



Université Louis Pasteur – Strasbourg I
Ecole doctorale des Sciences de la Vie de et de la Santé

Discipline : Sciences du vivant
Spécialité : Neuropsychologie du développement

THÈSE

présentée pour obtenir le grade de
Docteur de l'Université Louis Pasteur Strasbourg I par

Christelle NITHART

**Étude des déficits phonologiques à l'origine des troubles d'apprentissage de la lecture dans la dyslexie et la dysphasie :
Approches développementale, neuropsychologique et anatomo-fonctionnelle**

Thèse soutenue publiquement le 14 novembre 2008

Membres du Jury

Directrice de Thèse :	Dr. Marie-Noëlle METZ-LUTZ, LINC UMR 7191 CNRS/ULP
Directrice de Thèse :	Pr. Elisabeth DEMONT, Université Louis Pasteur, Strasbourg
Rapporteur Interne :	Pr. Liliane MANNING, LINC UMR 7191 CNRS/ULP
Rapporteur Externe :	Pr. Jean-Émile GOMBERT, Université de Rennes
Rapporteur Externe :	Dr. Michel HABIB, CHU Timone, Marseille
Examineur :	Dr. Catherine BILLARD, Hôpital Bicêtre, Kremlin-Bicêtre

A mes grands-mères

Remerciements

Je tiens à remercier Marie-Noëlle Metz-Lutz et Elisabeth Demont pour avoir encadré ce travail. Je vous remercie bien sûr pour votre accueil et votre accompagnement durant ces trois années, mais aussi pour m'avoir poussée à aller toujours plus loin et surtout pour m'avoir permis de réaliser cette aventure. Merci d'avoir pris le pari de me confier cet ambitieux projet.

J'adresse mes remerciements les plus sincères au Professeur Liliane Manning qui a accepté de présider ce jury de thèse, au Professeur Jean-Emile Gombert ainsi qu'aux Docteurs Michel Habib et Catherine Billard qui m'ont fait l'honneur de juger mon travail et de faire partie du jury. Votre participation était particulièrement importante pour moi car vous avez tous contribué à mon intérêt pour les différents versants de l'apprentissage de la lecture et de ses difficultés.

Un merci particulier à Liliane Manning ; vous m'avez fait découvrir avec enthousiasme l'existence de ce monde fabuleux qu'est la neuropsychologie.

Je tiens à associer à ces remerciements le Professeur Claude Bonnet. Vous avez été le premier à me faire découvrir la recherche et vous m'avez transmis un peu de la passion qui vous habitait.

Votre rencontre a été décisive pour moi dans les choix qui m'ont menée jusqu'à la réalisation de cette thèse et vous resterez tous deux des jalons incontournables sur le chemin qui fut le mien.

Mes remerciements vont ensuite à tous ceux qui ont participé à la réalisation de cette étude. Merci aux personnes du groupe « phonologie » et tout particulièrement à Daniel Gounot pour votre assistance précieuse dans le traitement des données d'imagerie et à Corinne Marrer non seulement pour ta contribution lors de l'acquisition des données mais surtout pour ta présence et ton soutien, si appréciables. Merci aussi à Nathalie Heider pour ton aide précieuse, technique et linguistique, ainsi que pour ta disponibilité.

Merci à l'équipe du Centre Référent des Troubles des Apprentissages du CHU de Strasbourg et notamment au Dr. Anne de St Martin, à Stéphanie Thuillier et à Laure Creplet pour votre investissement dans cette recherche et pour les échanges que nous avons eus autour des résultats.

Merci aussi à nos collègues belges, Steve Majerus, Jacqueline Leybaert et Martine Poncelet. Votre participation à la préparation des épreuves contribue de manière inestimable à la précision de ce travail.

Je tiens également à remercier Anne Boesch, Marie Bullière et Christelle Isch ainsi que les étudiantes de maîtrise, Anne et Marie. Vous m'avez apporté une aide énorme pour l'acquisition et le dépouillement des données mais aussi un soutien moral tellement appréciable.

Merci au Pr. Grucker et à Christian Kelche pour votre accueil dans l'UMR 7004 puis au sein du LINC, UMR 7191.

Merci enfin et surtout à tous les enfants qui ont participé à ces différentes études. Je ne sais comment vous témoigner ma gratitude pour l'investissement en temps et en énergie qui fut le votre et pour avoir su surmonter votre appréhension de l'IRM. J'associe à ces remerciements les parents de ces enfants et les directeurs et directrices d'écoles ainsi que les instituteurs. Un grand merci à vous tous et tout particulièrement à Mme Ligier-Fortin, à M. Gioria et à Mme Malnoury pour votre accueil et votre implication dans nos recherches.

Je tiens à exprimer ma gratitude à ma famille et tout particulièrement à ma mère pour m'avoir soutenue dans mes choix et permis de les réaliser. Un énorme merci à mon grand-père. C'est toi qui m'a donné le goût du travail bien fait et l'envie d'aller jusqu'au bout.

J'adresse aussi mes remerciements à ma belle-famille pour votre soutien moral et logistique et un merci tout particulier à René pour vos nuits blanches à pister les fautes d'orthographe...

Mais qu'aurais-je fait sans l'appui de mes amis et collègues... Du fond du cœur merci aux « doctorants du premier étage », Matthieu B., Mathieu T., Hervé B., Nicolas P. etc. d'avoir toujours répondu présent quand j'enfonçais la porte de votre bureau pour un souci informatique ou une baisse de moral !

Merci à Cyril pour ta relecture et tes commentaires pertinents sur le manuscrit, la soutenance et le reste !

Merci à Nicolas qui m'a poussée à faire ce choix audacieux et à tous mes amis, Sarah, Sandie, Marc, Nadia, Anne-Claire et les autres pour m'avoir soutenue et supportée durant ces années.

A Yannick enfin, merci ne pourrait suffir...

Résumé

Le déficit phonologique à l'origine des difficultés d'apprentissage de la lecture est-il de même nature dans la dyslexie et la dysphasie ? Pour répondre à cette question, nous avons étudié différents niveaux de traitement phonologique dans une étude développementale et neuropsychologique et analysé les substrats neuronaux de la lecture. La mémoire de l'ordre en fin de CP s'avère être un meilleur prédicteur des capacités de décodage que la conscience phonologique. Ces compétences sont déficitaires chez les dyslexiques comme chez les dysphasiques qui se distinguent toutefois des dyslexiques par un déficit de la discrimination phonologique, de la capacité de la mémoire à court terme et du vocabulaire. Si le réseau cérébral de la lecture est altéré dans les deux populations, les régions associées au traitement lexical sont moins activées chez les dysphasiques. Le déficit phonologique à l'origine des difficultés de lecture apparaît de nature différente dans la dyslexie et la dysphasie.

Mots clés :

Apprentissage de la lecture, dyslexie développementale, dysphasie, conscience phonologique, mémoire phonologique, mémoire de l'ordre, IRMf, anatomie fonctionnelle de la lecture

Laboratoire d'imagerie et de neuroscience cognitive – LINC,
UMR 7191 CNRS/ULP,
12 rue Goethe
67000 Strasbourg

**Phonological deficit underlying reading difficulties
in dyslexia and specific language impairment :
A developmental, neuropsychological and anatomo-functional study**

Abstract

To specify the phonological deficit underlying reading disability in dyslexia and specific language impairment (SLI), we studied various levels of phonological processing in a developmental and a neuropsychological study, and carried out a comparative study of the reading neural network in these two reading disorders. Serial order memory at the end of first grade appeared as a better predictor of the decoding ability than phonological awareness. Both abilities were deficient in the dyslexics as in the SLI children, who showed additional deficit on phonological discrimination, short-term memory capacity and vocabulary. While the brain activation pattern of reading is altered in the two populations, the SLI children activated less some regions involved in lexical processing. These results suggest that reading disabilities in SLI and dyslexia result from distinct phonological impairments.

Key-words :

Reading acquisition, developmental dyslexia, SLI, phonological awareness, phonological memory, sequential memory, fMRI, reading neural network

TABLES DES MATIERES

INTRODUCTION GENERALE	12
A/ L'apprentissage normal de la lecture	13
B/ Les troubles de l'apprentissage de la lecture	15
C/ Objectifs et présentation de notre recherche	20

PARTIE I : Etude développementale des différents niveaux de traitement phonologique et de leur influence sur l'apprentissage de la lecture	22
---	-----------

<u>Chapitre 1 : Etat des connaissances</u>	23
---	-----------

1. La conscience phonologique	23
--------------------------------------	-----------

- Les différents niveaux de conscience phonologique 23
- Les différentes unités phonologiques 24
- Les interactions entre le développement des niveaux de conscience phonologique et des unités phonologiques 26
- L'influence du vocabulaire et de la connaissance des lettres sur le développement de la conscience phonologique 26

2. La mémoire phonologique	28
-----------------------------------	-----------

- Capacité de la mémoire à court terme 29
- Influence des connaissances phonologiques en mémoire à long terme 31
- Mémoire de l'ordre 32
- Les influences réciproques entre le développement du vocabulaire et le développement des différentes composantes de la mémoire phonologique 33

3. Relations entre conscience phonologique, mémoire phonologique et lecture	34
--	-----------

- Relations entre conscience et mémoire phonologiques 34
- Influence de la conscience phonologique sur la lecture 37
- Influence de la mémoire phonologique sur la lecture 40

4. Objectifs de l'étude développementale	41
---	-----------

<u>Chapitre 2 : Expériences</u>	43
--	-----------

1. Etude longitudinale	43
-------------------------------	-----------

- 1.1. Matériel et méthode 43
 - 1.1.1. Sujets 43
 - 1.1.2. Epreuves 43
 - 1.1.3. Procédure 49
 - 1.1.4. Analyses 50

1.2. Résultats	52
1.2.1. Analyses inférentielles	52
1.2.2. Analyses de corrélations	67
1.2.3. Analyses de régression	71
2. Etude transversale	77
2.1. Matériel et méthode	77
2.1.1. Sujets	77
2.1.2. Epreuves et procédure	77
2.2. Résultats	79
<u>Chapitre 3 : Discussion</u>	89
1. Développement des différents niveaux de traitement phonologique	89
• Les habiletés précoces de discrimination phonologique	89
• La conscience phonologique	90
• Les différentes composantes de la mémoire phonologique	91
2. Relations entre les différents niveaux de traitement phonologique	93
• La conscience et la mémoire phonologique, deux habiletés distinctes mais liées par un processus commun, la discrimination phonologique	93
• Relations entre les différents niveaux de traitement phonologique et les compétences lexicales et alphabétiques	94
3. Influence précoce de la conscience phonologique et influence ultérieure de la mémoire phonologique sur les habiletés de lecture	95

PARTIE II : Déficits phonologiques à l'origine du trouble de la lecture dans la dyslexie développementale et la dysphasie	97
--	-----------

<u>Chapitre 1 : Etat des connaissances</u>	98
1. Les troubles du langage oral	98
1.1 Les difficultés de perception de la parole dans la dyslexie développementale	98
1.2 Les troubles du langage oral dans la dysphasie	99
2. Les troubles du langage écrit	101
2.1 Les difficultés d'apprentissage de la lecture chez les dyslexiques	101
2.2 La nature et la prévalence du trouble de la lecture dans la dysphasie	102
3. Le déficit de conscience phonologique	104
3.1 Un déficit stable massif et persistant dans la dyslexie	104
3.2 Le déficit de conscience phonologique chez les dysphasiques	107

4. Le déficit de mémoire phonologique	108
4.1 Le déficit de mémoire phonologique et des représentations phonologiques en mémoire à long terme chez les dyslexiques	108
• La capacité de la mémoire phonologique	108
• Les représentations phonologiques en mémoire à long terme	110
• La mémoire de l'ordre sériel	110
4.2 Le déficit de la mémoire phonologique : un marqueur comportemental de la dysphasie	115
• La capacité de la mémoire phonologique	115
• L'influence des connaissances en mémoire à long terme	118
• La mémoire de l'ordre sériel	119
5. Relations entre dyslexie et dysphasie	120
5.1 Comparaison des déficits phonologiques	120
• Perception phonologique	120
• Conscience phonologique	120
• Mémoire phonologique	121
5.2 Hypothèses sur la nature de la relation entre dyslexie et dysphasie	122
6. Objectifs de notre étude neuropsychologique	123
<u>Chapitre 2 : Expériences</u>	125
1. Matériel et méthode	125
1.1 Sujets	125
1.2 Procédure	126
1.3 Epreuves	126
1.4 Analyses statistiques	127
2. Résultats	128
<u>Chapitre 3 : Discussion</u>	145
1. Le déficit de perception phonologique chez les dysphasiques	145
2. Un déficit de la conscience phonologique plus sévère chez les dysphasiques	146
3. Capacité de la mémoire phonologique et mémoire de l'ordre	148
4. Influence des connaissances phonologiques en mémoire à long terme sur la mémoire à court terme phonologique	150
5. Un trouble de la lecture lié à des déficits phonologiques distincts	151

<u>Chapitre 1 : Etat des connaissances</u>	154
• Avant propos	154
1. Le réseau neuronal de la lecture	155
1.1 La voie dorsale phonologique	157
• Généralités	157
• Le codage/recodage des informations phonologiques	159
• L'intégration et la conversion intermodale	160
• Le traitement et la segmentation phonologique	160
• Le stockage et la récupération en mémoire phonologique	161
1.2 La voie ventrale/orthographique	162
• La perception orthographique	162
• La reconnaissance des mots	162
• L'analyse orthographique	164
1.3 Le développement du réseau de la lecture	165
2. Le réseau neuronal de la lecture dans la dyslexie	168
2.1 Les déficits d'activation des régions postérieures de la lecture	169
• La jonction temporo-pariétale et la voie dorsale	169
• La jonction occipito-temporale et la voie ventrale	169
2.2 Le système de compensation	170
2.3 Les altérations fonctionnelles du réseau de lecture chez l'enfant dyslexique	171
3 Le réseau neuronal de la lecture dans la dysphasie	173
4. Objectifs de notre étude en IRMf	174
<u>Chapitre 2 : Expériences</u>	175
1. Matériel et méthode	175
1.1 Sujets	175
1.2 Epreuves	177
1.3 Procédure expérimentale	178
1.4 Acquisition et prétraitement des images	180
1.5 Analyses des images	181
2. Résultats	184
2.1 Décision lexicale	184
2.1.1 Analyses en effet aléatoire du cerveau entier, par groupe	184
2.1.2 Analyses comparatives des groupes	186
2.2 Jugement de rime	191
2.2.1 Analyses en effet aléatoire du cerveau entier, par groupe	191

2.2.2 Analyses comparatives des groupes	194
<u>Chapitre 3 : Discussion</u>	198
1. Altérations du réseau typique de la lecture chez les enfants dyslexiques et dysphasiques	199
1.1 Altération de la voie dorsale/phonologique	199
1.2 Altérations de la voie ventrale/orthographique	200
2. Le recrutement de régions supplémentaires dans le but de compenser les difficultés de lecture chez les dyslexiques et les dysphasiques	200
2.1 Recrutement de la jonction temporo-pariétale droite	201
2.2 Recrutement de la jonction occipito-temporale droite	201
3. L'implication du gyrus frontal inférieur lors de la lecture dans la dyslexie et la dysphasie	202
4. Comparaison du patron d'activation des dyslexiques et dysphasiques	204
<u>DISCUSSION GENERALE</u>	206
A/ Conclusion de nos études	207
A.a/ Phonologie et apprentissage de la lecture	207
A.b/ Dyslexie et Dysphasie	210
B/ Perspectives	212
B.a/ Etudes comportementales	212
B.b/ Etudes neuroanatomiques	213
B.c/ Perspectives pour le dépistage et la rééducation	214
<u>BIBLIOGRAPHIE</u>	216
<u>ANNEXES</u>	245

INTRODUCTION GENERALE

L'apprentissage de la lecture constitue un des objectifs majeurs de l'école primaire, mais également un objet d'étude important au sein de la communauté scientifique impliquant de nombreuses disciplines - psychologie cognitive, psychologie du développement, neuropsychologie, neurosciences, linguistique/psycholinguistique, orthophonie... Deux raisons principales expliquent la quantité et la multidisciplinarité de ces recherches. D'une part, la fréquence des troubles de l'apprentissage de la lecture et leur incidence sur divers apprentissages ultérieurs en font un enjeu de santé publique. D'autre part, la compréhension de ces troubles nécessite une bonne connaissance des processus en jeu dans l'apprentissage normal. Notre recherche avait pour but central d'approfondir notre compréhension des troubles de la lecture en conciliant trois de ces approches. 1. Tout d'abord, nous visons à préciser le développement des processus phonologiques impliqués dans la lecture et leur influence sur les premiers stades d'acquisition de la lecture chez les enfants normo-apprenants. 2. Deuxièmement, nous cherchons à obtenir une meilleure caractérisation des troubles phonologiques à l'origine des difficultés de lecture chez les dyslexiques et les dysphasiques. 3. Finalement, nous voulons améliorer notre connaissance des réseaux neuro-anatomiques de la lecture et des mécanismes physiopathologiques sous-jacents dans ces deux troubles développementaux. Bien que la lecture fasse référence à la fois au déchiffrement d'un code et à l'accès à la signification du mot, de la phrase ou du texte, notre travail s'est focalisé sur le décodage et la reconnaissance des mots. Ces deux processus dépendent d'habiletés phonologiques spécifiques, alors que la compréhension est influencée à la fois par des compétences spécifiques (majoritairement par la syntaxe, la grammaire et le vocabulaire) et par des compétences générales (Lundberg, 2002; Muter, Hulme, Snowling, & Stevenson, 2004; Shatil & Share, 2003).

A/ L'apprentissage normal de la lecture

Le langage écrit est considéré comme une acquisition récente pour l'Humanité (~5000 ans), par opposition au langage oral qui constitue une des caractéristiques de l'Homme depuis plus de 200 000 ans (Shaywitz, Morris, & Shaywitz, 2008). L'écrit semble avoir précocement un statut particulier dans la mesure où l'enfant, dès trois ans, différencie spontanément l'écriture du dessin et témoigne de connaissances sur sa finalité et sur certaines règles qui le régissent (Gombert, 1990a). Dans un chapitre de synthèse, Gombert (1990) souligne l'évolution d'un écrit totalement inventé vers un écrit se rapprochant progressivement de la norme. La prise de conscience d'un lien entre le langage écrit et le langage oral constitue un élément clé de ce développement, indispensable à la compréhension du principe alphabétique (Gombert, Bonjour, & Marec-Breton, 2004).

En 1985, Frith propose un modèle en trois étapes du développement de la lecture, encore considéré actuellement comme un modèle de référence (Frith, 1985; Habib, 1997).

