	**.17**	*				MdT verbal 2	**.24**	***		
	Mots TR	**-.13**	*				Mots TR	**-.12**	*		
4b°	*Voca + SegPh + MdT V1+ CE*			**.57*** **	.16	4b°	*Voca + SegPh + MdT V2+ CE*			**.60*** **	.09
	Vocabulaire	**.40**	***				Vocabulaire	**.36**	***		
	Segmentation phonémique	**.39**	***				Segmentation phonémique	**.39**	***		
	MdT verbal 1	**.18**	**				MdT verbal 2	**.25**	***		
	Mots Err	-.01					Mots Err	-.01			
4c°	*Voca + SegPh + MdT V1+ CE*			**.59*** **	.18	4c°	*Voca + SegPh + MdT V2+ CE*			**.60*** **	.09
	Vocabulaire	**.41**	***				Vocabulaire	**.37**	***		
	Segmentation phonémique	**.37**	***				Segmentation phonémique	**.38**	***		
	MdT verbal 1	**.19**	**				MdT verbal 2	**.24**	***		
	Sémantique TR	**-.12**	*				Sémantique TR	-.07			
4d°	*Voca + SegPh + MdT V1+ CE*			**.59*** **	.18	4d°	*Voca + SegPh + MdT V2+ CE*			**.61*** **	.10
	Vocabulaire	**.38**	***				Vocabulaire	**.34**	***		
	Segmentation phonémique	**-.37**	***				Segmentation phonémique	**.38**	***		
	MdT verbal 1	**.17**	**				MdT verbal 2	**.24**	***		
	Sémantique Err	-.12					Sémantique Err	-.10			
5a°	*Voca + SegPh + MdT V1+ CE + Age*			**.59*** **	.18	5a°	*Voca + SegPh + MdT V2 + CE + Age*			**.62*** **	.11
	Vocabulaire	**.26**	*				Vocabulaire	.18			
	Segmentation phonémique	**.36**	***				Segmentation phonémique	**.36**	***		
	MdT verbal 1	**.15**	*				MdT verbal 2	**.23**	***		
	Mots TR	**-.14**	*				Mots TR	**-.13**			
	Age réél	.15					Age réél	.18			
5b°	*Voca + SegPh + MdT V1+ CE + Age*			**.57*** **	.16	5b°	*Voca + SegPh + MdT V2 + CE + Age*			**.60*** **	.09
	Vocabulaire	**.32**					Vocabulaire	.23			
	Segmentation phonémique	**.38**	*				Segmentation phonémique	**.38**	***		
	MdT verbal 1	**.-17**	*				MdT verbal 2	**.25**	***		
	Mots Err	-.01					Mots Err	-.01			
	Age réél	.10					Age réél	.15			
5c°	*Voca + SegPh + MdT V1+ CE + Age*			**.59*** **	.18	5c°	*Voca + SegPh + MdT V2 + CE + Age*			**.61*** **	.10
	Vocabulaire	**.30**	*				Vocabulaire	.23			
	Segmentation phonémique	**.37**	***				Segmentation phonémique	**.37**	***		
	MdT verbal 1	**.18**	**				MdT verbal 2	**.24**	***		
	Sémantique TR	**-.13**	*				Sémantique TR	-.08			
	Age réél	.12					Age réél	.17			
5d°	*Voca + SegPh + MdT V1+ CE + Age*			**.59*** **	.18	5d°	*Voca + SegPh + MdT V2 + CE + Age*			**.61*** **	.10
	Vocabulaire	.30	*				Vocabulaire	.23			
	Segmentation phonémique	**.37**	***				Segmentation phonémique	**.37**	***		
	MdT verbal 1	**.17**	*				MdT verbal 2	**.24**	***		
	Sémantique Err	-.12					Sémantique Err	-.10			
	Age réél	.09					Age réél	.13			

Tableau 35 : *Contribution spécifique des tâches d'alternance non-verbales aux capacités de décodage après contrôle du niveau en vocabulaire et de segmentation phonémique, de l'empan en MdT et de l'âge.*