Lors d'un premier stage, dit « logographique », l'enfant reconnaît les mots à partir d'indices visuels saillants du mot ou de son contexte. Sous l'effet de l'enseignement explicite des règles de conversion grapho-phonémiques (CGP), il entrera dans le stade « alphabétique ». La lecture se fait alors par la mise en relation des formes visuelles contenues dans le mot, les « graphèmes », avec les formes sonores correspondantes, les « phonèmes ». Ce stade nécessite la prise de conscience de l'existence d'unités sublexicales et de leur organisation sérielle dans le mot. La confrontation répétée aux mots permet, ensuite, à l'enfant d'en développer des représentations en mémoire à long terme. Durant le troisième stade, appelé stade « orthographique », l'activation de ces représentations permet la reconnaissance directe du mot à partir de sa forme globale, sans médiation phonologique. L'existence du stade logographique en tant que tel, ainsi que le caractère séquentiel des stades alphabétique et orthographique ont été remis en question (Duncan, Seymour, & Hill, 1997; Ehri, 1995; Levin, Shatil-Carmon, & Asif-Rave, 2006; Martin, Claydon, Morton, Binns, & Pratt, 2003). Si la stratégie orthographique prédomine à partir de 12 ans, les stratégies alphabétique et orthographique cohabitent même chez le lecteur expert et l'automatisation du processus de décodage ainsi que l'activation de plus en plus précoce des représentations orthographiques et phonologiques entraînent une augmentation de la flexibilité dans le choix de la stratégie (Martin et al., 2003; Morais, 2003). Le modèle à deux voies de lecture proposé par Morton en 1969 rend compte de l'utilisation concomitante de ces deux stratégies chez le lecteur adulte (Morton, 1969). La voie « phonologique » (« d'assemblage »/« indirecte ») correspond à la lecture par application des règles de CGP. Elle est nécessaire au décodage des mots inconnus ou des non-mots. La voie « orthographique » (« d'adressage »/« directe ») est basée, quant à elle, sur la reconnaissance visuelle des mots à partir de leur représentation stockée dans le lexique mental. Elle est requise pour les mots irréguliers et privilégiée pour les mots connus et fréquents et elle se développe à partir de la voie phonologique. Des modèles alternatifs, connexionnistes, ont été proposés, le plus connu étant le modèle « parrallel distributed processing : PDP » ou de traitement distribué parallèle (Ans, Carbonnel, & Valdois, 1998; Seidenberg & McClelland, 1989). Coltheart *et al.* (1993) ont réalisé une comparaison entre le modèle PDP et le modèle à deux voies de lecture. D'après leur analyse, le modèle à deux voies apparaît comme le plus plausible et le plus adapté, il est également le seul à offrir un cadre explicatif à l'émergence de la dyslexie phonologique (Coltheart, Curtis, Atkins, & Haller, 1993). Il est aussi le plus largement utilisé dans la littérature.

De récentes études en neuro-imagerie fonctionnelle ont, de plus, mis en évidence des corrélats neuronaux au modèle à deux voies de Morton (1969) en distinguant deux voies fonctionnelles de lecture au sein d'un réseau latéralisé dans l'hémisphère gauche. La voie phonologique est sous-tendue par une voie dorsale impliquant le cortex temporo-pariétal et

la partie postérieure du gyrus frontal inférieur et la voie orthographique, pour sa part, est sous-tendue par une voie ventrale impliquant le cortex occipito-temporal et la partie antérieure du gyrus frontal inférieur (Fiebach, Friederici, Muller, & von Cramon, 2002; Jobard, Crivello, & Tzourio-Mazoyer, 2003; Pugh et al., 2001; Schlaggar & McCandliss, 2007). A l'instar du développement des voies orthographique et phonologique, ces deux voies anatomo-fonctionnelles semblent se développer en interaction durant l'enfance, la voie dorsale entraînant le développement de la voie ventrale pour la reconnaissance des mots fréquents et irréguliers (Schlaggar & McCandliss, 2007). Nous reviendrons plus en détail sur la neuro-anatomie de la lecture dans la suite de ce travail.

Le modèle à deux voies de la lecture nous sert de référence tout au long de notre travail à la fois sur le versant comportemental et sur le versant anatomo-fonctionnel.

Notre premier objectif a consisté à étudier le développement des différentes compétences phonologiques requises lors de la lecture et plus particulièrement lors des premières phases d'apprentissage de la lecture. Durant le décodage, l'enfant doit en effet identifier les différentes unités sublexicales puis les combiner en une séquence ordonnée afin d'identifier le mot par comparaison avec les représentations stockées en mémoire à long terme. La conscience phonologique, définie comme la capacité d'identifier et de manipuler consciemment et volontairement les différentes unités du langage, s'avère ainsi nécessaire, de même que différents aspects de la mémoire phonologique. Si la conscience phonologique est considérée comme une capacité centrale dans l'apprentissage de la lecture depuis près de trente ans (Alegria & Morais, 1979; Morais, Bertelson, Cary, & Alegria, 1986), la capacité de rétention et la composante sérielle de la mémoire à court terme ainsi que les représentations phonologiques en mémoire à long terme ont en revanche été moins étudiées. L'état des connaissances sur ces différentes capacités sera développé ultérieurement.

B/ Les troubles de l'apprentissage de la lecture

La dyslexie développementale et la dysphasie sont deux troubles neuro-développementaux spécifiques du langage. La dyslexie développementale est définie comme un déficit spécifique et durable de l'apprentissage de la lecture¹ en l'absence de tout déficit visuel, auditif ou neurologique, et en dépit d'un environnement normalement stimulant, d'une intelligence et d'une scolarité normales. Elle concerne entre 5 à 18 % des enfants d'âge scolaire, la prévalence variant notamment en fonction du degré de transparence de la

langue (Expertise Collective, 2007; Shaywitz et al., 2008). La dysphasie est un trouble du langage oral affectant environ 7 % des enfants de 5-6 ans, parmi lesquels plus de la moitié présenteront des difficultés d'apprentissage de la lecture (Scarborough & Dobrich, 1990; Tomblin et al., 1997; Tomblin, Zhang, Buckwalter, & Catts, 2000).

La dyslexie est considérée comme un enjeu de santé publique en raison, notamment, de sa fréquence d'1 à 2 enfants par classe et de ses conséquences en termes d'échec scolaire et de souffrance morale, particulièrement l'absence de dépistage et/ou d'une rééducation adaptée. Elle se manifeste le plus souvent par un déficit persistant d'automatisation de la procédure d'assemblage et de généralisation des règles de CGP et par la persistance des confusions entre des lettres morphologiquement similaires, et elle est associée à un trouble de la production écrite et de l'orthographe (Demonet & Habib, 2001; Expertise Collective, 2007; Habib, 2000; Sprenger-Charolles & Colé, 2003). Les troubles du langage prédominent avec un déficit massif de la conscience phonologique et de la mémoire verbale immédiate, mais aussi de fréquents retards de parole, anomalies du langage oral, troubles de la dénomination, de l'accès au lexique et erreurs visuelles. Des atteintes de la concentration, de l'attention, des capacités visuospatiales et sensori-motrices et de la perception temporelle peuvent également être présentes (Habib, 1997, 2000, 2004; Ramus, 2004; Shaywitz et al., 2008).

La principale classification des dyslexies oppose dyslexie phonologique et dyslexie de surface. Elle a été établie à partir des dyslexies acquises et se base sur les types d'erreurs de lecture en référence au modèle à deux voies (Castles & Coltheart, 1993; Manis, Seidenberg, Doi, McBride-Chang, & Petersen, 1996; Morton, 1969; Sprenger-Charolles, Cole, Lacert, & Serniclaes, 2000; Sprenger-Charolles & Serniclaes, 2003; Valdois, Bosse, & Tainturier, 2004). La dyslexie phonologique est caractérisée par des difficultés de lecture des pseudo-mots mais une lecture des mots irréguliers préservée, elle implique un trouble de la voie phonologique. La dyslexie de surface présente un patron inverse, des difficultés de lecture des mots irréguliers mais une lecture de pseudo-mots préservée, elle indique un trouble de la voie orthographique. La dyslexie de surface apparaît toutefois moins fréquente que la dyslexie phonologique et elle s'apparenterait plus à un retard de développement qu'à une réelle déviance (Sprenger-Charolles & Colé, 2003; Sprenger-Charolles et al., 2000). De plus, les dyslexiques de surface présenteraient également un trouble phonologique, il s'agirait par conséquent de dyslexie mixte. D'autres classifications se fondent sur le type de trouble et opposent le trouble phonologique à un trouble visuel ou visuo-attentionnel (Bosse & Valdois, 2003; Habib, 1997).

¹ Le déficit de lecture est défini par un retard d'au moins 18 mois au niveau de l'âge de lecture ou des performances inférieures d'au moins 2 écart-types aux épreuves standardisées.

Différentes théories sur la cause de la dyslexie ont tenté de rendre compte des nombreux symptômes présentés par les dyslexiques. La théorie phonologique, la plus largement acceptée depuis plus de deux décennies, considère que les difficultés de lecture des dyslexiques résultent d'un trouble du traitement et des représentations phonologiques (Ramus, 2001; Richardson, Thomson, Scott, & Goswami, 2004; Shaywitz et al., 2008; Sprenger-Charolles & Serniclaes, 2003). Selon cette théorie, l'enfant dyslexique présente des difficultés à développer des habiletés de segmentation consciente, ce qui entraîne un trouble de la conscience phonologique et un défaut de précision et d'organisation des représentations phonologiques, entravant l'acquisition des CGP et par conséquent l'apprentissage de la lecture (Mody, 2003; Morais, 2003; Swan & Goswami, 1997). Les connaissances concernant les différents niveaux de traitement phonologique affectés dans la dyslexie seront détaillées plus loin. Différentes théories alternatives ont été proposées dans le but d'expliquer les atteintes sensori-motrices fréquemment associées à la dyslexie. La majorité d'entre elles reconnaît le trouble phonologique comme la cause des difficultés de lecture mais le considère comme secondaire à un autre déficit. Nous les évoquerons brièvement ici. Selon la théorie du trouble du traitement de l'information brève et la théorie magnocellulaire, le trouble phonologique serait secondaire à un déficit du traitement temporel rapide qui affecterait la discrimination des sons brefs et qui, d'après la deuxième théorie, serait consécutif à des anomalies structurales au sein la voie magnocellulaire (Nagarajan et al., 1999; Stein & Walsh, 1997; Tallal, Merzenich, Miller, & Jenkins, 1998). La théorie cérébelleuse et la théorie de la perception allophonique de la parole considèrent, quant à elles, le trouble phonologique comme la conséquence d'un déficit de la perception phonémique, résultant soit de difficultés motrices et articulatoires engendrant une faible sensibilité à la structure phonémique, soit d'un trouble de la perception catégorielle (*i.e.* de la perception des frontières entre les différents phonèmes) (Nicolson, Fawcett, & Dean, 2001; Serniclaes & Sprenger-Charolles, 2003; Serniclaes, Sprenger-Charolles, Carre, & Demonet, 2001; Serniclaes, Van Heghe, Mousty, Carre, & Sprenger-Charolles, 2004). Seule la théorie visuo-attentionnelle fait état de difficultés de lecture indépendamment de tout trouble phonologique, et résultant uniquement d'une atteinte de l'attention visuelle et du focus attentionnel (Valdois et al., 2004). Le rôle central du trouble phonologique dans les difficultés de lecture apparaît donc largement admis et la théorie phonologique la plus vraisemblable (Ramus, 2003; Ramus et al., 2003; Shaywitz et al., 2008). De plus, si le trouble phonologique est présent chez quasiment tous les dyslexiques, les troubles auditifs, visuels d'origine magnocellulaire et moteur s'observent uniquement dans 30 à 45 % des cas et constitueraient des facteurs aggravants et non des causes des difficultés de lecture (Ramus, 2003).

Notre travail s'inscrit dans la théorie phonologique et nos études incluent des dyslexiques présentant une dyslexie développementale phonologique.

La définition de la dysphasie, encore appelée trouble spécifique du langage oral ou plus rarement aphasie développementale, est nettement moins bien délimitée. Sa définition a été formalisée en 1981 par Stark et Tallal comme un retard de langage global d'au moins 12 mois par rapport à l'âge chronologique, en l'absence de tout déficit émotionnel, auditif, articulatoire, comportemental ou neurologique grave (Stark & Tallal, 1981). Alors que les critères d'exclusion font l'objet d'un consensus, de nombreuses divergences persistent sur le diagnostic clinique et notamment sur l'utilisation d'un critère de comparaison langage / QI (Aram, Morris, & Hall, 1993; Eisenmajer, Ross, & Pratt, 2005). Le déficit peut affecter les deux versants du langage, expressif et réceptif, ainsi que les différents domaines : morphologie, grammaire, syntaxe et phonologie ; les enfants présentant le plus souvent des atteintes mixtes (Billard, Duvelleroy-Hommet, de Becque, & Gillet, 1996; Joanisse & Seidenberg, 1998; Stark & Tallal, 1981). Le pronostic semble très variable, bien que plus favorable pour les troubles productifs que pour les troubles réceptifs. Différents auteurs font état d'une amélioration précoce et progressive du langage oral entre 2 et 8 ans, pouvant mener à un langage normal dès 4-5 ans (Bishop & Edmundson, 1987; Scarborough & Dobrich, 1990; Stothard, Snowling, Bishop, Chipchase, & Kaplan, 1998). Cependant, des marqueurs du trouble précoce du langage oral, notamment un déficit de vocabulaire, de conscience phonologique et de lecture, persisteraient même chez les dysphasiques compensés. Nous reviendrons de manière plus précise sur ces déficits. En raison de ces nombreuses difficultés, les dysphasiques seraient également plus sujets à des troubles comportementaux et de socialisation, en dépit d'une intelligence et d'une capacité attentionnelle préservées (Aram, Ekelman, & Nation, 1984; Tomblin et al., 2000; van Daal, Verhoeven, & van Balkom, 2007).

De nombreuses classifications ont tenté de rendre compte de la diversité des troubles du langage présents chez les dysphasiques. Les catégories proposées par ces différentes classifications présentent néanmoins un recoupement très important et une bonne stabilité dans le temps (Aram et al., 1984; Conti-Ramsden & Botting, 1999; Conti-Ramsden, Crutchley, & Botting, 1997; Rapin, 1996; Rapin, Allen, & Dunn, 1992). Les sous-groupes sont généralement définis sur la base de la présence de troubles affectant principalement la syntaxe, l'articulation et la phonologie, la programmation phonologique, la phonologie et la syntaxe ou la sémantique pragmatique. Seule la classification proposée par Bishop & Edmundson (1987) implique une hiérarchie au sein des troubles (phonologiques, morphologiques/syntaxiques, sémantiques et global expressif/réceptif) (Bishop & Edmundson, 1987).

Deux hypothèses ont été émises pour expliquer les difficultés de lecture rencontrées par les dysphasiques. Selon la première hypothèse, le trouble central serait un trouble phonologique affectant les représentations phonologiques et/ou la capacité de mémoire phonologique et expliquant à la fois les difficultés de syntaxe, de compréhension et de production (Joanisse & Seidenberg, 2003; Mackie & Dockrell, 2004; Montgomery, 1995). La deuxième hypothèse renvoie, pour sa part, à un ralentissement global du traitement de l'information. Bien que permettant d'expliquer les difficultés supplémentaires fréquentes, notamment en arithmétique, elle semble infirmée par l'étude des temps de réaction qui montre la présence du ralentissement uniquement chez une partie des dysphasiques (Fazio, 1999; Windsor & Hwang, 1999).

Dans notre travail, nous nous référons à la classification proposée en 1992 par Rapin, Allen et Dunn et à l'hypothèse phonologique qui semble, à nouveau, la plus vraisemblable et qui contribue à notre choix d'inclure uniquement des dysphasiques phonologique-syntaxiques.

Il convient de préciser que nous utilisons les termes génériques de dyslexie et dysphasie tout en gardant à l'esprit que nos interprétations s'appliquent uniquement à la dyslexie phonologique et à la dysphasie phonologique-syntaxique accompagnée de troubles de la lecture.

Les nombreux éléments communs à la dyslexie et à la dysphasie justifient notre étude conjointe de ces deux troubles développementaux. Tous deux considérés comme des troubles spécifiques du langage, ils présentent un déficit central de la composante phonologique et sont notamment définis par l'absence de trouble sensori-moteur ou neurologique. Si la dyslexie est considérée comme une pathologie du langage écrit et la dysphasie comme une pathologie du langage oral, de nombreux dyslexiques semblent présenter des difficultés du langage oral et une majorité des dysphasiques serait confrontée à des troubles du langage écrit. Ces similitudes ont conduit certains auteurs à s'interroger sur la nature de la relation entre ces deux troubles développementaux (Bishop & Snowling, 2004; Catts, Adlof, Hogan, & Weismer, 2005). Bien que la possibilité d'un problème diagnostic ait été envisagée – « les dysphasiques ne seraient-ils pas des dyslexiques n'ayant pas réussi à compenser leur trouble du langage oral ? », « les dyslexiques présentant un trouble du langage oral ne seraient-ils pas en fait des dysphasiques ? » (Joanisse, Manis, Keating, & Seidenberg, 2000; Ramus, 2001) – différentes hypothèses ont été émises concernant la nature de la relation entre dyslexie et dysphasie. Ces hypothèses vont de la conception de deux troubles formant les deux extrémités d'un continuum à la conception de deux troubles totalement distincts (Catts et al., 2005; Kamhi & Catts, 1986). La plupart des auteurs défendent néanmoins des positions

intermédiaires (Bishop & Snowling, 2004; Joanisse et al., 2000; Snowling, Bishop, & Stothard, 2000). De nombreux facteurs, liés notamment à la diversité de la population dysphasique et des critères cliniques utilisés dans le diagnostic de dysphasie et de trouble de la lecture, peuvent contribuer à expliquer la diversité des interprétations sur la relation entre dyslexie et dysphasie. Aucun de ces facteurs ne permet pourtant, à l'heure actuelle, de déterminer avec précision la relation entre ces deux troubles développementaux.

Par ailleurs, si quelques études ont porté sur le réseau neuro-anatomique de la lecture dans la dyslexie, aucune n'a abordé cette question dans la dysphasie, laissant ouverte la question des soubassements anatomo-fonctionnels de la lecture dans ces deux troubles développementaux.

C/ Objectifs et présentation de notre recherche

L'objectif principal de notre recherche est d'approfondir notre connaissance des dysfonctionnements de la lecture et plus particulièrement des troubles phonologiques qui en sont à l'origine. Le rôle central du déficit phonologique dans la dyslexie et la dysphasie nous a conduit à étudier des enfants présentant des difficultés de lecture dans le cadre de ces deux troubles développementaux. Dans la lignée de la pluridisciplinarité des recherches ayant abordé cette thématique, nous avons souhaité préciser le développement « normal » des différents niveaux de traitement phonologique et leur influence sur la lecture avant de nous intéresser plus spécifiquement aux déficits phonologiques. Nous avons complété ces recherches par une étude des réseaux anatomo-fonctionnels sous-tendant la lecture dans ces deux troubles développementaux.

Dans un souci de clarté, notre travail est divisé en trois parties distinctes. Dans la première partie, nous nous intéressons au développement normal des compétences phonologiques liées à la lecture. Dans la deuxième partie, nous traitons des déficits phonologiques en lien avec les troubles de la lecture dans la dyslexie et la dysphasie et, finalement, la troisième partie est consacrée aux mécanismes physiopathologiques de la lecture dans ces deux troubles développementaux.

Avant d'aborder les chapitres expérimentaux, chaque partie débute par une analyse des connaissances actuelles sur les différentes compétences mises en jeu durant la lecture, leur développement et leur influence sur la lecture, chez l'enfant normo-lecteur dans le premier chapitre et chez les dyslexiques et dysphasiques dans le deuxième chapitre. Dans le troisième chapitre, l'analyse des connaissances concerne le réseau neuronal sous-tendant la lecture dans ces trois populations. L'objectif principal de la thèse portant sur les troubles phonologiques, ces revues de connaissances sont axées sur les différents niveaux de

traitement phonologique, la discrimination, la conscience et différents aspects de la mémoire phonologique.

PARTIE I :

Etude développementale des différents niveaux de traitement
phonologique et de leur influence sur l'apprentissage de la
lecture

Chapitre 1 : Etat des connaissances

A l'inverse des lecteurs experts qui « reconnaissent » un mot écrit dès lors qu'ils l'ont déjà rencontré ; au début d'apprentissage de la lecture les enfants ne disposent pas de représentation orthographique des mots, ils doivent donc procéder par décodage. Pour cela, ils doivent mettre en place le système de conversion grapho-phonémique qui constitue le principe de base du système d'écriture alphabétique. Lors de la lecture, il faut non seulement qu'ils convertissent les graphèmes en phonèmes mais également qu'ils maintiennent en mémoire à court terme (MCT) la séquence de phonèmes ainsi décodée, afin de l'assembler pour retrouver la forme sonore du mot et, par là, accéder à sa prononciation et son sens. Ces différentes opérations requièrent différents sous-processus dont la conscience phonologique et différentes composantes de la mémoire phonologique, notamment la mémoire de l'item, la mémoire de l'ordre et les représentations phonologiques en mémoire à long terme (MLT). Nous allons aborder successivement l'état des connaissances sur le développement de ces différents processus, leurs inter-relations et leur influence sur l'apprentissage de la lecture.