	Non Verbal (MdT NV1)				**Verbal (MdT NV2)**			
Étapes	Variables indépendantes	ß	R^2	Augmentation R^2	Étapes	Variables indépendantes	ß	R^2	Augmentation R^2
4a°	*Voca + SegPh + MdT NV1+ CE*		**.57*** **	.19	4a°	*Voca + SegPh + MdT NV2+ CE*		**.57*** **	.16
	Vocabulaire	**.44** ***				Vocabulaire	**.43** ***		
	Segmentation phonémique	**.36** ***				Segmentation phonémique	**.36** ***		
	MdT non verbal 1	.11				MdT non verbal 2	.09		
	Formes TR	-.01				Formes TR	-.10		
4b°	*Voca + SegPh + MdT NV1+ CE*		**.58*** **	.19	4b°	*Voca + SegPh + MdT NV2+ CE*		**.57***	.16
	Vocabulaire	**.42** ***				Vocabulaire	**.41** ***		
	Segmentation phonémique	**.37** ***				Segmentation phonémique	**.37** ***		
	MdT non verbal 1	**.13** *				MdT non verbal 2	.11		
	Formes Err	**-.13** *				Formes Err	**-.13** *		
4c°	*Voca + SegPh + MdT NV1+ CE*		**.61*** **	.19	4c°	*Voca + SegPh + MdT NV2+ CE*		**.62*** **	.21
	Vocabulaire	**.43** ***				Vocabulaire	**.42** ***		
	Segmentation phonémique	**.37** ***				Segmentation phonémique	**.37** ***		
	MdT non verbal 1	.09				MdT non verbal 2	.10		
	Symb+Spatial TR	**-.23** ***				Symb+Spatial TR	**-.24** ***		
4d°	*Voca + SegPh + MdT NV1+ CE*		**.60*** **	.19	4d°	*Voca + SegPh + MdT NV2+ CE*		**.58*** **	.17
	Vocabulaire	**.39** ***				Vocabulaire	**.39** ***		
	Segmentation phonémique	**.36** ***				Segmentation phonémique	**.36** ***		
	MdT non verbal 1	**.13** *				MdT non verbal 2	.08		
	Symb+Spatial Err	**-.19** **				Symb+Spatial Err	**-.18** **		
5a°	*Voca + SegPh + MdT NV1+ CE + Age*		**.57*** **	.19	5a°	*Voca + SegPh + MdT NV2 + CE + Age*		**.57*** **	.16
	Vocabulaire	**.30** *				Vocabulaire	**.33** *		
	Segmentation phonémique	**.36** ***				Segmentation phonémique	**.36** ***		
	MdT non verbal 1	.12				MdT non verbal 2	.08		
	Formes TR	-.09				Formes TR	-.10		
	Age réél	.16				Age réél	.13		
5b°	*Voca + SegPh + MdT NV1+ CE + Age*		**.58*** **	.19	5b°	*Voca + SegPh + MdT NV2 + CE + Age*		**.57*** **	.16
	Vocabulaire	**.27** *				Vocabulaire	**.30** ***		
	Segmentation phonémique	**.36** ***				Segmentation phonémique	**.36** *		
	MdT non verbal 1	**.14** *				MdT non verbal 2	.11		
	Formes Err	**-.13** *				Formes Err	**-.13** *		
	Age réél	.16				Age réél	.13		
5c°	*Voca + SegPh + MdT NV1+ CE + Age*		**.62*** **	.19	5c°	*Voca + SegPh + MdT NV2 + CE + Age*		**.62*** **	.21
	Vocabulaire	.24				Vocabulaire	**.26** *		
	Segmentation phonémique	**.35** ***				Segmentation phonémique	**.36** ***		
	MdT non verbal 1	.10				MdT non verbal 2	.09		
	Symb+Spatial TR	**-.24** ***				Symb+Spatial TR	**-.25** ***		
	Age réél	.22				Age réél	.19		
5d°	*Voca + SegPh + MdT NV1+ CE + Age*		**.60*** **	.19	5d°	*Voca + SegPh + MdT NV2 + CE + Age*		**.59*** **	.18
	Vocabulaire	**.28** *				Vocabulaire	**.31** **		
	Segmentation phonémique	**.35** ***				Segmentation phonémique	**.36** **		
	MdT non verbal 1	**.13** *				MdT non verbal 2	.07		
	Symb+Spatial Err	**-.18** **				Symb+Spatial Err	**-.18** *		
	Age réél	.13				Age réél	.10		