1. La conscience phonologique

La conscience phonologique fait communément référence « à la capacité d'identifier les composants phonologiques des unités linguistiques et de les manipuler de manière délibérée » (Gombert, 1990). Certains auteurs restreignent l'usage du terme de « conscience phonologique » aux unités sub-syllabiques et/ou à la manipulation volontaire des différentes unités du langage (pour une revue voir Anthony & Lonigan, 2004). Nous nous référerons dans notre travail à une définition moins restrictive, similaire à celle proposée par Gombert (1990) et qui s'apparente plus à la conception de « sensibilité phonologique » proposée par Stanovitch (1992) (Anthony & Lonigan, 2004; Gombert, 1990c; Stanovitch, 1992). Cette conception inclut l'identification, la détection et la manipulation conscientes – segmentation, combinaison et suppression – de toutes les unités phonologiques – syllabe, attaque/rime et phonème. Selon cette conception, la conscience phonologique se développe suivant deux axes parallèles, le niveau de conscience requis par la tâche et la taille de l'unité phonologique mise en jeu.

- **Les différents niveaux de conscience phonologique**

Les enfants disposent très précocement de connaissances phonologiques. Les nouveaux-nés manifestent, par exemple, des prédispositions pour percevoir les contrastes phonétiques des différentes langues du monde et les distinctions non pertinentes se

désactivent durant les premiers mois de vie, sous l'effet de l'exposition à la langue maternelle (Werker & Tees, 1984). Durant les premières années de vie, l'enfant intègre ainsi progressivement les règles phonologiques inhérentes à sa langue maternelle. L'utilisation de ces règles dans la construction du discours n'est cependant pas consciente et reflète un niveau de connaissance dit « épilinguistique » (Demont & Gombert, 2007; Gombert, 1990b; Gombert et al., 2004). Ces connaissances épilinguistiques constituent la base du développement des capacités « métalinguistiques » et plus particulièrement « métaphonologiques » qui peuvent être définies comme les capacités d'identification, de contrôle, de réflexion et de manipulation *conscientes* des règles et unités phonologiques : la conscience phonologique (Gombert, 1990b). A l'inverse des capacités épilinguistiques qui se développent spontanément, les capacités métaphonologiques n'émergent que sous l'influence d'une pression externe généralement liée à l'enseignement de la lecture (Duncan et al., 1997; Gombert, 1990b; Lundberg, 2002). Au sein des capacités métaphonologiques, une distinction supplémentaire peut être faite entre la connaissance consciente de l'information phonologique et le contrôle du traitement de cette information (Gombert, 1990b). Le développement des capacités métaphonologiques peut être appréhendé grâce aux différentes tâches de conscience phonologique évaluant les différents niveaux de conscience (Anthony & Lonigan, 2004; Duncan et al., 1997; Gombert, 1990b, 1992; Savage, Blair, & Rvachew, 2006). Les tâches de discrimination, d'identification ou de détection en choix forcé font appel à un niveau de conscience phonologique moindre et évaluent l'émergence de la connaissance consciente (Gombert, 1990b; Naslund & Schneider, 1996). Le contrôle conscient est, quant à lui, évalué par des tâches dites productives et la segmentation est maîtrisée avant la combinaison, elle-même maîtrisée avant la suppression, les performances à chacune de ces tâches continuant de se développer avec l'âge (Anthony & Lonigan, 2004; Foorman, Anthony, Seals, & Mouzaki, 2002; Gombert, 1990b; Martin et al., 2003; Wagner, Torgesen, & Rashotte, 1994).

- **Les différentes unités phonologiques**

La conscience phonologique se développe également au travers des différentes unités phonologiques (Anthony & Lonigan, 2004; Anthony et al., 2002; Foorman et al., 2002; Lonigan, Burgess, & Anthony, 2000; Lonigan, Burgess, Anthony, & Barker, 1998; Shaywitz et al., 2008). Alors que la rime et la syllabe sont des unités physiquement distinguables grâce à des marqueurs articulatoires et des modifications de l'amplitude du signal acoustique, les phonèmes, quant à eux, constituent des unités abstraites, acoustiquement indissociables en raison du phénomène de co-articulation (Liberman, Cooper, Shankweiler, & Studdert-Kennedy, 1967; I. Y. Liberman, Shankweiler, Fischer, & Carter, 1974). Ces phénomènes physiques constituent une des bases de la théorie prédominante, selon laquelle la

conscience phonologique se développe des unités les plus larges vers les unités les plus petites. Cette conception, développée dans les années 1970, a été formalisée sous l'intitulé de « théorie de l'affinement de la taille du grain » (« *grain size theory* ») par Ziegler et Goswami (2005). Selon cette théorie, la conscience de la syllabe se développe en premier, aux alentours de 3-4 ans, suivie par la conscience de l'attaque et de la rime vers 4-5 ans, la conscience phonémique présentant le développement le plus tardif (Ziegler & Goswami, 2005). La syllabe constituant l'unité de base de la perception et de la segmentation de la parole dans les langues occidentales, elle est l'unité de découpage la plus facilement acquise et ontologiquement la première (Anthony & Lonigan, 2004; Bertelson, de Gelder, & van Zon, 1997; Cutler, Mehler, Norris, & Segui, 1983; Naslund & Schneider, 1996; Segui, 1984). Si la conscience de la rime émerge, elle aussi, spontanément, le développement de la conscience du phonème dépend, en revanche, de l'enseignement de la lecture (Goswami, 1999, 2000; Ziegler & Goswami, 2005). Il a été mis en évidence, par exemple, que les adultes illettrés présentent de bonnes performances pour des tâches phonologiques portant sur la rime, mais une absence de conscience du phonème (de Loureiro et al., 2004; Morais, 2003). Par ailleurs, de nombreuses études développementales montrent que le développement de la conscience du phonème peut être prédit par la conscience de la syllabe et de la rime chez des enfants d'âge préscolaire et en début de scolarité, entre 2 et 7 ans (Anthony & Lonigan, 2004; Anthony et al., 2002; Bryant, MacLean, Bradley, & Crossland, 1990; Carroll, Snowling, Stevenson, & Hulme, 2003; Duncan et al., 1997; Foorman et al., 2002; Goswami, 1999; Roberts & McDougall, 2003; Stainthorp & Hughes, 1998). Quelques auteurs ont, néanmoins, suggéré une indépendance du développement de la conscience de la rime et du phonème, la conscience du phonème pouvant être présente avant la conscience de la rime sous l'effet de l'enseignement (Duncan et al., 1997; Savage et al., 2006).

Selon la principale théorie alternative, la structure phonémique serait présente dès la mise en place des représentations phonologiques mais elle serait ignorée jusqu'à l'apprentissage de la lecture (Liberman, 1970). Le phonème deviendrait alors l'unité de base correspondant aux représentations orthographiques des lettres. Si cette théorie reste évoquée dans la littérature, elle n'y est pas défendue (Carroll et al., 2003; Duncan et al., 1997; Morais, 2003; Ziegler & Goswami, 2005). Il est néanmoins intéressant de souligner qu'elle met également en exergue le rôle crucial de l'apprentissage de la lecture dans l'émergence de la conscience phonémique.

- **Les interactions entre le développement des niveaux de conscience phonologique et des unités phonologiques**

L'augmentation du niveau de conscience et la diminution de la taille de l'unité phonologique sont en fait totalement imbriquées (Foorman et al., 2002). Les enfants peuvent discriminer deux syllabes se différenciant par un seul phonème avant de pouvoir détecter le phonème commun (Morais, 2003). En effet, si l'identification de la syllabe et de la rime est opérationnelle dès l'âge de 4 ans, les enfants ne sont capables d'identifier les phonèmes qu'à partir de 7-8 ans (Gombert, 1990c). Par ailleurs, les pré-lecteurs présentent de bonnes performances dans une tâche de détection de l'intrus concernant l'attaque et la rime et dans une tâche de segmentation syllabique nécessitant un niveau de conscience plus profond (Hulme et al., 2002; Liberman et al., 1974; Rohl & Pratt, 1995). En revanche leurs performances sont très faibles lorsque ces tâches portent sur des phonèmes, même pour la tâche d'identification ; ce qui indique que la segmentation phonémique n'est possible qu'au cours de la fin de la première année de scolarisation et reste plus échouée (Hulme et al., 2002; Liberman et al., 1974; Rohl & Pratt, 1995). L'enfant acquiert ainsi certaines capacités de segmentation des unités larges, syllabe puis attaque/rime avant d'avoir totalement développé ses capacités d'identification phonémique.

La position de l'unité dans le mot influence également les performances aux différentes tâches. Ainsi, la détection d'une unité commune est plus facile en début qu'en fin de mot (Hulme et al., 2002). Les lecteurs débutants présentent en revanche des performances de suppression du phonème supérieures pour le phonème final par rapport au phonème initial, tandis que la suppression du phonème médian n'est maîtrisée qu'à partir de 12 ans (Gombert, 1990c; Hulme, 2002; Hulme et al., 2002). La tâche de détection ne nécessitant pas d'analyse explicite de la structure phonologique, les unités plus larges et la position initiale seraient mieux réussies du fait de leur saillance perceptive supérieure (Hulme, 2002). A l'inverse, la tâche de suppression requiert une analyse phonologique explicite pour toutes les unités. Cette analyse serait néanmoins facilitée dans le cas du phonème final qui peut être supprimé par arrêt de la production phonologique avant la fin de la séquence (Hulme et al., 2002). D'autre part, la suppression d'un phonème est plus facile lorsqu'il est isolé que lorsqu'il est inclus dans un cluster consonantique (Bertelson et al., 1997; Hulme et al., 2002).

- **L'influence du vocabulaire et de la connaissance des lettres sur le développement de la conscience phonologique**

L'affinement des unités de conscience phonologique semble influencé par le développement du vocabulaire et la connaissance des lettres. La contribution majeure du vocabulaire à la conscience phonologique paraît très précoce (Carroll et al., 2003; Goswami,

1999; Muter et al., 2004). Le stock lexical augmente de manière exponentielle entre 12 et 24 mois, puis entre 3 et 5 ans, suite à la mise en place des représentations des gestes articulatoires (Carroll et al., 2003; Foorman et al., 2002; Gathercole & Adams, 1994). Or, selon l'hypothèse de restructuration lexicale, cet accroissement rapide du vocabulaire provoque une augmentation massive de la charge en mémoire ; l'enfant ne peut donc plus baser son système de mémorisation uniquement sur les mots et doit prendre en compte de plus petits segments (Goswami, 1999; Lundberg, 2002). Cet ajout progressif d'informations sublexicales de plus en plus petites aux représentations phonologiques lexicales en mémoire à long terme contribue à l'émergence de la conscience phonologique (Metsala, 1999; Ziegler & Goswami, 2005). L'influence du vocabulaire sur la conscience phonologique ne perdurerait pas au-delà de l'intégration des unités sublexicales dans les représentations phonologiques et la conscience de la rime serait indépendante des connaissances lexicales avant la conscience du phonème (De Jong & Van der Leij, 1999; Metsala, 1999).

Certaines études indiquent une relation réciproque entre le développement de la conscience phonologique et la connaissance des lettres (Blaiklock, 2004; Foorman et al., 2002; Lonigan et al., 2000; Lonigan et al., 1998; Roberts & McDougall, 2003). Cependant, si la connaissance des lettres favorise le développement de la conscience phonologique, principalement chez le pré-lecteur, elle ne semble pas indispensable (Burgess & Lonigan, 1998; De Jong & Van der Leij, 1999; Evans, Bell, Shaw, Moretti, & Page, 2006; Hulme, Caravolas, Malkova, & Brigstocke, 2005; Lonigan et al., 2000; Lundberg, 2002; Muter, Hulme, Snowling, & Taylor, 1998; Muter et al., 2004; Naslund & Schneider, 1996; Roberts & McDougall, 2003; Wagner, Torgesen, Laughon, Simmons, & Rashotte, 1993; Wagner et al., 1994; Wagner et al., 1997). D'autre part, l'influence de la conscience phonologique sur la connaissance des lettres est controversée (Burgess & Lonigan, 1998; Evans et al., 2006; Lonigan et al., 2000; Muter et al., 2004; Savage & Carless, 2004). Les divergences entre les études pourraient s'expliquer par l'unité de conscience phonologique étudiée et la distinction entre connaissance du nom et connaissance du son des lettres. En effet, la connaissance du nom des lettres précède et favorise la connaissance du son des lettres, surtout lorsque le son est contenu dans le nom de la lettre (Evans et al., 2006; Foorman et al., 2002; Levin et al., 2006; Share, 2004; Treiman & Tincoff, 1996). La rime serait liée à la connaissance du nom de la lettre, tandis que le phonème serait lié à la connaissance du son des lettres et, en parallèle, la connaissance des lettres serait particulièrement importante et prédictive pour les niveaux les plus fins de conscience phonologique (Blaiklock, 2004; Burgess & Lonigan, 1998; Carroll et al., 2003; Carroll & Snowling, 2004).

Entre 4 et 8 ans, soit en fin de maternelle et début de primaire², la conscience phonologique évolue d'une conscience superficielle des unités larges vers une conscience plus profonde des petites unités (Lonigan et al., 1998; Wagner et al., 1993). Ce développement semble précocément lié à l'augmentation du vocabulaire. L'émergence du contrôle métalinguistique et des compétences phonémiques après le début de la scolarisation atteste l'influence d'une demande extérieure sur le développement des niveaux les plus fins et élaborés de conscience phonologique (Duncan et al., 1997; Gombert, 1990b).

2. La mémoire phonologique

Bien que la notion de « mémoire phonologique » soit fréquemment utilisée, elle n'est pas toujours clairement définie. Dans un article de synthèse sur le développement général de la mémoire, Gathercole (1998) regroupe sous le terme de « mémoire à court terme phonologique » deux composantes : « la boucle phonologique » du modèle de mémoire de travail de Baddeley (1986) et « l'influence des connaissances phonologiques en mémoire à long terme » (Baddeley, 1986; Gathercole, 1998). En plus de ces deux composantes, nous incluons dans notre étude de la mémoire phonologique la composante sérielle de la mémoire à court terme ou mémoire de l'ordre. La figure I.A a été conçue à partir des modèles de Baddeley (1986, 2000), Burgess et Hitch (1999) et Gupta et MacWhinney (1997, 2003) que nous allons présenter, afin de schématiser notre vision de la mémoire phonologique (Baddeley, 1986, 2000; Burgess & Hitch, 1999; Gupta, 2003; Gupta & MacWhinney, 1997).

² En raison des disparités entre les systèmes scolaires des différents pays, nous avons harmonisé la nomenclature sur la base du système français. Les termes « scolarisation » et « école primaire » sont utilisés comme synonymes, les différents « grades » étant transcrit en termes d'années de scolarisation. Nous utilisons les termes préscolaire ou école maternelle pour traduire la notion de « kindergarten » (jardin d'enfant).

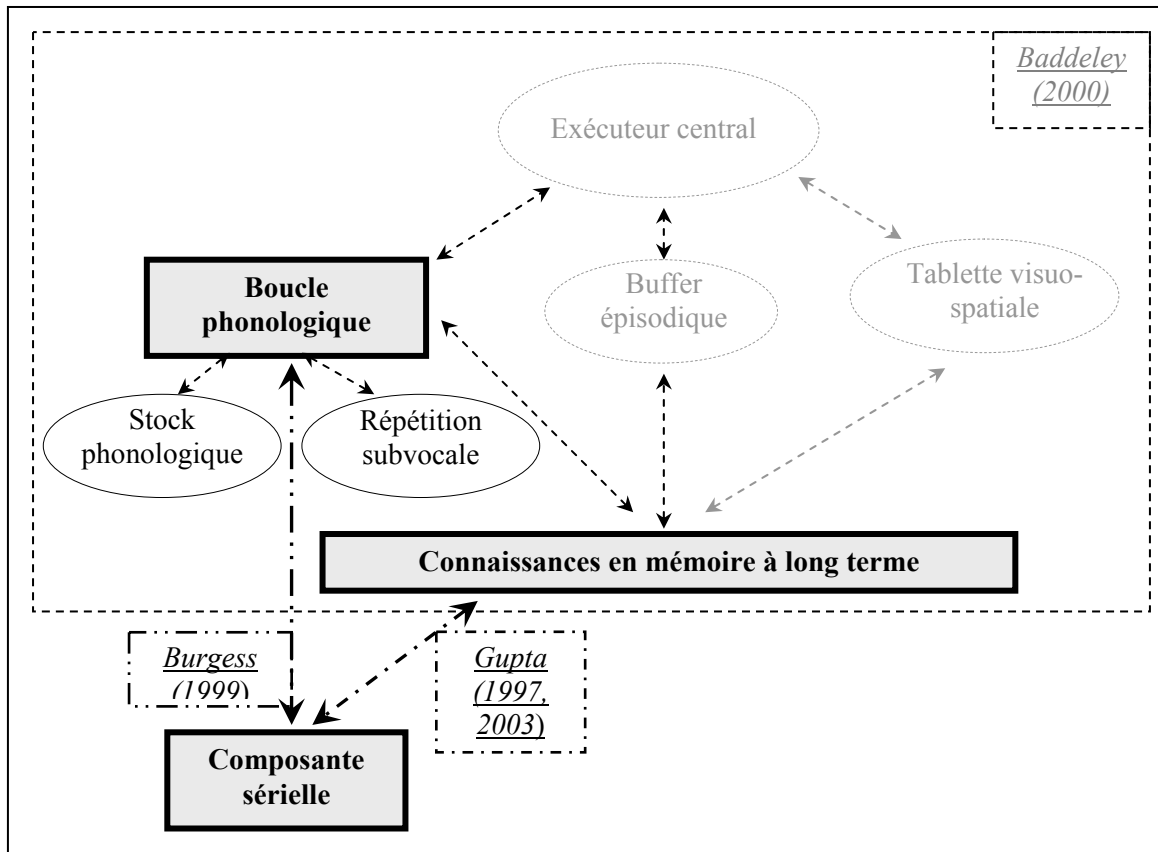


Figure I.A : Représentation schématique des différentes composantes de la mémoire phonologique et de leurs interrelations (en grisé et traits noirs). Nous avons élaboré cette représentation à partir des modèles de la mémoire de travail de Baddeley (1986, 2000) (en tirets) et de la mémoire de l'ordre de Burgess et Hitch (1999) et Gupta (1987, 2003) (en tirets et pointillés).

- **Capacité de la mémoire à court terme**

La mémoire à court terme fait référence, stricto sensu, au stockage d'informations durant quelques secondes. La mémoire de travail couple les notions de stockage et de manipulation de l'information. En dépit de cette distinction théorique, le modèle de mémoire de travail développé par Baddeley (1986) reste le modèle de référence généralement utilisé pour traiter de la mémoire à court terme (Baddeley, 1986). D'après ce modèle, la mémoire de travail est composée d'un exécuter central et de deux systèmes esclaves, la tablette visuospatiale et la boucle phonologique (Figure I.A). L'exécuter central coordonne les informations en mémoire de travail et en mémoire à long terme et contrôle l'attention, la mise en place de stratégies d'encodage, de récupération, de traitement des informations... Les systèmes esclaves sont spécialisés dans le traitement d'une capacité limitée d'information spécifique, respectivement visuelle et verbale/phonologique. La boucle phonologique, principale composante engagée dans la mémoire phonologique, se divise en deux sous-systèmes : le stock phonologique qui permet un maintien bref de l'information sous forme phonologique durant quelques secondes et la répétition subvocale qui permet, d'une part, de

réactiver les informations du stock phonologique pour en augmenter la durée de mémorisation à quelques minutes et, d'autre part, de convertir les informations visuelles en un code phonologique. Lors d'une révision de son modèle en 2000, Baddeley y a ajouté une quatrième composante, le buffer épisodique (Baddeley, 2000) (Figure 1.A). Il s'agit d'un système à capacité limitée intégrant les informations des différentes sources – les deux systèmes esclaves, l'exécuteur central et la MLT – en une représentation unique, temporaire et multimodale. Les différentes composantes de la mémoire de travail sont évaluées par différentes tâches. L'exécuteur central est testé par des épreuves d'empan complexe, d'empan de lecture et de répétition inverse, le buffer épisodique par la répétition de phrases et la tablette visuospatiale par des épreuves de reconnaissance de patterns visuels ou de labyrinthes (Alloway, Gathercole, Willis, & Adams, 2004; Gathercole, Pickering, Ambridge, & Wearing, 2004; Poncelet, Majerus, & Van der Linden, 2001; Rohl & Pratt, 1995). Ces composantes sont cependant hors du champ de notre travail et nous allons maintenant porter notre attention spécifiquement sur les composantes impliquées dans la mémoire phonologique.

La boucle phonologique est évaluée par des épreuves d'empan simple, de rappel de listes d'items ou de répétition de non-mots, les performances à ces différentes d'épreuves étant corrélées dès l'âge de trois ans (Gathercole & Adams, 1993; Gathercole et al., 2004; Poncelet et al., 2001). Au sein de ces épreuves, différents effets permettent de tester les différentes composantes de la boucle phonologique (Gathercole, 1998; Gray & McCutchen, 2006; Poncelet et al., 2001). La répétition subvocale est évaluée grâce à l'effet de longueur, attesté par une diminution des performances pour les items les plus longs, ou par l'effet de suppression articulaire lié pour sa part à l'utilisation d'une tâche secondaire empêchant l'utilisation de l'articulation subvocale (par exemple, la répétition d'une suite de syllabes sans signification). Le stock phonologique est testé au travers de l'effet de similarité phonologique, *i.e.* des performances inférieures pour le rappel de listes contenant des mots phonologiquement semblables par rapport aux listes contenant des mots très différents. L'effet de similarité phonologique, pénalisant pour les mots, semble avoir au contraire un effet inverse, facilitateur, sur le rappel de non-mots en agissant comme un indice de récupération (Karlsen, Imenes, Johannessen, Endestad, & Lian, 2007).

L'empan, la mesure la plus classiquement utilisée pour évaluer la capacité de la mémoire, augmente entre 2 et 12 ans avec une stabilisation vers la deuxième année de scolarisation ; les enfants présentant un empan moyen de 6,5 items à 7 ans, pour un empan normal de 7 ± 2 à l'âge adulte (Blaiklock, 2004; Gathercole, 1998; Wagner et al., 1994). Cette augmentation de la capacité de mémoire a été confirmée par de nombreuses études réalisées avec les différentes tâches décrites précédemment (Blaiklock, 2004; de Jong & Olson, 2004; De Jong & Van der Leij, 1999; Gathercole & Adams, 1993, 1994; Gathercole &

Baddeley, 1989; Gathercole, 1995; Gathercole, 1998, 1999; Gathercole et al., 2004; Gray & McCutchen, 2006; Metsala, 1999; Passenger, Stuart, & Terrell, 2000; Rohl & Pratt, 1995; Roodenrys, Hulme, & Brown, 1993; Wagner et al., 1993; Wagner et al., 1994; Windfuhr & Snowling, 2001). La stabilisation des performances vers 7 ans paraît liée à l'émergence de la répétition subvocale. En effet, l'effet de similarité est présent précocement, alors que les effets de longueur et de vitesse d'articulation n'apparaissent qu'à 7 ans, ce qui indique que la mémorisation précoce est principalement dépendante du stock phonologique (Baddeley, Gathercole, & Papagno, 1998; Gathercole, 1998). La répétition subvocale pourrait néanmoins être effective à partir de 5 ans pour certains types d'items très fréquents, comme les chiffres, mais il est difficile de distinguer pour ces items l'effet de la répétition subvocale d'un effet lié à la sortie phonologique (Gathercole & Adams, 1994).

- **Influence des connaissances phonologiques en mémoire à long terme**

La présence en mémoire à long terme de représentations phonologiques correspondant à l'information de la boucle phonologique en facilite la mémorisation et la restitution, au travers des relais que constituent le buffer épisodique et l'exécuter central (Baddeley, 2000; Gathercole, 1998). Les représentations phonologiques permettent notamment le complètement des informations phonologiques partiellement dégradées en MCT à partir des connaissances disponibles en MLT (Gathercole, 1999).

L'influence des connaissances en MLT sur les performances en MCT peut être évaluée par différents effets liés à la manipulation du matériel à rappeler ou à répéter. L'influence des connaissances phonologiques lexicales est mise en évidence par les effets de fréquence lexicale, de familiarité et de lexicalité : les mots fréquents et familiers sont mieux rappelés que les mots rares, les mots que les non-mots et les non-mots contenant une syllabe signifiante que les non-mots ne contenant aucun indice lexical (Dollaghan, Biber, & Campbell, 1993; Gathercole, Frankish, Pickering, & Peaker, 1999; Poncelet et al., 2001; Roodenrys et al., 1993). Quant à l'influence des représentations phonologiques sublexicales, elle se traduit notamment par l'effet de fréquence phonotactique, *i.e.* la supériorité des performances pour les non-mots présentant une structure phonologique proche de celle des mots, c'est-à-dire contenant des combinaisons de phonèmes fréquentes dans la langue (Gathercole et al., 1999; Majerus & Poncelet, 2004; Poncelet et al., 2001). Les représentations phonologiques lexicales et sublexicales ont une influence distincte l'une de l'autre sur les performances en mémoire à court terme : les performances pour le rappel des mots sont supérieures à celles obtenues pour le rappel des non-mots de même fréquence phonotactique, ces dernières étant elles-mêmes supérieures à celles obtenues pour des non-mots de fréquence phonotactique plus faible (Gathercole et al., 1999). Différentes études ont de plus montré que ces effets étaient indépendants de la vitesse d'articulation et

par conséquent de la capacité de répétition subvocale et il a été établi que l'effet de fréquence phonotactique n'était pas le résultat d'une complexité accrue de production des diphtongues rares, mais bien le reflet de l'intégration des contraintes liées à la structure phonologique de la langue (Gathercole et al., 1999; Goldrick & Larson, 2008; Hulme, Roodenrys, Brown, & Mercer, 1995; Roodenrys et al., 1993). L'influence des connaissances à long terme ainsi que l'indépendance des effets confirment, d'une part, la structure modulaire de la mémoire de travail et, d'autre part, l'existence de relations entre le buffer épisodique, l'exécuteur central et la boucle phonologique pour l'intégration en MCT des connaissances phonologiques stockées en MLT (Alloway et al., 2004; Baddeley, 2000).

L'existence des effets de familiarité et de lexicalité dès l'âge de 4 ans témoigne d'une influence précoce des représentations phonologiques en mémoire à long terme (Gathercole & Adams, 1994; Majerus, Poncelet, Greffe, & Van der Linden, 2006). Cette influence se développe avec l'âge en relation avec l'accroissement des connaissances phonologiques lexicales et sublexicales (Gathercole, 1998; Roodenrys et al., 1993). Après stabilisation de l'empan, l'augmentation des performances aux épreuves de mémoire phonologique serait donc principalement due à une augmentation de la précision des représentations phonologiques (Munson, Kurtz, & Windsor, 2005; Olson, Davidson, Kliegl, & Davies, 1984). Cependant, l'effet de fréquence phonotactique semble équivalent à celui de l'adulte chez les enfants dès 6-8 ans dans une épreuve de rappel sériel immédiat (Majerus & Van der Linden, 2003), alors qu'il paraît diminuer entre 6 et 13 ans dans une épreuve de répétition de non-mots (Munson et al., 2005). Ces résultats contradictoires suggèrent que le développement de l'influence des connaissances phonologiques dépendrait, non seulement de l'accroissement des représentations phonologiques, mais également d'autres facteurs impliqués dans ces tâches. Etant donné le rôle probable du buffer épisodique, dont la capacité est limitée, dans l'intégration des informations en MCT et en MLT, nous pouvons supposer que la charge en MCT limitera l'influence des connaissances en MLT.

- **Mémoire de l'ordre**

Le traitement de l'information verbale ainsi que la majorité des tâches de mémoire impliquent un traitement séquentiel de l'information (Burgess & Hitch, 1999). Certains auteurs se sont donc interrogés sur la composante sérielle de la mémoire à court terme phonologique, absente du modèle de Baddeley (Baddeley, 1986; Burgess & Hitch, 1999; Gupta, 2003; Gupta & MacWhinney, 1997). Burgess et Hitch (1999) ont implémenté un modèle connexionniste de la boucle phonologique, ajoutant à la mémorisation des informations phonologiques (mémoire des items) la mémorisation de la séquence de ces informations (mémoire de l'ordre) (Figure I.A). Si les tâches de rappel de listes d'items impliquent la mémorisation à la fois des informations sur les items et sur l'ordre, les tâches

de reconnaissance ou de reconstruction de l'ordre sériel permettent de distinguer la mémoire de l'ordre de la mémoire de l'item (Majerus, Poncelet, Elsen, & van der Linden, 2006; Poncelet et al., 2001). Des travaux récents tendent à confirmer que la mémorisation des informations relatives aux items et à l'ordre dépendrait de deux processus distincts (Majerus, Poncelet, Elsen et al., 2006; Majerus, Poncelet, Greffe et al., 2006; Majerus, Poncelet, Van der Linden, & Weekes, 2008). Alors que les tâches de rappel sériel immédiat sont corrélées avec les tâches de reconstruction de l'ordre et les tâches de reconnaissance de l'item, ces deux tâches ne présentent, en effet, aucune corrélation (Majerus, Poncelet, Elsen et al., 2006). D'autre part, le modèle proposé par Gupta souligne l'existence d'un lien entre la mémoire de l'ordre sériel et les représentations phonologiques lexicales et sublexicales en mémoire à long terme (Gupta, 2003; Gupta & MacWhinney, 1997) (Figure I.A). La confrontation des modèles de Baddeley (1986, 2000), Burgess et Hitch (1999), Gupta (1997) et Gupta et McWhinney (2003) suggère que la composante sérielle est liée à la boucle phonologique et que ces deux composantes présentent des relations étroites avec les représentations phonologiques en mémoire à long terme. A notre connaissance, seule l'étude de Majerus *et al.* (2006) s'est intéressée spécifiquement au développement de la mémoire de l'ordre chez des enfants de 4 à 6 ans. Cette composante est présente dès quatre ans et sa capacité augmente durant les deux années étudiées (Majerus, Poncelet, Greffe et al., 2006).

- **Les influences réciproques entre le développement du vocabulaire et le développement des différentes composantes de la mémoire phonologique**

Une relation étroite et réciproque a été mise en évidence entre la mémoire phonologique et le vocabulaire chez l'enfant dès 2 ans et jusqu'à l'âge adulte (Baddeley, 2003; de Jong & Olson, 2004; Gathercole & Adams, 1993, 1994; Gathercole & Baddeley, 1989, 1993; Gathercole, Service, Hitch, Adams, & Martin, 1999; Gathercole, Willis, Emslie, & Baddeley, 1992; Gathercole, 1995; Gathercole et al., 1999; Gathercole, Hitch, Service, & Martin, 1997; Gathercole, Tiffany, Briscoe, & Thorn, 2005; Gupta, 2003; Majerus & Poncelet, 2004; Majerus, Poncelet, Elsen et al., 2006; Majerus, Poncelet, Greffe et al., 2006). Cette relation évolue qualitativement et quantitativement (Gathercole et al., 1992). Le vocabulaire a une influence prédominante sur la mémoire jusqu'à l'âge de 5 ans où la relation s'inverse, avant de diminuer progressivement (Gathercole et al., 1992). Différentes composantes de la mémoire phonologique semblent impliquées en fonction du sens de la relation. Tandis que la capacité de stockage et la composante sérielle de la mémoire phonologique contribuent au développement du vocabulaire, le vocabulaire influence les performances en mémoire phonologique principalement au travers de l'influence des connaissances phonologiques lexicales et sublexicales en mémoire à long terme.

Les effets de lexicalité, de familiarité et de fréquence lexicale témoignent d'un effet direct des connaissances lexicales sur les performances en mémoire phonologique (Majerus & Poncelet, 2004). Ces connaissances influencent aussi les performances de répétition d'items non-lexicaux, les non-mots. D'une part, l'activation des représentations de mots présentant une structure phonologique similaire aux non-mots facilite le complètement des informations en MCT et le nombre de représentations disponibles augmente avec l'accroissement du vocabulaire (Gathercole & Adams, 1993, 1994; Gathercole & Baddeley, 1989; Gathercole et al., 1997). D'autre part, la confrontation répétée aux mots permet à l'enfant d'extraire et de généraliser la structure phonologique de la langue et d'en intégrer les contraintes statistiques, notamment la fréquence phonotactique qui influence les performances en MCT (Harm & Seidenberg, 1999).

Dans la relation inverse, la capacité à maintenir temporairement un matériel phonologique facilite la mise en place de nouvelles représentations phonologiques lexicales en mémoire à long terme (de Jong & Olson, 2004; Gathercole & Adams, 1993; Gathercole, 1995; Gathercole et al., 1997). La relation entre mémoire et vocabulaire est précoce, elle précède l'apparition de la répétition subvocale, et elle indépendante des capacités articulatoires, ce qui indique que le stock phonologique est le mécanisme fondamental de la relation entre mémoire phonologique et vocabulaire (Baddeley, 2003; Baddeley et al., 1998; Gathercole et al., 1999). En facilitant la répétition immédiate de l'item au niveau lexical et sublexical, la mémoire de l'ordre a aussi une influence sur la mise en place de représentations lexicales, indépendamment de la mémoire de l'item (Gupta, 2003; Majerus, Poncelet, Elsen et al., 2006; Majerus, Poncelet, Greffe et al., 2006).

Le développement de la mémoire phonologique est complexe et dépend du développement de ses différentes composantes. Au début du développement, la mémoire phonologique dépend principalement du stock phonologique et la répétition subvocale émerge vers 7 ans. En revanche, le développement de l'influence des connaissances phonologiques en mémoire à long terme et de la mémoire de l'ordre, sont encore méconnus.

3. Relations entre conscience phonologique, mémoire phonologique et lecture

• Relations entre conscience et mémoire phonologiques

De nombreuses études chez les enfants entre 4 et 11 ans ont montré des corrélations entre les performances aux épreuves de mémoire phonologique, répétition de non-mots et empan, et les performances obtenues pour les différents niveaux et unités de conscience phonologique (Blaiklock, 2004; De Jong & Van der Leij, 1999; Metsala, 1999;

Rohl & Pratt, 1995; Wagner & Torgesen, 1987; Wagner et al., 1993; Wagner et al., 1997; Windfuhr & Snowling, 2001). Gathercole *et al.* (2005) distinguent trois hypothèses quant à la nature de la relation entre conscience et mémoire phonologique (Gathercole et al., 2005). 1. Selon la première hypothèse, soutenue dans les articles de Dufva *et al.* (2001), Griffiths et Snowling (2002) et Metsala (1999), les performances aux tâches de conscience et de mémoire phonologiques résulteraient d'un traitement phonologique sous-jacent commun (Dufva, Niemi, & Voeten, 2001; Griffiths & Snowling, 2002; Metsala, 1999). 2. Selon la deuxième hypothèse, dégagée de l'article de Windfuhr et Snowling (2001), la conscience phonologique serait fondée sur la connaissance de la structure phonologique de la parole tandis que la mémoire phonologique serait liée à la qualité des représentations phonologiques sous-jacentes (Windfuhr & Snowling, 2001). 3. Selon la troisième hypothèse, défendue par De Jong et Van Der Leij (1999), la conscience et la mémoire phonologiques dépendraient de l'efficacité du traitement phonologique tout en étant des processus distincts. La mémoire mettrait en jeu la boucle phonologique et la conscience, les connaissances métalinguistiques (De Jong & Van der Leij, 1999). Cette hypothèse paraît concilier les deux premières et ces différentes interprétations pourraient s'expliquer par les différentes tâches de mémoire utilisées dans ces 5 études. Les études de Griffiths et Snowling (2002) et Metsala (1999) (Hypothèse 1) distinguent la mémoire phonologique évaluée par une tâche de répétition de non-mots de la MCT verbale mesurée par des tâches d'empan, tandis que les articles de Dufva *et al.* (2001) (Hypothèse 1) et Windfuhr et Snowling (2001) (Hypothèse 2) se basent uniquement sur des épreuves d'empan. Seuls De Jong et Van Der Leij (1999) (Hypothèse 3) utilisent un score composite combinant une épreuve d'empan et une épreuve de répétition de non-mots. Or, les résultats de l'étude de Metsala mettent en évidence une relation entre la répétition de non-mots d'une part et la conscience phonologique et l'empan d'autre part, et une absence de relation entre l'empan et la conscience phonologique. Si l'on considère, comme c'est le cas, que l'empan et la répétition de non-mots évaluent la mémoire phonologique, ces résultats tendent à confirmer que la mémoire phonologique constitue une habileté distincte mais partageant un processus commun avec la conscience phonologique (De Jong & Van der Leij, 1999).

Alloway *et al.* (2004) intègrent les différentes dimensions de la mémoire de travail et la conscience phonologique dans un modèle permettant de prendre en compte les interactions entre ces habiletés (Alloway et al., 2004). L'analyse factorielle des résultats d'enfants de 5 ans met en évidence l'existence de domaines de compétence distincts pour la conscience phonologique, la boucle phonologique (intégrant à la fois les épreuves d'empan et de répétition de non-mots), l'exécuteur central, le buffer épisodique et les habiletés non-verbales. Mais elle met également en exergue la relation de la conscience phonologique et du buffer épisodique avec la boucle phonologique et l'exécuteur central (Alloway et al.,

2004). D'autres analyses factorielles ont montré une évolution développementale de la relation entre conscience et mémoire, reflétant une évolution dans la structure du traitement phonologique (De Jong & Van der Leij, 1999; Rohl & Pratt, 1995; Wagner et al., 1993). La conscience et la mémoire phonologiques contribueraient à un facteur unique en maternelle mais se distingueraient à la fin de la deuxième année de scolarisation. La présence d'une relation prédictive réciproque précoce (4-6 ans) entre les performances aux tâches d'empan et de conscience phonémique et la disparition de cette relation à 8 ans confirment ces résultats (Naslund & Schneider, 1996). L'ensemble de ces données confortent ainsi l'hypothèse de deux habiletés distinctes mais déterminées par un processus phonologique sous-jacent commun (De Jong & Van der Leij, 1999). Le codage phonologique est impliqué à la fois dans l'intégration des connaissances en MCT et dans la réalisation des tâches phonologiques, et pourrait ainsi constituer ce processus commun (Wagner & Torgesen, 1987; Wagner et al., 1993). Néanmoins, l'importance des représentations phonologiques dans la réalisation des différentes tâches évaluant la conscience et la mémoire phonologiques en fait le lien le plus généralement accepté (De Jong & Van der Leij, 1999; Naslund & Schneider, 1996). Cette deuxième proposition est étayée par l'existence des effets de familiarité et de lexicalité dans des tâches de conscience phonologique (Metsala, 1999). Ces effets, connus au niveau de la mémoire phonologique, témoignent de l'influence des connaissances phonologiques à long terme aussi sur les performances de conscience phonologique. La figure I.B complète le schéma de la mémoire phonologique, précédemment construit, en y intégrant les relations entre mémoire et conscience phonologique.