ANNEXE 9 : DES RESULTATS POUR L'ETUDE 3

.1 Scores bruts

Tableau 36 : *Nombre de suites correctement rappelées dans les différentes conditions aux tâches de MdT verbal et non-verbal*

Enfants	Score	Vitesse en	MdT Verbal						MdT Non-verbal					
(n°)	Alouette	lecture	M2-T12	M2-T23	M2-T34	M3-T12	M3-T23	M3-T34	M2-T12	M2-T23	M2-T34	M3-T12	M3-T23	M3-T34
3	118	72	4	4	4	4	4	4	4	4	3	3	3	3
8	122	70	4	4	3	4	4	3	3	4	3	4	3	2
19	124	58	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	3
21	124	75	4	4	3	4	3	4	4	4	3	4	3	3
5	128	55	4	4	2	3	3	3	4	3	3	3	4	2
30	130	47	3	4	2	3	3	2	4	4	2	3	2	1
4	134	73	4	4	2	4	4	4	3	3	2	4	2	2
10	134	59	4	4	3	4	4	4	4	4	3	4	3	2
18	134	66	4	4	2	3	2	2	4	3	0	3	2	0
33	134	50	4	4	1	4	4	4	4	3	2	4	3	2
29	134	68	3	4	2	4	3	3	4	4	2	2	2	1
1	140	49	4	4	2	4	4	3	4	3	3	3	3	2
7	140	57	4	4	2	3	3	2	3	4	1	4	4	2
17	140	43	4	4	3	4	2	2	4	3	2	4	3	2
15	145	58	4	4	4	4	4	2	4	4	3	4	4	2
35	145	61	4	4	2	4	3	0	4	3	2	3	2	1
22	145	54	4	3	1	3	3	2	4	3	2	3	1	1
27	155	59	4	4	2	4	4	4	4	3	3	3	2	2
23	158	48	4	4	2	4	3	2	3	3	2	2	3	1
31	169	32	4	4	4	4	4	3	3	4	2	3	2	2
12	180	68	4	3	2	3	3	2	3	3	1	3	2	1
9	188	55	4	4	2	4	2	2	4	3	1	3	3	2
16	208	49	4	4	4	4	3	3	3	3	1	4	3	1
11	211	60	4	2	1	2	1	1	4	3	2	2	1	0
37	240	42	3	3	2	3	3	2	4	4	2	3	1	1
34	242	37	3	4	1	2	3	1	4	2	2	3	2	0
28	245	53	3	2	2	4	2	1	3	3	0	3	1	0

Tableau 37 : *Temps de latence (ms) et pourcentage d'erreurs pour les conditions PS et AS sans et avec mise à jour*