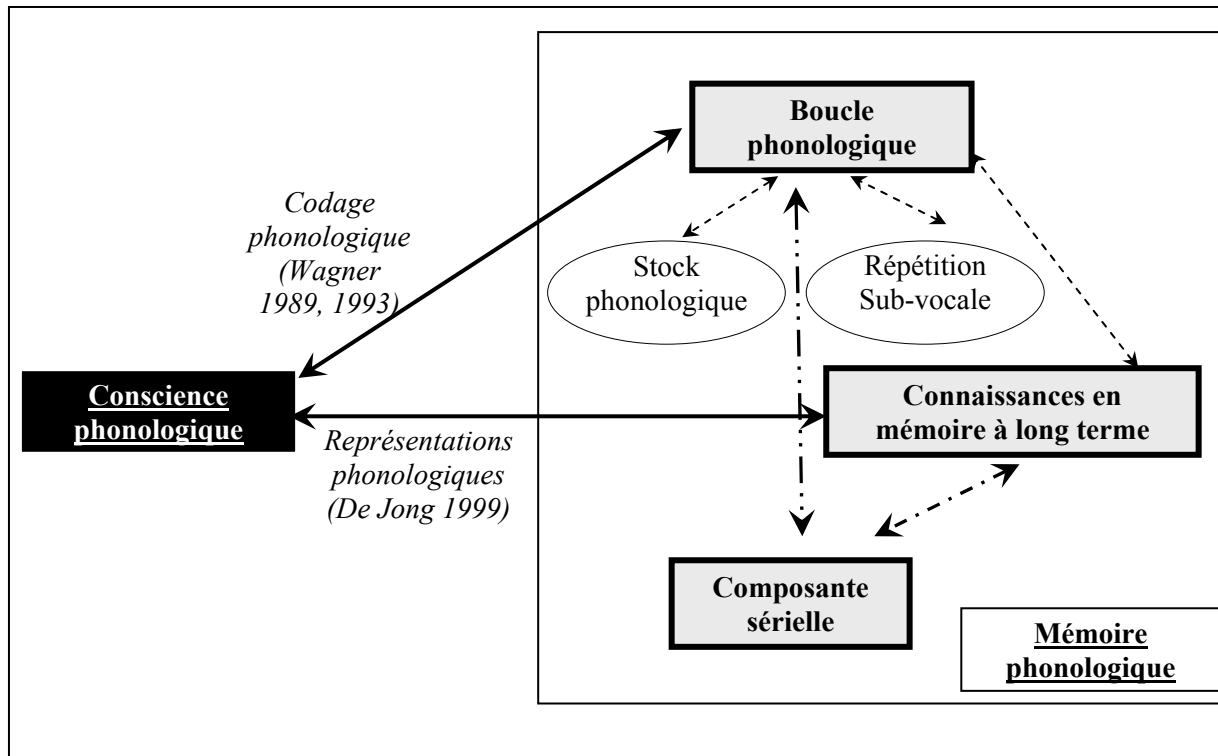


Figure I.B : Représentation schématique des différentes composantes de la mémoire phonologique et de leur relation avec la conscience phonologique élaborée à partir des données de la littérature.

Il convient cependant de souligner que la majorité des tâches de conscience et de mémoire phonologiques ne sont pas des tâches « pures ». Les tâches de conscience phonologique placent une certaine charge en mémoire de travail. Les tâches de détection de l'unité commune ou de l'intrus, par exemple, nécessitent la mémorisation des différents items et les tâches de suppression le maintien de la chaîne phonologique en MCT afin d'isoler l'unité à supprimer et de recréer une chaîne phonologique à partir des unités restantes. Quant aux tâches de mémoire phonologique, particulièrement les tâches incluant des non-mots, elles requièrent, pour leur part, des habiletés d'identification des unités sublexicales.

- **Influence de la conscience phonologique sur la lecture**

La question de la nature de la relation entre conscience et mémoire phonologiques prend toute son importance dans la perspective de leur contribution respective à l'apprentissage de la lecture. Ces trois dernières décennies, de très nombreuses études ont conclu à l'influence de la conscience phonologique sur la lecture en mettant en évidence un effet prédictif des performances aux tâches de conscience phonologique sur les performances de lecture (Alegria & Morais, 1979; Bryant et al., 1990; Castles & Coltheart, 2004; De Jong & Van der Leij, 1999; Foorman et al., 2002; Gombert, 1990c; Gray & McCutchen, 2006; Lonigan et al., 1998; Morais et al., 1986; Muter et al., 2004; Naslund &

Schneider, 1996; Passenger et al., 2000; Plaza & Cohen, 2003; 2006; Rohl & Pratt, 1995; Schatschneider, Fletcher, Francis, Carlson, & Foorman, 2004; Wagner et al., 1994; Wagner et al., 1997; Windfuhr & Snowling, 2001). Cette contribution est indépendante de l'influence d'autres compétences, telles que la connaissance des lettres, la mémoire phonologique, le langage oral et elle évolue avec l'apprentissage de la lecture. Prépondérante en début d'apprentissage de la lecture, elle diminue en relation avec l'automatisation de la lecture et le recours de plus en plus important à la voie orthographique (Bosman & de Groot, 1996; Bus & Van IJzendoorn, 1999; Martin et al., 2003). L'influence de la conscience phonologique sur l'apprentissage de la lecture est aussi avérée par l'augmentation de l'efficacité en lecture suite à un entraînement de la conscience phonologique (Bus & Van IJzendoorn, 1999; Castles & Coltheart, 2004).

Si la conscience phonologique est considérée comme le meilleur prédicteur de la lecture chez les jeunes enfants (Hammill, Mather, Allen, & Roberts, 2002; Leather & Henry, 1994; Schatschneider et al., 2004), des différences apparaissent en fonction du niveau de conscience et de l'unité phonologique impliqués. La détection de l'intrus présente une contribution à la lecture plus faible que celle de la segmentation, elle-même inférieure à celle de la suppression (Gombert, 1990c; Gombert et al., 2004; Roberts & McDougall, 2003; Rohl & Pratt, 1995). Des divergences existent néanmoins entre les études. Certaines montrent un effet prédictif simultané des tâches de segmentation et de combinaison durant les premières années de scolarisation (Wagner et al., 1994). D'autres, en revanche, indiquent un effet de la segmentation limité à la première année d'enseignement de la lecture et suivi d'une contribution de la combinaison ou, au contraire, un effet de la segmentation émergeant uniquement au bout de la première année d'enseignement (Castles & Coltheart, 2004; Muter et al., 1998). Quant aux différentes unités, la majorité des auteurs s'accorde pour considérer la conscience phonémique comme un meilleur prédicteur de la lecture comparativement à la conscience des unités larges, syllabes et rimes (Castles & Coltheart, 2004; Duncan et al., 1997; Goswami, 2000; Hulme, 2002; Lundberg, 2002; Muter et al., 2004; Naslund & Schneider, 1996; Roberts & McDougall, 2003; Savage & Carless, 2004; Sprugevica & Høien, 2003). L'importance de la contribution de la rime est toutefois controversée. Pour certains auteurs, la conscience de la rime aurait uniquement une influence indirecte sur la lecture *via* la conscience phonémique et, si la conscience des grandes et des petites unités prédit la lecture des mots, seule la conscience phonémique prédit la lecture des non-mots (Hulme, Goetz, Gooch, Adams, & Snowling, 2007; Hulme et al., 2002; Muter et al., 1998; Windfuhr & Snowling, 2001). A l'inverse, pour Bryant *et al.* (1990), la conscience de la rime constitue un meilleur prédicteur que la conscience du phonème, car elle présente une double contribution à la lecture. En plus de l'influence indirecte *via* la conscience phonémique, certaines études suggèrent en effet une contribution directe, la mémorisation des rimes homographes

facilitant la lecture par analogie (Bryant et al., 1990; Castles & Coltheart, 2004; Goswami, 1999). En réponse à ces controverses, Anthony et Lonigan (2004) ont re-analysé les données de quatre études, incluant 1189 enfants de 2 à 7 ans (Anthony & Lonigan, 2004). Leurs résultats montrent que les différents niveaux de conscience phonologique sont indissociables et constituent une habileté phonologique unique dans la prédiction de la lecture et que les différentes tâches et les différentes unités ne sont que différents aspects et niveaux de cette habileté.

La mise en exergue des niveaux les plus fins de conscience phonologique dans la prédiction des capacités de lecture peut sembler, à première vue, contradictoire avec la nécessité de l'enseignement de la lecture pour l'émergence de ces niveaux de conscience. La relation entre conscience phonologique et lecture apparaît comme une relation réciproque, parfois qualifiée de circulaire (Demont & Gombert, ; Harm & Seidenberg, 1999; Wagner et al., 1994). L'apprentissage de la lecture et l'émergence du contrôle métaphonologique, et notamment de la conscience phonémique, présentent en fait un développement progressif et interactif, chaque compétence participant au développement de l'autre (Demont & Gombert, ; Gombert, 1990c). La conscience de la syllabe prédit ainsi la lecture qui prédit à son tour, avec une relation réciproque, la conscience phonémique (Gombert, 1990c; Gombert et al., 2004; Goswami, 2000; Plaza & Cohen, 2003; Sprugevica & Høien, 2003).

Le vocabulaire et la connaissance des lettres paraissent également influencer l'apprentissage de la lecture, cette influence diminuant avec l'apprentissage (Burgess & Lonigan, 1998; De Jong & Van der Leij, 1999; Evans et al., 2006; Foorman et al., 2002; Goswami, 1999; Lonigan et al., 2000; Muter et al., 1998; Muter et al., 2004; Naslund & Schneider, 1996; Nation & Snowling, 2004; Savage & Carless, 2004; Schatschneider et al., 2004; Shatil & Share, 2003; Stainthorp & Hughes, 1998; Treiman & Rodriguez, 1999; Treiman, Sotak, & Bowman, 2001; Wagner et al., 1997). Si aucune étude n'a, à notre connaissance, révélé de contribution du vocabulaire indépendante de celles des habiletés phonologiques, la connaissance des lettres montre, en revanche, un effet indépendant et cumulatif avec la conscience phonologique. L'influence des lettres serait liée non seulement à l'intégration du principe alphabétique et au décodage mais aussi à la lecture par analogie au travers d'une stratégie basée sur la dénomination de la lettre initiale et la similarité de la rime (Bus & Van IJzendoorn, 1999; Muter et al., 1998; Roberts & McDougall, 2003). Un mot débutant par le nom de la lettre initiale est plus facilement lu, et le nom constitue un prédicteur plus précoce que le son de la lettre (Blaklock, 2004; Levin et al., 2006; Treiman et al., 2001). Les études d'entraînement confirment la combinaison des effets de la conscience phonologique et de la connaissance des lettres, l'entraînement conjoint de ces deux

habiletés ayant une influence plus importante sur l'apprentissage de la lecture que les entraînements isolés (Bus & Van IJzendoorn, 1999).

- **Influence de la mémoire phonologique sur la lecture**

La relation entre mémoire phonologique et lecture a surtout été mise en évidence chez des enfants entre 4 et 8 ans (de la fin de la maternelle à la deuxième année de scolarisation), mais elle paraît présente jusqu'à l'âge de 11 ans (De Jong & Van der Leij, 1999; Dufva et al., 2001; Ellis, 1990; Gathercole et al., 1992; Gathercole, 1995; Leather & Henry, 1994; Passenger et al., 2000; Plaza & Cohen, 2003, 2006; Rohl & Pratt, 1995; Wagner & Torgesen, 1987; Wagner et al., 1993; Wagner et al., 1994; Wagner et al., 1997; Windfuhr & Snowling, 2001). Comme nous l'avons précédemment souligné, la conscience et la mémoire phonologiques, bien que constituant deux processus distincts, sont liées par une habileté sous-jacente commune. Ainsi, si la majorité des études s'accorde sur la valeur prédictive des compétences de mémoire phonologique sur le développement de la lecture, la plupart montre que cette contribution n'est pas indépendante de celle de la conscience phonologique (De Jong & Van der Leij, 1999; Leather & Henry, 1994; Naslund & Schneider, 1996; Plaza & Cohen, 2003, 2006; Wagner et al., 1994; Wagner et al., 1997; Windfuhr & Snowling, 2001). La relation causale entre mémoire phonologique et apprentissage de la lecture se situerait au niveau de l'habileté commune à la mémoire et à la conscience phonologique, le recodage phonologique ou les représentations phonologiques (De Jong & Van der Leij, 1999; Ellis, 1990; Wagner & Torgesen, 1987; Wagner et al., 1994). Dufva *et al.* (2001) présentent un modèle alternatif, selon lequel en plus d'une contribution indirecte précoce, la mémoire phonologique aurait un effet direct ultérieur sur la lecture. L'identification des mots pendant la première année de scolarisation est influencée par les compétences de mémoire phonologique évaluées en maternelle *via* la conscience phonologique, tandis que les compétences de mémoire en première année de scolarisation contribuent directement à la reconnaissance des mots en deuxième année (Dufva et al., 2001). Ce modèle est en accord avec les résultats expérimentaux de Rohl et Pratt (1995). Dans un premier temps, la contribution de la mémoire phonologique ne serait pas indépendante de celle de la conscience phonologique, mais elle le deviendrait après le début de l'enseignement formel de la lecture (Rohl & Pratt, 1995). Il offre également un éclairage pour les études présentant un patron de relations moins bien défini et dont les auteurs considèrent la mémoire phonologique comme un prédicteur stable de la lecture, en dépit d'une grande part de variance commune à la conscience phonologique (Naslund & Schneider, 1996; Passenger et al., 2000).

Les données concernant l'influence réciproque du développement de la lecture sur la mémoire phonologique sont peu nombreuses et présentent des résultats mitigés, soulignant

la très grande stabilité des performances en mémoire phonologique (De Jong & Van der Leij, 1999; Ellis, 1990; Wagner & Torgesen, 1987; Wagner et al., 1994).

Il est important de souligner que ces différentes études ont principalement utilisé des mesures de répétition de listes et n'ont, par conséquent, évalué qu'un aspect de la mémoire phonologique, la boucle phonologique. A notre connaissance, seules deux études se sont intéressées à une composante plus spécifique et ont mis en évidence une corrélation entre la taille de l'effet de similarité phonologique, évaluant le stock phonologique, et les performances de lecture (Gray & McCutchen, 2006; Leather & Henry, 1994). Cependant, aucune étude n'a évalué l'influence de cet effet de similarité phonologique sur la lecture en tenant compte de la conscience phonologique. Par ailleurs, nous n'avons trouvé aucune étude examinant une éventuelle relation entre l'influence des connaissances phonologiques en mémoire à long terme ou la composante sérielle de la mémoire à court terme et l'apprentissage de la lecture.

En résumé, la conscience et la mémoire phonologiques constitueraient deux habiletés distinctes mais liées par un processus sous-jacent commun. Elles sont considérées comme des prédicteurs de l'apprentissage de la lecture, mais si la contribution de la conscience phonologique est indépendante de celle de la mémoire phonologique, la réciproque n'est pas établie. De plus, les études se sont focalisées sur la capacité de la mémoire phonologique et aucune donnée n'est disponible concernant l'influence spécifique sur la lecture de la composante sérielle de la mémoire à court terme ou des représentations phonologiques en mémoire à long terme.

4. Objectifs de l'étude développementale

Notre étude développementale avait deux objectifs principaux : 1) Préciser le développement normal des différents niveaux de traitement phonologique mis en jeu lors de l'apprentissage de la lecture ; 2) Préciser leur influence respective sur l'apprentissage de la lecture lors des premiers stades de cet apprentissage. Si le développement et l'influence de la conscience phonologique sur la lecture sont connus, le développement des différentes composantes de la mémoire phonologique ainsi que leur influence respective sur la lecture sont moins bien définis. De plus, la revue de la littérature met en évidence un patron complexe d'interrelations entre conscience phonologique, mémoire phonologique et lecture, principalement durant la première année d'enseignement de la lecture, sans qu'un schéma prépondérant n'en n'émerge. L'étude des enfants ayant un trouble du langage a, d'autre part, révélé l'importance de la discrimination phonologique dans le développement des représentations phonologiques (Joanisse & Seidenberg, 1998). Or, le codage phonologique

et les représentations phonologiques à long terme sont de première importance pour le développement de la conscience et de la mémoire phonologiques ainsi que de la lecture (De Jong & Van der Leij, 1999; Wagner & Torgesen, 1987; Wagner et al., 1993). Pourtant, aucune étude n'a, à notre connaissance, exploré cette étape perceptive précoce du traitement phonologique chez l'enfant normo-lecteur.

Trois hypothèses principales ont orienté notre démarche. Premièrement, la conscience phonologique et les composantes de mémoire phonologique devraient présenter un développement important durant la première année de scolarisation, en relation notamment avec l'enseignement de la lecture. Ce développement devrait ensuite se stabiliser durant la deuxième année de scolarisation, soit vers l'âge de 7 ans, les principes de CGP étant normalement acquis et la répétition subvocale établie. Deuxièmement, les différents niveaux de traitement phonologique étudiés, la discrimination, la conscience et la mémoire constitueraient des processus distincts mais étroitement liés car sous-tendus par une habileté phonologique sous-jacente commune. Troisièmement, au-delà de l'influence constante de la phonologie sur l'acquisition de la lecture, la contribution des différentes habiletés phonologiques évoluerait au cours de l'enseignement de la lecture avec l'intégration progressive des règles de correspondance grapho-phonologique.

Deux études ont été menées.

1. Une étude longitudinale a été réalisée de la fin de la grande section de maternelle à la fin du CP. Cette période semble particulièrement pertinente pour l'étude de l'influence respective des différents niveaux de traitement phonologique sur la lecture. D'une part, les interrelations entre les compétences phonologiques y sont particulièrement prégnantes et d'autre part, les habiletés phonologiques ont un rôle crucial sur l'apprentissage de la lecture lors du stade alphabétique, soit durant les premiers mois d'enseignement formel de la lecture.

2. Une étude transversale a été menée sur les 5 classes de l'école primaire, afin d'étendre l'étude du développement des différents niveaux de traitement phonologique du CP au CM2.

Chapitre 2 : Expériences

1. Etude longitudinale

1.1. Matériel et méthode

1.1.1. Sujets

44 enfants de fin de grande section de maternelle ont participé à l'étude, mais seuls les résultats de 34 enfants ont été analysés. Sept enfants ont quitté l'école avant la fin de l'étude et trois ont été exclus en raison d'une efficacité non-verbale inférieure au 50^{ème} percentile au test des matrices couleurs de Raven (PM47) (Ionescu, Jourdan-Ionescu, Alain, Rousseau, & Inostroza, 1992; Raven, 1956, 1981). Parmi ces 34 enfants, 3 étaient gauchers selon l'épreuve de préférence manuelle de De Agostini et Dellatolas (1992) et 13 étaient des filles (De Agostini, 1992). Les enfants étaient âgés de 5 ans 3 mois à 6 ans 4 mois au début de l'étude (âge moyen = 5;10, écart-type = 3 mois). Aucun enfant ne présentait de retard scolaire ni ne souffrait de déficit auditif, visuel, articulaire ou neurologique. Les consentements des parents ont été obtenus avant le début de l'étude.

1.1.2. Epreuves

- **Discrimination phonologique**

L'épreuve de discrimination phonologique utilisée dans notre étude a été créée à l'Université Libre de Bruxelles par Van Reybroeck, Content, Alegria, Leybeart et Mousty (Van Reybroeck, 2003). 124 paires de syllabes étaient présentées à l'enfant, qui devait indiquer oralement après chaque paire si les deux syllabes étaient identiques ou différentes. 60 paires présentaient une structure consonne-voyelle (CV) et 64 paires une structure consonne-consonne-voyelle (CCV) contenant ainsi un cluster consonantique. Dans la moitié des paires les syllabes étaient identiques (e.g. /ta/-/ta/) et dans l'autre moitié, elles se distinguaient par un trait phonétique sur la première consonne, le voisement (12 CV et 14 CCV : e.g. /pa/-/ba/, /pra/-/bra/) ou le lieu d'articulation (20 CV et 16 CCV : e.g. /ta/-/pa/, /tra/-/pra/). 68 paires débutaient par une occlusive (e.g. /ga/, /kra/), 20 par une fricative (e.g. /fa/, /vra/) et 8 par une liquide ou une nasale (e.g. /na/, /ma/), afin de contrôler l'effet du mode d'articulation. Le contexte vocalique était identique pour toutes les paires (/a/). L'intégralité des paires de syllabes est présentée en annexe 1a. Certaines de ces paires constituaient des mots de la langue française, mais dans un travail non publié, Van Reybroeck a montré l'absence d'effet de lexicalité dans cette épreuve (Van Reybroeck, 2003). Les paires étaient présentées aux enfants à l'aide d'un casque audio, avec un intervalle inter-stimuli de 250 ms. Afin d'éviter un éventuel effet de lassitude, la présentation de cette épreuve a été subdivisée en quatre blocs de 31 paires chacun.

- **Conscience phonologique**

La conscience phonologique a été évaluée à l'aide de quatre épreuves, trois épreuves de jugement de l'unité commune, rime, syllabe ou phonème, et une épreuve de suppression du phonème initial. Dans le but de minimiser la charge en mémoire, les images correspondant aux deux mots énoncés par l'expérimentateur étaient projetés sur un écran d'ordinateur. Les images ont été sélectionnées dans le corpus d'Alario et Ferrand (1999) sur la base d'une familiarité (supérieur à 2) et d'un consensus de dénomination (supérieur à 85) importants (Alario & Ferrand, 1999). L'âge d'acquisition du nom de l'image était inférieur à 7 ans selon l'échelle de Ferrand *et al.* (2003) (Ferrand, Grainger, & New, 2003). Afin de rendre les images plus attrayantes, les dessins au trait de la base de données d'Alario et Ferrand (1999) ont été remplacées par les images en couleur correspondantes de l'imagier du père Castor (Chainay, Rosenthal, & Goldbun, 1988). Des mots uni et bisyllabiques ont été utilisés. La fréquence des mots unisyllabiques a été contrôlée grâce à Brulex et celle des mots bisyllabiques grâce à Manulex (Content, Mousty, & Radeau, 2005; Lete, Sprenger-Charolles, & Cole, 2004). Les listes de noms d'images utilisés dans les quatre épreuves sont présentées en annexe 1b. L'enfant répondait en utilisant deux touches distantes du clavier de l'ordinateur, une touche colorée en vert pour la réponse « oui » et une touche colorée en rouge pour la réponse « non ». Les réponses ainsi que les temps de réponse ont été enregistrés. Les images suivantes apparaissent après l'appui de l'enfant. Chaque épreuve comprenait 24 items expérimentaux, (12 « oui » et 12 « non ») précédés par quatre essais d'entraînement avec feedback correctif. Ces épreuves ont été administrées grâce au logiciel Superlab (Cedrus Corporation, San Pedro).

- Jugement de l'unité commune

- *Jugement de rime*

Les enfants devaient décider si les mots correspondant aux images présentées rimaient ou non. La moitié des paires de noms contenait une rime commune orthographiée de manière identique (n = 6 : e.g. tarte-carte) ou différente (n = 6 : e.g. loup-chou). Pour l'autre moitié des paires, les mots ne rimaient pas et étaient soit totalement différents (n = 4 : e.g. gâteau-bonbon), soit présentaient une voyelle (n = 4 : e.g. vache-table) ou une coda identique (n = 4 : e.g. chaise-rose).

- *Jugement de syllabe commune*

Les enfants devaient décider si les noms des deux images présentées avaient une syllabe commune. La moitié des paires comprenait une syllabe commune soit en position initiale dans les deux mots (n = 6 : e.g. serviette-serpent), soit dans des positions différentes

(condition « mixte », $n = 6$: e.g. *hibou-bouteille*). L'autre moitié des paires comprenait des mots soit totalement différents ($n = 6$: e.g. *carotte-sucette*), soit présentant une similitude labiale sur la première syllabe ($n = 3$: e.g. *chapeau-girafe*) ou sur des syllabes placées à différents endroits des deux mots (condition « similitude labiale mixte », $n = 3$: e.g. *chameau-bouton*).

- *Jugement de phonème commun*

Les enfants devaient décider si les noms des deux images présentées comportaient un phonème commun. La moitié des paires présentait un phonème commun soit en position initiale des deux mots, soit dans des positions différentes (condition « mixte »). Dans chaque cas, le phonème commun pouvait être orthographié de manière identique ou différente ($n = 3$ pour les 4 conditions : e.g. *chat-chaise*, *phoque-feu*, *botte-cube*, *jambe-luge*). L'autre moitié des paires comprenait des mots totalement différents ($n = 4$: e.g. *lion-verre*), présentant une similitude labiale sur le premier phonème ($n = 4$: e.g. *nid-tasse*) ou sur des phonèmes placés à différents endroits du mot (condition « similitude labiale mixte », $n = 4$: e.g. *doigt-canne*).

- *Suppression du phonème initial*

Les enfants devaient décider si en supprimant le premier phonème du nom de la première image, ils obtenaient le nom de la deuxième image. Pour la moitié des paires, le résultat de la suppression du premier phonème du premier mot correspondait au deuxième mot ($n = 12$: e.g. *doigt-oie*). L'autre moitié des paires comprenait des mots totalement différents ($n = 6$: e.g. *fraise-chien*) ou présentant une rime commune ($n = 6$: e.g. *loup-roue*).

- **Mémoire phonologique**

Quatre épreuves ont été utilisées pour évaluer différentes composantes de la mémoire phonologique, mémoire de l'item, mémoire de l'ordre et influence des connaissances phonologiques en mémoire à long terme. Les stimuli utilisés dans ces quatre épreuves sont présentés en annexe 1c. Deux épreuves de reconnaissance et deux épreuves de répétition ont été implémentées grâce au logiciel E-prime (Psychological Software Tools, Pittsburgh, 2000). Les stimuli ont été enregistrés en chambre sourde par une femme de langue maternelle française, puis digitalisés et édités en fichiers audio (.wav) individuels. Les items étaient présentés aux enfants grâce à un casque audio. Dans les deux épreuves de reconnaissance, les enfants répondaient en appuyant sur les touches verte et rouge du clavier (correspondant respectivement aux réponses « oui » et « non »), permettant l'enregistrement de leur réponse et de leur temps de réponse. Dans les épreuves de répétition, les réponses étaient enregistrées pour une cotation ultérieure des réalisations

phonétiques de l'enfant par deux expérimentateurs indépendants. Les temps de réponse étaient recueillis grâce à une clé vocale. Le test de Kendall a mis en évidence une bonne correspondance inter-juge dans la cotation des réponses à ces deux épreuves (répétition de non-mots : Tau de Kendall $\tau = .543$, $p < .05$ et coefficient de corrélation $r = .82$, $p < .00001$; rappel sériel immédiat : Tau de Kendall $\tau = .425$, $p < .05$ et coefficient de corrélation $r = .74$, $p < .00001$). Dans les cas de désaccord entre les juges, la moyenne des deux notes était utilisées dans les analyses.

○ Répétition de non-mots

Cette épreuve visait à évaluer la mémoire phonologique et plus particulièrement l'influence des connaissances phonologiques sublexicales en mémoire à long terme. Les enfants devaient répéter un à un les différents items qui leur étaient présentés. Deux listes de 30 non-mots ont été présentées aux enfants, une liste de non-mots monosyllabiques CVC et une liste de non-mots bisyllabiques CVCCVC. Chaque liste comprenait 15 items incluant des diphtonges de fréquence phonotactique élevée (FE, fréquence moyenne : 808, e.g. CVC : /tɔf/ - CVCCVC : /badmaf/) et 15 items des diphtonges de fréquence phonotactique faible (FF, fréquence moyenne : 126, e.g. CVC : /tɔf/ - CVCCVC : /fummyv/), selon la base de données phonétiques de Tubach et Boë (1990) (Tubach & Boë, 1990). Les valeurs détaillées des fréquences phonotactiques sont présentées en annexe 2. Les non-mots de fréquence phonotactique élevée et faible ont été appariés pour la durée de prononciation (durée moyenne : CVC : FE : 560 ms et FF : 559, $t(28) < 1$, ns ; CVCCVC : FE : 1343 ms et FF : 1353 ms, $t(28) < 1$, ns). Les deux listes étaient présentées successivement, en débutant par les monosyllabes. Au sein de chaque liste, la présentation des non-mots de fréquence phonotactique élevée alternait celle des non-mots de fréquence phonotactique faible. Le rythme de présentation était d'environ un stimulus toutes les 5 secondes.

○ Rappel sériel immédiat

L'épreuve de rappel sériel immédiat évaluait la capacité de la boucle phonologique et l'influence des connaissances phonologiques lexicales et sublexicales en mémoire à long terme. Les enfants devaient rappeler les listes d'items qui leur étaient présentées. Cette épreuve contenait trois sous-épreuves, un rappel de listes de mots (fréquence phonotactique moyenne : 1727, e.g. vite – rêve), un rappel de listes de non-mots de fréquence phonotactique élevée (fréquence moyenne : 1544, e.g. /zit/ /rez/) et un rappel de listes de non-mots de fréquence phonotactique faible (fréquence moyenne : 269, e.g. /vyz/ /ræg/). Les items étaient des monosyllabes CVC. Les mots étaient fréquents et concrets (fréquence lexicale moyenne de 362 pour des enfants de troisième année de scolarisation selon la base de données Manulex (Lete et al., 2004), appariés pour la fréquence phonotactique aux non-

mots de fréquence phonotactique élevée ($t(82) < 1$, ns). Dans chaque sous-épreuve, des listes de 1 à 4 items, ont été présentées, à raison de deux essais par longueur, soit un total de 8 listes par sous-épreuve.

- Reconnaissance de non-mots

Cette épreuve maximisait la demande de stockage et de traitement phonologique sublexical, afin d'évaluer la mémoire de l'item indépendamment de la mémoire de l'ordre. Après la présentation d'une liste « cible », les enfants devaient décider pour chaque non-mot d'une liste test s'il était présent ou non dans la liste cible. 56 non-mots CVC « cibles » et 56 non-mots CVC « distracteurs » de fréquence phonotactique faible (fréquence phonotactique moyenne : 196) ont été utilisés. Les « distracteurs » ont été construits en modifiant la consonne initiale de chaque cible. Afin qu'ils ne puissent pas être différenciés sur la base de la familiarité ou de la longueur, les deux types d'items ont été appariés pour la fréquence phonotactique et la durée moyenne de prononciation (696 ms). Chaque liste cible était présentée à l'enfant suivie par un son pur de 500 ms puis par la liste test. Chaque liste test comprenait un nombre équivalent de cibles et de distracteurs, présentés dans un ordre aléatoire (e.g. liste cible : /sɛv/ /vyf/ /tøm/; liste test : /vyf/ /mɛv/ /tøm/ /sɛv/ /zøm/ /pyf/). Les listes cibles comprenaient de deux à quatre items et les listes tests correspondantes de quatre à huit items. 4 essais étaient réalisés par longueur, soit un total de 12 essais.

- Reconnaissance de l'ordre sériel des chiffres

Cette épreuve visait à évaluer la mémoire de l'ordre. Deux listes de chiffres étaient présentées successivement, séparées par un son pur de 1000 ms. Les enfants devaient déterminer immédiatement après si l'ordre des chiffres était identique dans les deux listes ou non. Les listes comprenaient de deux à quatre chiffres (les chiffres 1 et 2 pour les listes de 2 chiffres, 1-2-3 pour les listes de 3 chiffres et 1-2-3-4 pour les listes de 4 chiffres), avec 6 essais par longueur, soit un total de 18 listes.

- **Compétences lexicales et lecture**

- Vocabulaire

- *L'Echelle de Vocabulaire en Images Peabody (Dunn et al. 1993)*

L'EVIP est un test clinique standardisé évaluant le vocabulaire réceptif (Dunn, Thériault-Whalen, & Dunn, 1993). L'enfant doit désigner parmi quatre images celle qui correspond le mieux au mot énoncé par l'expérimentateur. Ce test fournit une note standard en fonction de l'âge de l'enfant, mais dans le cadre de cette étude nous avons utilisé le score brut, correspondant au nombre d'items réussis.

- *Dénomination*

Cette épreuve visait à évaluer le vocabulaire expressif. 77 photographies étaient présentées sur un écran d'ordinateur au moyen du logiciel E-prime (Psychological Software Tools, Pittsburgh, 2000). Les enfants devaient donner le nom correspondant à l'objet présenté. Les 52 premières photographies correspondaient à des mots fréquents (e.g. *maison*) et les 25 dernières à des mots rares (e.g. *manique*). Les réponses ainsi que les temps de réponses ont été recueillis.

- Connaissance des lettres

Dans le but d'évaluer la connaissance des lettres, les 26 lettres de l'alphabet ont été présentées en minuscule, de manière aléatoire, sur un écran d'ordinateur au moyen du logiciel E-prime. Pour chaque lettre l'enfant devait donner le nom et le son correspondant. Les réponses ainsi que les temps de réponses ont été recueillis.

- Lecture

- *Test de l'Alouette (Lefavrais, 1967)*

L'Alouette est un test de lecture à haute voix standardisé mesurant les capacités de décodage (Lefavrais, 1967). Les enfants doivent déchiffrer un texte sans signification en trois minutes. L'absence de contenu sémantique force le décodage et évite que les enfants ne devinent les mots à partir du contexte. Le nombre total de mots lus ainsi que le nombre d'erreurs et la vitesse de lecture sont comptabilisés permettant d'obtenir un âge de lecture en fonction de l'âge chronologique. Néanmoins, dans la mesure où aucun enfant n'a lu la totalité du texte en trois minutes, l'utilisation du nombre de mots correctement lus nous a paru plus discriminante.

- *Test de reconnaissance des mots de Khomsi (1990)*

Le Khomsi est un test de reconnaissance des mots non chronométré (Khomsi, 1990). Une planche contenant 50 paires mot-image est présentée à l'enfant qui doit déterminer pour chaque paire, si le mot correspond à l'image. 20 paires sont correctes et 30 paires incorrectes, 10 présentent un homophone (e.g. *un châto*), 10 un mot ayant une relation sémantique à l'image (condition « paralexie sémantique » : e.g. « *une glace* » - *une tarte*) et 10 un non-mot créé en changeant une lettre au mot correct (condition « paralexie littérale » : e.g. « *un pint* » - *un pont*). Après 5 essais d'entraînement, l'enfant doit barrer toutes les paires non valides.

1.1.3. Procédure

Les enfants ont été évalués à trois reprises. La première évaluation a eu lieu à la fin de l'année de grande section de maternelle (GSM), soit avant le début de l'enseignement formel de la lecture. Les deuxième et troisième évaluations ont eu lieu durant le cours préparatoire (CP) respectivement au bout d'environ trois mois et huit mois d'enseignement de la lecture. A l'exception du Khomsi proposé aux enfants en groupes de 10, toutes les épreuves ont été administrées individuellement, dans une pièce calme au sein de l'école, durant les heures scolaires. La majorité des épreuves a été présentée à chaque session. Le tableau I.A présente un récapitulatif des différentes épreuves ainsi que des moments d'administration. Afin d'éviter les effets de fatigue et de garantir les meilleures performances possibles, les tests ont été administrés en quatre blocs lors de la première et de la troisième session (en GSM et fin de CP), et en deux blocs lors de la deuxième session (en début de CP). Les différents blocs d'épreuves sont présentés en annexe 3a et b. Les évaluations étaient espacées d'environ une semaine chacune.

Tableau I. A : Récapitulatif des différentes épreuves et les moments d'administration

Épreuves		Moment d'administration			
		Etude longitudinale		Etude transversale	
		GSM	CP début	CP fin	CE1-CM2
Discrimination phonologique		x	x	x	x
Conscience phonologique					
	Rime	x	x	x	x
Détection de l'unité commune	Syllabe	x	x	x	x
	Phonème	x	x	x	x
	Suppression du phonème initial	x	x	x	x
Mémoire phonologique					
	Répétition de non-mots	x		x	(x)
	Rappel sériel immédiat de mots et de non-mots	x		x	
	Reconnaissance de non-mots	x	x	x	(x)
	Reconnaissance de l'ordre sériel	x	x	x	x
Compétences lexicales et de lecture					
	EVIP	x		x	x
Vocabulaire	Dénomination	x		x	x
	Connaissance des lettres		x	x	
	Alouette		x	x	x
Lecture	Khomsi			x	x

1.1.4. Analyses

En raison de difficultés techniques et méthodologiques dans le recueil des données, les temps de réponse n'ont pas pu être analysés. La clé vocale permettant le recueil des temps de réponse dans les épreuves de rappel et les touches du clavier utilisées dans les épreuves de conscience phonologique et de reconnaissance présentaient des problèmes de sensibilité. Dans les épreuves de dénomination d'images et de lettres, les temps de réponse étaient enregistrés lors de l'appui sur la barre d'espace par l'expérimentateur, ils étaient donc

influencés par le temps de réaction de l'expérimentateur et ils ne nous ont pas permis de constituer des mesures valides.

Nous avons déterminé pour chaque condition de chaque épreuve si les performances des enfants étaient supérieures au hasard dans le cas de réponses binaires, et inférieures à un seuil plafond fixé à 95 % de bonnes réponses. Dans le but de garantir la validité et la puissance de nos analyses statistiques, les conditions ne remplissant pas ces critères n'ont pas été incluses dans les analyses. L'existence de performances au hasard indique néanmoins que le processus testé n'est pas maîtrisé et celle de performances plafond une condition particulièrement facile.

Afin de comparer les performances aux différentes sessions et aux différentes conditions, des tests t de Student et des analyses de variance (MANOVAs) ont été réalisés sur les résultats aux différentes épreuves. Les analyses de variance ont été complétées lorsque cela était nécessaire par des comparaisons post-hoc (test de Newman-Keuls, significatif à $p < .05$).

Des corrélations partielles, contrôlant l'efficacité générale, ont ensuite été réalisées entre les scores globaux aux différentes épreuves à chaque session et entre les sessions, dans le but d'étudier les relations entre les habiletés mesurées aux différentes épreuves et aux différentes sessions. Afin de déterminer la valeur prédictive spécifique des différentes habiletés phonologiques sur la lecture, nous avons réalisé des analyses de régression hiérarchique à partir des scores globaux aux épreuves phonologiques. Ces analyses ont été réalisées au moyen du logiciel Statistica 6.0 (StatSoft, France, 2001).

1.2. Résultats

1.2.1. Analyses inférentielles

- **Discrimination phonologique**

Une première MANOVA a été réalisée avec les facteurs intra-sujet session et type de paire (identique vs différente) (Tableau I.1.1.1a).

Tableau I.1.1.1a Performances moyennes (en %) et écart-type à l'épreuve de discrimination phonologique pour les différentes sessions en fonction du type de paire.

	GSM		CP début		CP fin	
	M	E-T	M	E-T	M	E-T
Identique	78,9	15,2	85,1	13,4	87,1	10,5
Différente	69,8	19,8	80,7	14,7	83,6	15,5
Moyenne	74,4	11,2	82,9	12,4	85,6	10,9

Cette analyse montre un effet significatif de la session ($F(2,62) = 9.64$, $p < .001$) et un effet tendanciel du type de paire ($F(1,31) = 3.1$, ns) et de l'interaction session x type de paire ($F(2,62) = 2.71$, $p = .07$). Les analyses post-hoc indiquent que les performances observées en GSM sont significativement inférieures à celles observées en début et en fin de CP, ces dernières n'étant pas significativement différentes entre elles. L'analyse de l'interaction montre que si cette différence est significative pour les paires différentes, pour les paires identiques les performances observées en GSM ne sont significativement inférieures qu'à celles observées en fin de CP.

Afin de préciser le développement des capacités de discrimination perceptive des différents traits articulatoires, nous avons analysé les performances obtenues pour les paires différentes. Les variables lieu d'articulation - voisement et mode d'articulation ne respectant pas la condition d'indépendance des observations, deux analyses distinctes ont été réalisées. Une MANOVA a été réalisée avec comme facteurs intra-sujet la session et le mode d'articulation (Tableau I.1.1.1b).

Tableau I.1.1.1b Performances moyennes (en %) et écart-type à l'épreuve de discrimination phonologique pour les différentes sessions en fonction du mode articulaire.