Enfants (n°)	Score Alouette	Vitesse en lecture	Temps de latence (ms)				Pourcentage d'erreurs			
			Pro-saccades	PS + mise à jour	Anti-saccades	AS + mise à jour	Pro-saccades	PS + mise à jour	Anti-saccades	AS + mise à jour
3	118	72	265	323	386	383	0,00	1,17	0,00	5,56
8	122	70	270	306	378	369	0,00	0,00	0,00	1,65
19	124	58	230	317	327	295	3,33	4,08	6,67	7,29
21	124	75	308	327	364	346	0,00	0,00	13,33	4,38
5	128	55	256	305	351	384	0,00	0,00	10,00	12,29
30	130	47	252	228	337	350	0,00	2,00	0,00	9,10
4	134	73	220	186	392	337	1,00	4,08	13,33	5,21
10	134	59	303	272	343	316	0,00	0,00	6,67	0,00
18	134	66	293	249	326	173	3,33	5,45	16,67	13,33
33	134	50	391	328	378	356	1,00	0,83	0,00	0,00
29	134	68	307	250	373	372	0,00	0,00	0,00	4,13
1	140	49	241	251	335	278	6,67	10,71	3,33	19,93
7	140	57	241	271	286	389	0,00	0,00	16,67	0,00
17	140	43	285	260	334	349	2,67	5,25	0,00	14,93
15	145	58	277	345	332	429	6,67	2,00	16,67	19,17
35	145	61	265	432	304	434	1,00	2,00	16,67	1,04
22	145	54	280	308	332	413	0,00	3,45	23,33	12,15
27	155	59	241	188	307	379	2,67	0,00	13,33	16,25
23	158	48	254	289	312	480	0,00	2,00	6,67	23,47
31	169	32	261	292	329	498	0,00	0,00	6,67	9,03
12	180	68	289	273	351	507	3,33	7,60	10,00	15,69
9	188	55	310	345	400	477	0,00	0,00	13,33	19,44
16	208	49	336	371	441	465	1,00	4,35	20,00	31,74
11	211	60	197	322	403	422	1,00	0,00	23,33	23,89
37	240	42	351	402	504	436	6,67	4,63	6,67	20,14
34	242	37	312	266	443	553	0,00	2,00	13,33	23,54
28	245	53	340	330	383	461	6,67	6,91	30,00	32,15

Tableau 38 : *Temps de latence (ms) pour les conditions PS et AS avec mise à jour en fonction du nombre d'images à mettre à jour*

Enfants (n°)	Score Alouette	Vitesse en lecture	PS + mise à jour				AS + mise à jour			
			3 images	5 images	8 images	12 images	3 images	5 images	8 images	12 images
3	118	72	315	341	356	279	356	403	405	368
8	122	70	318	301	304	299	358	362	376	381
19	124	58	248	306	315	399	306	285	308	282
21	124	75	322	336	352	297	322	380	329	355
5	128	55	300	327	305	288	405	396	472	264
30	130	47	261	223	214	215	393	322	331	356
4	134	73	116	138	272	217	338	305	353	354
10	134	59	203	238	298	350	208	343	349	363
18	134	66	269	224	241	260	124	178	167	222
33	134	50	276	362	348	327	362	353	371	340
29	134	68	216	267	261	258	387	377	332	393
1	140	49	220	244	257	285	244	271	322	273
7	140	57	244	240	282	316	340	358	352	505
17	140	43	182	226	289	342	326	323	381	367
15	145	58	330	340	351	358	400	429	423	463
35	145	61	380	397	467	482	397	434	429	476
22	145	54	280	288	315	350	338	387	421	506
27	155	59	147	152	205	247	352	363	394	405
23	158	48	296	286	286	287	446	423	531	521
31	169	32	251	270	291	356	430	454	503	604
12	180	68	229	274	252	337	404	441	564	619
9	188	55	243	309	409	418	419	427	480	584
16	208	49	282	361	391	449	352	435	483	590
11	211	60	271	317	368	333	368	416	416	489
37	240	42	293	344	407	565	404	432	429	479
34	242	37	260	237	266	300	437	476	592	709
28	245	53	307	304	344	365	324	386	491	643

Tableau 39 : *Pourcentage d'erreurs pour les conditions PS et AS avec mise à jour en fonction du nombre d'images à mettre à jour*

Enfants	Score	Vitesse en	PS + mise à jour				AS + mise à jour			
(n°)	Alouette	lecture	3 images	5 images	8 images	12 images	3 images	5 images	8 images	12 images
3	118	72	0,00	0,00	4,17	0,53	0,00	6,67	8,33	7,22
8	122	70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,61
19	124	58	11,11	0,00	4,17	1,06	11,11	6,67	4,17	7,22
21	124	75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	13,33	4,17	0,00
5	128	55	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	20,00	12,50	16,67
30	130	47	0,00	0,00	4,17	3,84	11,11	0,00	4,17	21,11
4	134	73	11,11	0,00	4,17	1,06	0,00	0,00	12,50	8,33
10	134	59	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
18	134	66	0,00	6,67	4,17	10,98	0,00	13,33	16,67	23,33
33	134	50	0,00	0,00	0,00	3,31	0,00	0,00	0,00	0,00
29	134	68	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	16,53
1	140	49	11,11	6,67	12,50	12,57	22,22	20,00	20,83	16,67
7	140	57	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
17	140	43	0,00	13,33	0,00	7,67	33,33	0,00	12,50	13,88
15	145	58	0,00	0,00	4,17	3,84	0,00	26,67	25,00	25,00
35	145	61	0,00	0,00	4,17	3,84	0,00	0,00	4,17	0,00
22	145	54	0,00	6,67	0,00	7,14	22,22	6,67	4,17	15,56
27	155	59	0,00	0,00	0,00	0,00	11,11	6,67	16,67	30,56
23	158	48	0,00	0,00	4,17	3,84	22,22	26,67	25,00	20,00
31	169	32	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	36,12
12	180	68	0,00	13,33	8,33	8,73	0,00	6,67	16,67	39,44
9	188	55	0,00	0,00	0,00	0,00	11,11	13,33	25,00	28,33
16	208	49	0,00	0,00	12,50	4,89	11,11	33,33	37,50	45,00
11	211	60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	40,00	25,00	30,55
37	240	42	0,00	6,67	4,17	7,67	22,22	26,67	25,00	6,67
34	242	37	0,00	0,00	4,17	3,84	22,22	13,33	29,17	29,44
28	245	53	11,11	0,00	8,33	8,20	22,22	33,33	37,50	35,56

.2 *Nuages de points aux épreuves de pro-saccades et anti-saccades (scores composites)*