Mode d'articulation	GSM		CP début		CP fin	
	M	E-T	M	E-T	M	E-T
Occlusives (e.g. /ga/, /kra/)	67,0	20,8	76,2	16,8	81,8	16,4
Fricatives (e.g. /fa/, /vra/)	72,9	19,5	85,5	14,2	86,9	14,5
Liquides/nasales (e.g. /na/, /ma/)	73,4	25,2	87,9	17,3	84,2	22,7

Cette deuxième MANOVA montre un effet significatif de la session ($F(2,60) = 25,98$, $p < .0001$), du mode d'articulation ($F(2,60) = 12,8$, $p < .0001$) et une interaction session x mode d'articulation tendancielle ($F(4,120) = 2,02$, $p = .07$). Les analyses post hoc confirment les performances plus faibles en GSM par rapport aux deux sessions de CP, pour tous les modes d'articulation. Les performances observées pour les occlusives sont significativement inférieures à celles observées pour les fricatives et liquides/nasales en GSM et en début de CP, cette différence n'étant plus significative en fin de CP.

Une troisième MANOVA a été réalisée avec les facteurs intra-sujet session, traits articulatoires (voisement – lieu d'articulation) et cluster consonantique (avec ou sans) (Tableau I.1.1.1c).

Tableau I.1.1.1c Performances moyennes et écart-type (en %) à l'épreuve de discrimination phonologique pour les différentes sessions en fonction du trait d'articulation différenciant les paires

Conditions	GSM		CP début		CP Fin	
	M	E-T	M	E-T	M	E-T
Voisement – isolé (e.g. /pa/-/ba/)	68,2	26,5	80,6	18,4	84,5	19,3
Voisement – cluster (e.g. /pra/-/bra/)	58	24,6	68,8	20,3	76	18,3
Lieu articulation – isolé (e.g. /ta/-/pa/)	81,3	16,9	89,2	14,7	89,7	13,3
Lieu articulation - cluster (e.g. /tra/-/pra/)	66,8	23,5	78,6	21	84,6	24,2

Seuls les effets principaux sont significatifs (session $F(2,60) = 25,59$, $p < .0001$ – traits articulatoires $F(1,30) = 23,98$, $p < .0001$ – cluster consonantique $F(1,30) = 59,26$, $p < .0001$ – interactions session x traits articulatoire $F < 1$ - session x cluster consonantique $F(2,60) = 2,21$, ns – traits articulatoires x cluster consonantique $F < 1$ - session x traits articulatoire x cluster consonantique $F < 1$). Les différences portant sur le lieu d'articulation sont mieux détectées que celles portant sur le voisement et les performances sont supérieures pour les consonnes isolées par rapport aux clusters consonantiques. Les

analyses post-hoc confirment les performances plus faibles en GSM par rapport aux deux sessions de CP.

- **Conscience phonologique**

- Jugement de l'unité commune

Supposant qu'au moment de la passation, la plupart des enfants n'avaient pas encore de représentations orthographiques, dans cette étude les performances aux conditions homographes et non-homographes des épreuves de jugement de rime et du phonème commun ont été moyennées.

- *Jugement de rime*

Le tableau I.1.1.2a présente les performances des enfants aux différentes sessions en fonction des conditions à l'épreuve de jugement de rime.

Tableau I.1.1.2a Performances moyennes (en %) et écart-type à l'épreuve de jugement de la rime pour les différentes sessions en fonction des conditions (la condition en gris et italique n'a pas été incluse dans les analyses en raison de performances non différentes du hasard).

Conditions	GSM		CP début		CP fin	
	M	E-T	M	E-T	M	E-T
Rime (e.g. <u>loup-chou</u>)	76,2	22,7	83,8	16,3	85	12,4
Différente (e.g. <u>gâteau-bonbon</u>)	89,7	24,7	90,4	13,8	94,1	13,8
Coda identique (e.g. <u>chaise-rose</u>)	81,6	24,9	80,9	21,4	71,3	27,6
<i>Voyelle identique (e.g. <u>vache-table</u>)</i>	<i>72,8</i>	<i>24,9</i>	<i>56,6</i>	<i>25,6</i>	<i>69,1</i>	<i>28,9</i>
Moyenne	82,5	17	85	12,2	85	12,4

Les performances à la condition voyelle identique en début de CP ne sont pas significativement différentes du hasard.

La MANOVA réalisée avec les facteurs intra-sujet session et condition (rime, différente et coda identique) révèle un effet significatif de la condition ($F(2,66) = 15,19$, $p < .0001$) et une interaction significative session x condition ($F(4,132) = 3,85$, $p < ,01$) mais pas d'effet de la session ($F < 1$). Les analyses post hoc mettent en évidence des performances à la condition coda identique significativement inférieures à celles observées dans la condition rime, elles-mêmes significativement inférieures à celles observées à la condition différente. L'analyse de l'interaction montre néanmoins qu'en GSM seules les performances observées pour les réponses « oui » sont significativement inférieures à celles observées à la condition différente, tandis qu'en fin de CP, la condition coda identique est

significativement moins bien réussie que les deux autres conditions. Aucune différence significative n'apparaît dans les performances en début de CP. D'autre part, les performances à la condition rime sont significativement supérieures en fin de CP qu'en GSM.

▪ *Jugement de syllabe commune*

Le tableau I.1.1.2b présente les performances des enfants aux différentes sessions en fonction des conditions à l'épreuve de jugement de syllabe.

Tableau I.1.1.2b Performances moyennes (en %) et écart-type à l'épreuve de jugement de la syllabe commune pour les différentes sessions en fonction des conditions (les conditions en gris n'ont pas été incluses dans les analyses en raison de performances non différentes du hasard). La moyenne ne tient compte que des conditions incluses dans les analyses.

Conditions	GSM		CP début		CP fin	
	M	E-T	M	E-T	M	E-T
1 ^{ère} syllabe (e.g. <i>serviette-serpent</i>)	73,5	26	83,8	18,9	85,8	20,6
Mixte (e.g. <i>hibou-bouteille</i>)	52,5	25	53,5	24,2	68,6	22,4
Différente (e.g. <i>carotte-sucette</i>)	77,9	20,8	81,8	24,1	82,4	18,3
Similitude labiale mixte (e.g. <i>chameau-bouton</i>)	69,6	28,9	71,7	29	69,6	26,4
Similitude labiale 1 ^{ère} syllabe (e.g. <i>chapeau-girafe</i>)	72,6	27,8	59,6	35,1	75,5	29,9
Moyenne	73,7	16,6	79,1	14,4	79,2	14,9

Les performances à la condition mixte en GSM et en début de CP et à la condition similitude labiale sur la première syllabe en début de CP ne sont pas significativement différentes du hasard.

La MANOVA réalisée avec les facteurs intra-sujet session et condition (1^{ère} syllabe, similitude labiale mixte et différente) montre un effet significatif de la condition ($F(2,64) = 5.32$, $p < .01$), mais pas d'effet principal de la session ($F(2,64) = 1.96$, ns), ni d'effet d'interaction session x condition ($F < 1$). Les analyses post hoc révèlent des performances significativement inférieures pour la condition similitude labiale mixte par rapport aux conditions différente et première syllabe, non significativement différentes entre elles.

▪ *Jugement de phonème commun*

Le tableau I.1.1.2c présente les performances des enfants aux différentes sessions en fonction des conditions à l'épreuve de jugement de rime.

Tableau I.1.1.2c Performances moyennes et écart-type (en %) à l'épreuve de jugement du phonème commun pour les différentes sessions en fonction des conditions (la condition en gris et italique n'a pas été incluse dans les analyses en raison de performances non différentes du hasard). La moyenne ne tient compte que des conditions incluses dans les analyses.

Conditions	GSM		CP début		CP fin	
	M	E-T	M	E-T	M	E-T
1 ^{er} phonème (e.g. <i>chat-chaise</i>)	67,2	25,5	68,1	23	81,9	19
<i>Mixte (e.g. <u>botte-cube</u>)</i>	40,2	26,3	37,8	25,4	55,4	24,2
Différente (e.g. <i>lion-verre</i>)	80,9	25,4	92,7	15,7	89,7	16,4
Similitude labiale 1 ^{er} phonème (e.g. <i>nid-tasse</i>)	73,5	28,8	71,3	25,5	77,9	28,1
Similitude labiale mixte (e.g. <i>doigt-canne</i>)	73,5	30,1	78,7	19,6	80,9	22,2
Moyenne	73,8	15,8	77,7	8,1	82,6	13,8

Les performances à la condition mixte aux trois sessions ne sont pas significativement différentes du hasard.

La MANOVA réalisée avec les facteurs intra-sujet session et condition (1^{er} phonème, différente, similitude labiale mixte et sur le 1^{er} phonème) montre un effet significatif de la session ($F(2,66) = 7.78$, $p < .001$) et de la condition ($F(3,99) = 6,16$, $p < .001$), mais pas d'interaction significative session x condition ($F(6,198) = 1,49$, ns). Les analyses post hoc indiquent des performances significativement plus faibles pour la GSM par rapport aux deux sessions de CP, non significativement différentes entre elles. Les performances observées pour la condition différente sont significativement supérieures à celles observées aux conditions premier phonème et similitude labiale sur le premier phonème.

Afin de tester l'effet de l'unité phonologique, nous avons moyenné, pour chacune des trois épreuves de jugement, les performances aux différentes conditions (Figure I.1.1)

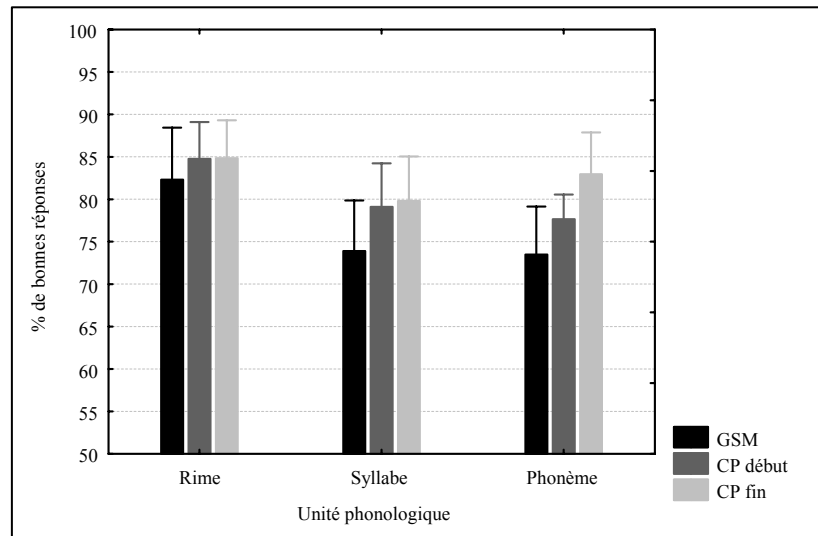


Figure I.1.1 : Performances moyennes (en %) à l'épreuve de conscience phonologique pour les différentes sessions en fonction de l'unité phonologique (les barres d'erreurs correspondent à la déviation standard)

La MANOVA réalisée avec les facteurs intra-sujet session et type d'unité (rime, syllabe et phonème) met en évidence un effet significatif de la session ($F(2,64) = 7.57$, $p < .01$) et de l'unité ($F(2,64) = 5.96$, $p < .01$) mais une absence d'effet d'interaction session x unité ($F(4,128) = 1.05$, ns). Les analyses post-hoc montrent des performances significativement inférieures pour la GSM par rapport aux deux sessions de CP, non différentes entre elles. Les performances observées pour la détection de la rime sont significativement supérieures à celles observées pour la détection de la syllabe et du phonème commun, non différentes entre elles.

○ Suppression du phonème initial

Le tableau I.1.1.2d présente les performances des enfants aux différentes sessions en fonction des conditions à l'épreuve de suppression du phonème initial.

Tableau I.1.1.2d Performances moyennes (en %) et écart-type à l'épreuve de suppression du phonème initial pour les différentes sessions en fonction des conditions (la condition en gris et italique n'a pas été incluse dans les analyses en raison de performances non différentes du hasard). La moyenne ne tient compte que des conditions incluses dans les analyses.

Conditions	GSM		CP début		CP fin	
	M	E-T	M	E-T	M	E-T
Suppression (e.g. doigt-oie)	89,1	13,1	86,4	25,2	90,4	13,3
Différente (e.g. fraise-chien)	90,4	20,4	85,6	19	89,2	17,4
<i>Rime commune (e.g. loup-roue)</i>	<i>40,9</i>	<i>26,1</i>	<i>40,9</i>	<i>28,3</i>	<i>45,1</i>	<i>23,8</i>
Moyenne	89,8	14,3	86	18,7	89,8	13,4

Les performances à la condition rime commune lors des trois sessions ne sont pas significativement différentes du hasard.

La MANOVA réalisée avec les facteurs intra-sujet session et condition (différente, suppression) ne montre aucun effet significatif (session, condition et interaction $F < 1$).

- **Mémoire phonologique**
 - Répétition de non-mots

La figure I.1.1.2 présente les performances des enfants aux différentes sessions en fonction des conditions.

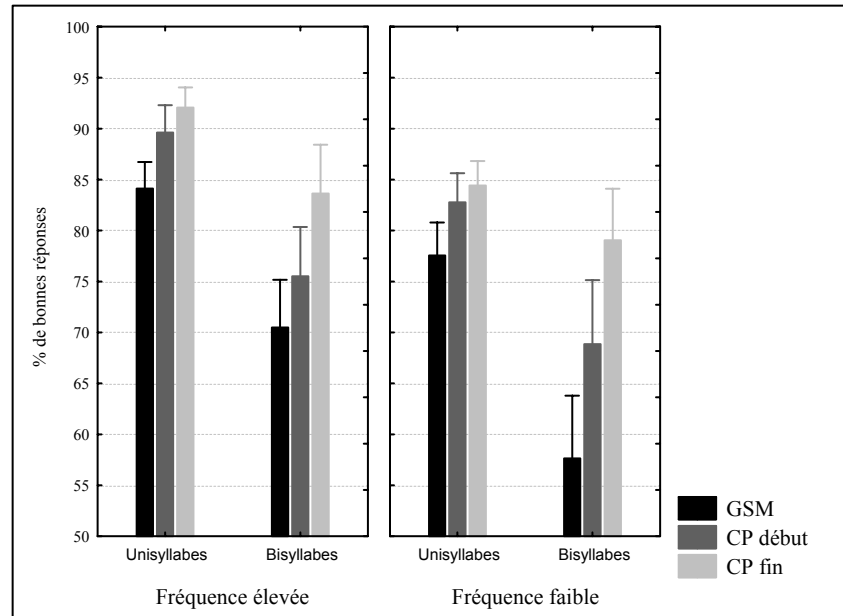


Figure I.1.1.2 Performances moyennes (en %) et écart-type à l'épreuve de répétition de non-mots pour les différentes sessions en fonction de la fréquence phonotactique et du nombre de syllabes (les barres d'erreurs correspondent à la déviation standard).

La MANOVA réalisée avec les facteurs intra-sujet session, fréquence phonotactique et nombre de syllabes met en évidence un effet significatif de la session ($F(2,66) = 40,25$, $p < .0001$), de la fréquence phonotactique ($F(1,33) = 77.60$, $p < .0001$) et du nombre de syllabes $F(1,33) = 37,14$, $p < .0001$). Les analyses post-hoc montrent que les performances obtenues en GSM sont significativement inférieures à celles obtenues en début de CP, elles mêmes significativement inférieures à celles obtenues en fin de CP. Les non-mots de fréquence phonotactique élevée sont mieux répétés que ceux de fréquence faible et les items monosyllabiques que les items bisyllabiques. L'interaction session x fréquence phonotactique ($F(2,66) = 3,28$, $p < ,05$) est significative. Les tests de Newman-Keuls montrent que les performances relevées aux trois sessions sont significativement différentes entre elles quelle que soit la fréquence phonotactique et que l'effet de fréquence phonotactique est significatif pour toutes les sessions. Il semble cependant plus important en GSM. L'interaction session x nombre de syllabes ($F(2,66) = 9.57$, $p < .001$) est également significative mais pas l'interaction phonotactique x nombre de syllabes ($F < 1$). Les analyses post-hoc indiquent que les trois sessions ne sont significativement différentes entre elles que

pour les non-mots bisyllabiques, pour les non-mots unisyllabiques les performances obtenues en GSM sont également plus faibles que celles obtenues lors des deux sessions de CP, mais ces performances ne sont pas significativement différentes entre elles. Les non-mots unisyllabiques sont mieux répétés que les non-mots bisyllabiques lors des trois sessions, mais cet effet paraît plus marqué en GSM et en début de CP. La MANOVA révèle finalement une interaction significative session x fréquence phonotactique x nombre de syllabes ($F(2,66) = 3,5$, $p < .05$) qui semble liée à une augmentation plus marquée des performances pour les non-mots bisyllabiques, particulièrement ceux ayant une fréquence phonotactique faible, entre la GSM et le CP, ainsi qu'entre les deux sessions de CP.

○ Rappel sériel immédiat

Le tableau I.1.1.3 présente les performances des enfants en GSM et en fin de CP en fonction des conditions.

Tableau I.1.1.3 Performances moyennes (en %) et écart-type à l'épreuve de rappel sériel immédiat pour les différentes sessions en fonction du type d'item et de la longueur des listes (les conditions en gris et italique n'ont pas été incluses dans les analyses en raison de performances plancher ou plafond). La moyenne ne tient compte que des longueurs incluses dans les analyses.

Longueur	GSM						CP fin					
	Mots		Non-mots FE		Non-mots FF		Mots		Non-mots FE		Non-mots FF	
	M	E-T	M	E-T	M	E-T	M	E-T	M	E-T	M	E-T
<i>1 item</i>	<i>98,5</i>	<i>8,6</i>	<i>88,6</i>	<i>19,9</i>	<i>82,8</i>	<i>25</i>	<i>100</i>	<i>0</i>	<i>98,5</i>	<i>8,6</i>	<i>98,5</i>	<i>8,6</i>
2 items	88,2	24,8	58,3	31,7	56,3	31,8	85,3	23,1	76,5	30,7	63,2	33,3
3 items	48,5	39,9	9,1	16,3	14,8	18,9	44,1	40,4	23,5	28,2	36,8	39,5
<i>4 items</i>	<i>8,8</i>	<i>22,9</i>	<i>3</i>	<i>12,1</i>	<i>7,4</i>	<i>18</i>	<i>8,8</i>	<i>22,9</i>	<i>4,4</i>	<i>14,4</i>	<i>0</i>	<i>0</i>
Moyenne	68.4	26.3	33.7	18.4	35.6	20.9	64.7	24.7	50	22.2	50	28.9

NB : FE : Fréquence phonotactique Elevée – FF : Fréquence phonotactique Faible

En raison de performances plafond pour les listes de 1 item et plancher pour les listes de longueur 4 items, seules les listes de longueur 2 et 3 items ont été incluses dans les analyses.

La MANOVA réalisée avec les facteurs intra-sujet session, longueur de la liste et type d'item montre un effet significatif de la session ($F(1,31) = 8,09$, $p < .01$), de la longueur de la liste ($F(1,31) = 124,63$, $p < .0001$) et du type d'item ($F(2,62) = 40,02$, $p < .0001$). Seule l'interaction session x type d'item est significative ($F(2,62) = 3,61$, $p < .05$) (interactions session x longueur de la liste $F < 1$ – longueur de la liste x type d'item ($F(2,62) = 3.06$, ns) – session x longueur de la listes x type d'item ($F(2,62) = 1.43$, ns)). Les analyses post-hoc révèlent des performances significativement plus faibles en GSM qu'en fin de CP pour les

listes de non-mots de fréquence phonotactique élevée et faible, mais aucune différence entre les sessions n'est observée pour le rappel des mots. Lors des deux sessions, les listes de mots sont significativement mieux rappelées que les listes de non-mots FE et FF, cet effet paraît cependant plus important en GSM. Aucun effet de fréquence phonotactique n'est observé. L'interaction longueur de la liste x type d'item est tendancielle ($F(2,62) = 3,06$, $p = ,054$). Les tests de Newman-Keuls montrent une supériorité des performances pour les listes de 2 items par rapport aux listes de 3 items lors des deux sessions quel que soit le type d'item. Cet effet paraît néanmoins plus important pour les non-mots FE et moins important pour les non-mots FF. La supériorité du rappel des mots par rapport au rappel des non-mots paraît plus importante pour les listes de 3 items que pour les listes de 2 items.