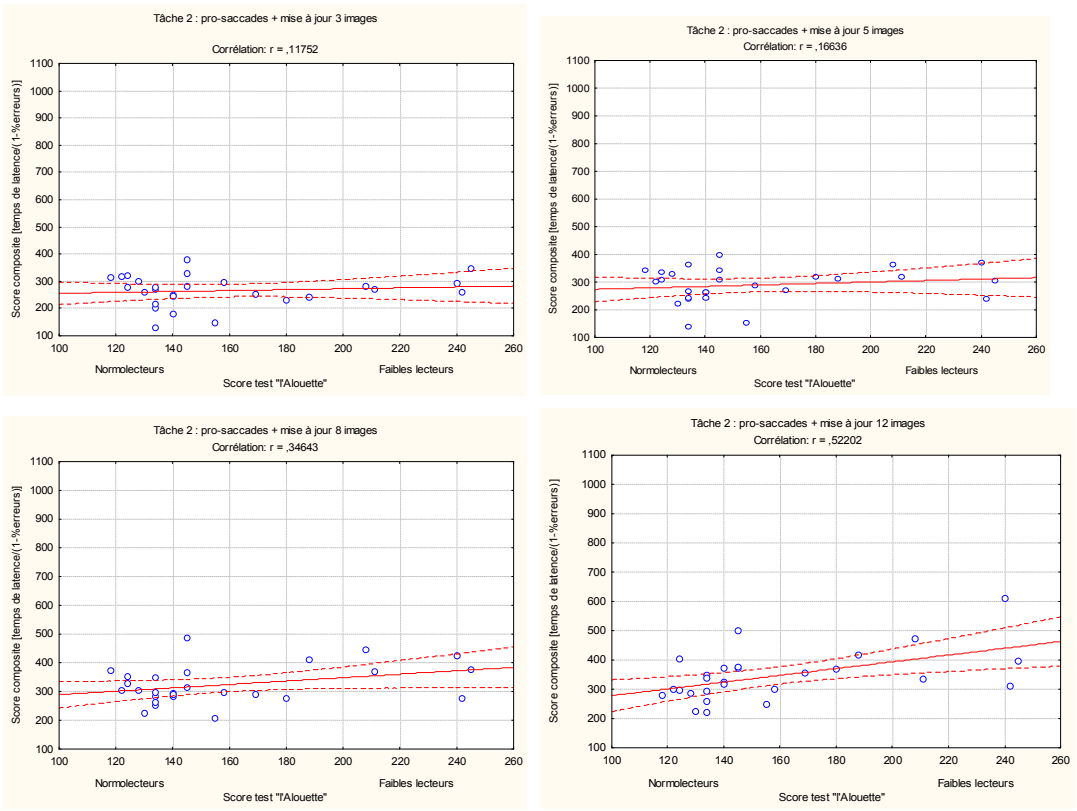


Tableau 40 : Nuages de points entre le score à l'Alouette et les scores composites aux quatre épreuves de pro-saccades.

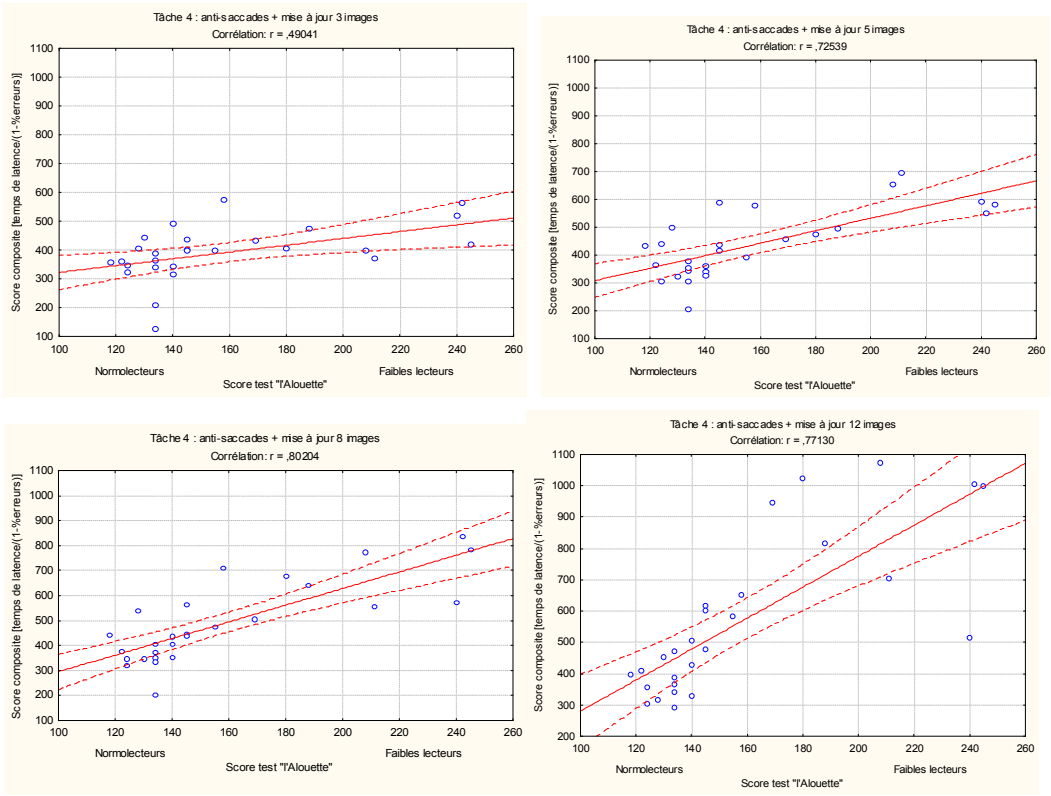


Tableau 41 : Nuages de points entre le score à l'Alouette et les scores composites aux quatre épreuves d'anti-saccades.

.3 Temps de latence et pourcentage d'erreurs aux épreuves de mise à jour

Tableau 42 : *Temps de latence aux épreuves de PS + mise à jour et AS + mise à jour en fonction du nombre d'items à mémoriser et corrélations avec le niveau en lecture*

		Moyenne	Ecart-type	Corrélation avec score alouette	
PS	mise à jour 3	261	57,29	.09	ns
	mise à jour 5	283	62,04	.14	ns
	mise à jour 8	313	62,33	.29	ns
	mise à jour 12	333	79,08	.49	*
AS	mise à jour 3	353	71,23	.35	*
	mise à jour 5	376	65,81	.53	**
	mise à jour 8	408	90,27	.62	**
	mise à jour 12	441	127,54	.77	***

Tableau 43 : Pourcentage d'erreurs aux épreuves de PS + mise à jour et AS + mise à jour en fonction du nombre d'items à mémoriser et corrélations avec le niveau en lecture

		Moyenne	Ecart-type	Corrélation avec score alouette	
PS	mise à jour 3	1,65%	4,02	.03	ns
	mise à jour 5	1,98%	4,06	.06	ns
	mise à jour 8	3,09%	3,76	.33	ns
	mise à jour 12	3,44%	3,83	.26	ns
AS	mise à jour 3	8,23%	10,49	.42	*
	mise à jour 5	11,60%	12,48	.62	**
	mise à jour 8	13,58%	11,93	.76	***
	mise à jour 12	17,77%	13,45	.58	**

Résumé

Le principal objectif de cette thèse est d'étudier le rôle du contrôle exécutif dans le décodage en lecture en confrontant cette hypothèse à celle d'un dysfonctionnement de la boucle phonologique ou de ressources insuffisantes en mémoire de travail. Des tâches simples, adaptées aux compétences des enfants et mobilisant des composantes exécutives précises ont été mises au point. Trois études ont été réalisées. Dans la première étude, les capacités de faibles et normolecteurs de CE2 à exercer un contrôle exécutif ont été mesurées à l'aide de tâches de mise à jour et d'alternance. Dans la deuxième, les effets de l'automatisation, de la charge attentionnelle et de l'évolution des capacités de contrôle avec l'âge ont été étudiés chez des enfants de CE1 et CM1 de niveaux en lecture différents. Dans la troisième, l'effet conjoint de la manipulation de la charge attentionnelle et mnésique a été étudié auprès d'adultes, à l'aide d'un dispositif d'enregistrement de mouvements oculaires. Dans chacune de ces études, des tâches d'empan en mémoire de travail ont également été présentées dans une version verbale et non-verbale. Les résultats confirment l'implication du contrôle exécutif : les faibles lecteurs sont systématiquement en difficulté lorsqu'un contrôle (alternance, mise à jour, inhibition) est exigé. Ce déficit de contrôle s'additionnerait à de faibles capacités de traitement phonologique. La difficulté à gérer différents processus pourrait par extension expliquer les difficultés de régulation des traitements mis en jeu dans une tâche de décodage en lecture, coûteuse pour les faibles lecteurs.

Involvement of the executive control in the decoding in reading. Comparisons between poor and good readers. Studies at the child and the adult

Abstract

This thesis aims to study whether the executive control is effective in reading. This hypothesis was confronted to hypotheses like dysfunction of the phonological loop or lack of working memory resources. For the purpose, simple task were created in concordance with children abilities and mobilizing specific executive functions. Three studies were realized. In the first, poor and good reader's abilities to process executive control were checked with memory updating and shifting tasks. In the second study, automation effect, attentionnal load effect and control abilities development, were studied upon children of first and second grade with different reading levels. In the third one, joint effects of attentionnal and memory load variations were studied on adults with the help of eye tracker system. In each study, working memory span tasks were also submitted in verbal and non-verbal mode. Executive control implication was enlightened by test results: poor readers systematically encountered difficulties to process when a control was required. Lack of control should add to poor phonological processing capacity. Difficulties to manage several processes could explain difficulty to regulate processing that are part of reading decoding processing that is expensive for poor readers.

Key words: reading, executive control, decoding, cognitive development, children, working memory, phonological abilities

Psychologie, Sciences de l'Homme et des Humanités

Mot-clés : lecture, contrôle exécutif, décodage, développement cognitif, enfants, mémoire de travail habiletés phonologiques

Laboratoire de Psychologie « Processus de pensée et Interventions»
UFR Lettres, Langues et Sciences Humaines
MSH, 5 bis Bd Lavoisier
49045 ANGERS Cedex 01