○ Reconnaissance de non-mots

Le tableau I.1.1.4 présente les performances des enfants en GSM et en fin de CP en fonction des longueurs.

Tableau I.1.1.4 Performances moyennes (en %) et écart-type à l'épreuve de reconnaissance de non-mots pour les différentes sessions (la condition en gris et italique n'a pas été incluse dans les analyses en raison de performances non différentes du hasard). La moyenne ne tient compte que des longueurs incluses dans les analyses.

Longueur	GSM		CP fin	
	M	E-T	M	E-T
2 items	66,1	13,3	68,8	15,2
3 items	57,1	11,4	56,7	11,2
<i>4 items</i>	<i>52</i>	<i>8,7</i>	<i>53,6</i>	<i>9,3</i>
Moyenne	61,6	10,6	62,7	9,7

Les performances obtenues pour la longueur 4 en GSM ne sont pas significativement différentes du hasard (Tableau I.1.1.4).

La MANOVA réalisée avec les facteurs intra-sujet session et longueur de la liste montre un effet significatif de la longueur de la liste ($F(1,32) = 26,93$, $p < .0001$) mais pas d'effet significatif de la session ($F < 1$), ni d'interaction session x longueur de la liste ($F < 1$). La longueur 2 items est mieux réussie que la longueur 3 items.

- Reconnaissance de l'ordre sériel de chiffre

Le tableau I.1.1.5 présente les performances moyennes des enfants en GSM et en fin de CP en fonction de la longueur des listes.

Tableau I.1.1.5 Performances moyennes (en %) et écart-type à l'épreuve de reconnaissance de l'ordre sériel pour les différentes sessions.

Longueur	GSM		CP fin	
	M	E-T	M	E-T
2 items	85,8	21	86,3	19,5
3 items	77,9	25,2	88,2	19,9
4 items	59,3	22,5	75,5	21,8
Moyenne	74,3	16,9	83,3	17,9

La MANOVA réalisée avec les facteurs intra-sujet session et longueur de la liste montre un effet significatif de la session ($F(1,33) = 7.34, p < .05$), de la longueur de la liste ($F(2,66) = 26.9, p < .0001$) et une interaction significative session x longueur de la liste ($F(2,66) = 4.43, p < .05$). Les analyses post-hoc indiquent des performances significativement plus faibles en GSM qu'en fin de CP, mais seulement pour les listes de 3 et 4 items. Elles révèlent également une diminution significative des performances en GSM entre les listes de 2, 3 et 4 items et uniquement entre les listes de 3 et 4 items en fin de CP.

- **Compétences lexicales et lecture**

- Vocabulaire
 - *EVIP*

Le tableau I.1.1.6 présente les performances des enfants en GSM et en fin de CP.

Tableau I.1.1.6 Score moyen et écart-type à l'EVIP pour les différentes sessions.

	GSM		CP fin	
	M	E-T	M	E-T
Score brut	75,1	16,3	86,3	14,9

L'analyse a été effectuée à partir des scores bruts, c'est-à-dire du nombre d'items correctement identifiés. Le test t réalisé sur les performances recueillies en GSM et en fin de CP indique une supériorité significative ($t(33) = 6.95, p < .00001$) des performances en fin de CP par rapport à celles obtenues en GSM.

- *Dénomination*

Le tableau I.1.1.7 présente les performances des enfants en GSM et en fin de CP pour la dénomination de mots fréquents et de mots rares.

Tableau I.1.1.7 Performances moyennes (en %) et écart-type à l'épreuve de dénomination pour les différentes sessions.

	GSM		CP fin	
	M	E-T	M	E-T
Mots fréquents	83,7	8,6	87,6	6,5
Mots rares	31,8	13,9	40,4	14,9
Moyenne	66,8	8,9	72,2	7,8

La MANOVA réalisée avec les facteurs intra-sujet session et fréquence lexicale montre un effet significatif de la session ($F(1,33) = 34.21$, $p < .0001$) et de la fréquence lexicale ($F(1,33) = 669,67$, $p < .0001$), ainsi qu'une interaction significative session x fréquence lexicale ($F(1,33) = 4.64$, $p < .05$) (Tableau I.1.1.7). Les performances en fin de CP sont significativement supérieures à celles obtenues en GSM et les images correspondant à des mots fréquents sont significativement mieux dénommées que celles correspondant à des mots rares. L'augmentation des performances entre la GSM et la fin du CP paraît néanmoins plus importante pour les mots rares.

- *Connaissance des lettres*

Le tableau I.1.1.8 présente les performances des enfants en début et en fin de CP pour la dénomination du nom et du son des lettres.

Tableau I.1.1.8 Performances moyennes (en %) et écart-type à l'épreuve de connaissance des lettres pour les différentes sessions.

	CP début		CP fin	
	M	E-T	M	E-T
Nom	77,8	21	85,6	17,9
Son	60,2	26,7	83,9	11,8

La MANOVA réalisée avec les facteurs intra-sujet session et nature de l'épreuve (nom vs son) montre un effet significatif de la session ($F(1,33) = 20.24$, $p < .0001$), de la nature de l'épreuve ($F(1,33) = 18.02$, $p < .001$) ainsi qu'une interaction significative

session x nature de l'épreuve ($F(1,33) = 15.58, p < .001$) (Tableau I.1.1.8). Les performances obtenues en fin de CP sont significativement supérieures à celles obtenues en début de CP et celles obtenues pour le nom des lettres à celles obtenues pour le son des lettres, mais seulement en début de CP.

○ Lecture

▪ *Alouette*

Le tableau I.1.1.9 présente les performances de décodage des enfants en début et en fin de CP.

Tableau I.1.1.9 Nombre moyen de mots, et écart-type, correctement lus à l'Alouette pour les deux sessions de CP

	CP début		CP fin	
	M	E-T	M	E-T
Nombre de mots correctement lus	29,5	22,9	58,7	36,7
Age de lecture (année;mois)	6;6	0;3	6;7	0;11

L'analyse a été réalisée à partir du nombre de mots correctement lus. Le test t réalisé à partir des performances recueillies en début et en fin de CP révèle une augmentation significative du nombre de mots correctement lus entre les deux sessions ($t(32) = 5.84, p < .0001$).

▪ *Test de reconnaissance des mots de Khomsi*

Le tableau I.1.1.10 présente les performances de reconnaissance des mots des enfants en fin de CP.

Tableau I.1.1.10 Performances moyennes (en %) et écart-type à l'épreuve du Khomsi en fin de CP (la condition en gris et italique n'a pas été incluse dans les analyses en raison de performances non différentes du hasard). La moyenne ne tient compte que des conditions incluses dans les analyses.

Conditions	CP fin	
	M	E-T
Correcte	83,8	15,9
Paralexie sémantique (<i>e.g. glace - tarte</i>)	89,4	8,9
Paralexie littérale (<i>e.g. pint - pont</i>)	61,8	25,4
<i>Homophone (e.g. châto)</i>	24,4	21,5
Moyenne	78,3	9,6

Les performances à la condition homophone ne sont pas significativement différentes du hasard.

L'ANOVA réalisée avec le facteur intra-sujet type de paires met en évidence un effet principal significatif ($F(2,66) = 20,67, p < .0001$). Les analyses post-hoc montrent que la condition paralexie littérale est significativement moins bien réussie que les conditions correcte et paralexie sémantique.

Synthèse des principaux résultats des analyses inférentielles de l'étude longitudinale

Les résultats des analyses inférentielles réalisées sur les données recueillies lors du suivi longitudinal ont mis en évidence :

1. une augmentation des performances aux épreuves de discrimination phonologique et de conscience phonologique entre la grande section de maternelle et le CP (mais une absence de différence entre le début et la fin du CP) ;
2. une augmentation de la capacité à répéter des non-mots (uni- et bisyllabiques) entre la grande section de maternelle et le CP et une augmentation entre le début et la fin du CP uniquement pour les mots bisyllabiques. Par ailleurs, l'effet de fréquence phonotactique – attesté par des performances supérieures à la répétition de non-mots de fréquence phonotactique élevée par rapport à des non-mots de fréquence phonotactique faible – est observé en GSM comme en CP mais apparaît cependant plus marqué en grande section de maternelle ;
3. une augmentation des performances au rappel sériel immédiat et à la reconnaissance de l'ordre sériel entre la grande section de maternelle et la fin du CP avec un effet de lexicalité et un effet de longueur plus importants en grande section ;
4. une augmentation des compétences lexicales entre la grande section et la fin du CP ;
5. et enfin, une augmentation des connaissances des lettres et de l'efficacité en décodage entre le début et la fin du CP.

1.2.2. Analyses de corrélations

Les analyses de corrélations partielles, contrôlant l'efficacité non-verbale, ont été effectuées afin d'étudier les relations entre les différents niveaux de traitement phonologique ainsi qu'entre les différentes habiletés liées à la lecture – traitement phonologique, vocabulaire et connaissance des lettres – et les capacités de décodage et de reconnaissance de mots à chaque session et entre les sessions. Elles avaient également pour objectif de définir les épreuves phonologiques à inclure dans les analyses de régression hiérarchique. Les scores globaux à chaque épreuve ont été utilisés dans les analyses de corrélation et de régression. L'épreuve de suppression du phonème initial ne présentant aucun résultat significatif, nous avons utilisé la moyenne des scores des trois épreuves de jugement de l'unité commune. L'objectif de cette étude étant principalement d'analyser l'influence des compétences phonologiques sur la lecture, nous avons choisi d'utiliser les performances pour le rappel sériel de listes de non-mots, excluant les performances pour les mots.

Les corrélations sont présentées dans le tableau I.1.2.

Tableau I.1.2 Corrélations entre les performances aux différentes épreuves et aux trois sessions (n=34). Les corrélations sont significatives à $p < .05$ sont en gras et les corrélations tendanciennes ($p < 1$) sont soulignées. (NB : RSI : Rappel Sériel Immédiat, NM : Non-Mot, reco. : reconnaissance)

	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	2.1	2.2	2.3	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6	4.1	4.2	4.3	4.4	5.1	5.2
GSM																					
1.1.Discrimination	-																				
1.2.Conscience	0,40	-																			
1.3.Répétition de NM	0,18	0,36	-																		
1.4.Reco.ordre	0,39	0,24	0,16	-																	
1.5.Reco. NM	0,18	-0,06	0,11	0,22	-																
1.6.RSI NM	0,07	0,25	0,51	0,07	0,16	-															
CP début																					
2.1.Discrimination	0,65	0,54	0,09	0,53	-0,05	-0,08	-														
2.2.Conscience	0,12	0,67	0,57	0,14	-0,14	0,40	0,38	-													
2.3.Répétition de NM	0,29	0,49	0,56	0,08	0,00	0,52	0,06	0,50	-												
CP fin																					
3.1.Discrimination	0,56	0,48	0,24	0,51	0,08	0,05	0,85	0,46	0,17	-											
3.2.Conscience	0,18	0,62	0,38	0,12	-0,33	<u>0,34</u>	<u>0,33</u>	0,69	0,50	<u>0,34</u>	-										
3.3.Répétition de NM	0,39	<u>0,36</u>	0,48	0,37	0,17	0,61	0,21	0,45	0,70	0,24	<u>0,36</u>	-									
3.4.Reco.ordre	0,48	0,51	0,48	0,45	0,10	<u>0,31</u>	0,59	0,50	0,28	0,54	0,44	0,40	-								
3.5.Reco.NM	0,07	0,21	0,52	0,27	0,17	0,02	0,12	0,37	0,20	0,30	0,28	0,13	<u>0,32</u>	-							
3.6.RSI NM	0,47	0,61	0,41	<u>0,32</u>	0,16	0,49	0,47	0,59	0,62	0,50	0,46	0,65	0,43	0,28	-						
Compétences lexicales																					
4.1.EVIP GSM	0,56	0,39	0,23	0,60	0,09	0,23	0,45	0,34	0,37	0,36	0,39	0,53	0,37	0,19	0,14	-					
4.2.Dénomination GSM	<u>0,35</u>	0,48	<u>0,33</u>	0,28	0,25	0,43	0,20	0,53	0,65	0,23	0,47	0,66	0,43	0,18	<u>0,32</u>	0,52	-				
4.3.EVIP CP fin	0,41	0,24	<u>0,36</u>	0,55	0,16	0,26	0,30	<u>0,32</u>	0,44	0,28	<u>0,31</u>	0,58	0,22	0,25	0,15	0,84	0,57	-			
4.4.Dénomination CP fin	0,22	0,53	0,47	0,25	-0,06	0,36	0,30	0,70	0,58	<u>0,31</u>	0,65	0,50	0,40	0,17	0,24	0,60	0,75	0,70	-		
Connaissance des lettres																					
5.1.CP début	0,47	0,61	<u>0,33</u>	0,14	0,15	0,27	0,41	0,48	0,42	<u>0,33</u>	0,43	<u>0,34</u>	0,61	0,26	0,62	<u>0,35</u>	0,50	0,20	<u>0,34</u>	-	
5.2.CP fin	0,11	0,45	-0,09	0,00	0,00	0,25	0,11	0,18	0,26	0,16	0,23	0,14	0,29	-0,10	0,22	0,06	0,42	-0,01	0,28	0,46	-
Compétences de lecture																					
6.1.Alouette CP début	0,07	0,38	0,04	0,14	0,11	0,26	0,21	0,30	-0,19	-	-	-	-	-	-	0,09	-	0,05	-	0,44	<u>0,36</u>
6.2.Alouette CP fin	0,37	0,49	0,25	0,01	0,12	0,25	<u>0,35</u>	0,45	0,17	0,40	<u>0,31</u>	0,21	0,54	0,09	0,30	0,02	<u>0,35</u>	-0,02	0,26	0,59	0,37
6.3.Khomsî	<u>0,32</u>	0,60	0,28	0,00	0,14	0,20	0,23	0,36	0,25	0,28	0,28	0,08	<u>0,36</u>	-0,03	0,41	0,17	0,25	0,09	0,24	0,60	0,39

- **Corrélations inter-épreuve**

- Corrélations inter-session

Les performances à l'épreuve de reconnaissance de non-mots ne présentent aucune corrélation significative avec les performances aux autres épreuves, à aucune session. Ce résultat conjointement aux résultats de l'analyse inférentielle révélant l'absence d'effet de session ou d'interaction session x longueur laissent supposer un problème au niveau de l'épreuve elle-même. Les performances globales à peine supérieures au hasard obtenues à cette tâche dans les deux sessions où elle a été administrée suggèrent une trop grande complexité de l'épreuve ou de son mode d'administration.

Exception faite de cette épreuve, les performances à chaque épreuve phonologique apparaissent fortement corrélées entre les trois sessions. Les performances aux deux épreuves de vocabulaire, à l'épreuve de connaissance des lettres ainsi qu'à l'Alouette présentent également des corrélations importantes entre les sessions.

- Corrélations en GSM

En GSM, les performances aux épreuves de discrimination perceptive et de conscience phonologique sont inter-corrélées. Celles des épreuves de mémoire phonologique en revanche présentent peu de corrélations. Seules les performances aux épreuves de répétition et de rappel de non-mots présentent une corrélation significative. Les performances de discrimination phonologique présentent une corrélation modérée avec celles de la reconnaissance de l'ordre sériel et celles de la conscience phonologique avec celles de la répétition de non-mots. Les performances aux épreuves de vocabulaire sont corrélées avec celles des épreuves de discrimination et de conscience phonologique mais peu avec celles des épreuves de mémoire phonologique.

- Corrélations en début de CP

En début de CP les performances de conscience phonologique présentent une corrélation significative avec celles de discrimination phonologique et de répétition de non-mots, ne corrélant pas entre elles. Les performances à l'épreuve de connaissance des lettres présentent des corrélations modérées avec celles des différentes épreuves phonologiques.

- Corrélations en début de CP

En fin de CP, les corrélations entre les performances à l'épreuve de conscience phonologique et les performances aux épreuves de discrimination phonologique et de répétition de non-mots ne sont plus que tendanciennes. Des corrélations significatives émergent en revanche entre les performances à ces trois épreuves et celles des épreuves de reconnaissance de l'ordre sériel et de rappel sériel immédiat, elles-mêmes fortement

inter-corrélées. A l'inverse de celles observées en GSM, les performances des épreuves de vocabulaire en fin de CP présentent globalement de faibles corrélations avec celles des épreuves de conscience et de discrimination phonologiques mais des corrélations importantes avec les performances à l'épreuve de répétition de non-mots et modérées avec celles de l'épreuve de reconnaissance de l'ordre sériel. Les performances à l'épreuve de connaissance des lettres ne corrèlent avec aucune épreuve.

- **Corrélations avec les épreuves de lecture**

Les performances à l'épreuve de répétition de non-mots ne présentent aucune corrélation avec celles des épreuves de lecture, quelle que soit la session d'évaluation. Ce résultat paraît contradictoire avec les données d'études précédentes (Gathercole et al., 1992; Gathercole, 1995), mais semble pouvoir être lié à des différences dans les constructions des tâches. Notre épreuve implique en effet des items uni ou bisyllabiques tandis que la majorité des épreuves des études précédentes incluait des non-mots comprenant jusqu'à 5 syllabes même pour des épreuves destinées à des enfants de 5 ans (Gathercole, 1995).

- Corrélations en GSM

En GSM, les performances à l'épreuve de discrimination phonologique sont corrélées avec les performances en lecture en fin de CP, mais pas avec les performances à l'Alouette en début de CP. Les performances à l'épreuve de conscience phonologique présentent des corrélations modérées avec celles obtenues à l'Alouette en début et en fin de CP et une corrélation importante avec les performances au Khomsi en fin de CP. Les performances aux épreuves de mémoire phonologique et de vocabulaire n'apparaissent corrélées avec celles d'aucune épreuve de lecture.

- Corrélations en début de CP

En début de CP, les performances de conscience phonologique présentent des corrélations significatives avec les performances aux épreuves de lecture lorsqu'elles sont administrées en fin de CP, mais pas lorsqu'elles sont administrées en début de CP. Les performances aux épreuves de discrimination phonologique et de répétition de non-mot ne présentent aucune corrélation avec celles des épreuves de lecture, contrairement aux performances de connaissance des lettres.

- Corrélations en fin de CP

En fin de CP, les épreuves de discrimination et de conscience phonologique présentent de faibles corrélations avec les deux épreuves de lecture. Des corrélations

émergent entre la reconnaissance de l'ordre sériel et les deux épreuves de lecture ainsi qu'entre le rappel sériel immédiat et le Khomsi. L'épreuve de connaissance des lettres apparaît également corrélée aux deux épreuves de lecture, tandis que les épreuves de vocabulaire ne présentent aucune corrélation avec les épreuves de lecture.

1.2.3. Analyses de régression

Afin d'analyser la contribution spécifique des différents niveaux de traitement phonologique à l'apprentissage de la lecture, nous avons réalisé plusieurs séries d'analyses de régressions hiérarchiques incluant chaque mesure de lecture comme variable dépendante. Nous avons utilisé comme variables indépendantes les épreuves phonologiques présentant des corrélations significatives ou tendancielle avec la variable dépendante. Ces épreuves ont été introduites en position 3, 4 et/ou 5 (en fonction du nombre de variables prédictives testées) en alternant les positions possibles des différentes variables prédictives. Afin de contrôler un éventuel effet des différences inter-individuelles d'efficacité non-verbale et de langage oral, les résultats au PM47 et à l'EVIP ont été introduits dans toutes les analyses en position 1 et 2. L'EVIP et l'épreuve de dénomination présentant un patron de développement identique, nous avons choisi d'utiliser les scores à l'EVIP, cette épreuve étant normalisée et très utilisée à la fois par les cliniciens et les chercheurs. Les détails des différentes régressions hiérarchiques sont présentés dans les tableaux I.1.3. Il est important de souligner qu'aucune de ces analyses ne montre de contribution de l'efficacité non verbale ou du niveau de vocabulaire aux performances en lecture.

- **Analyses de régression entre les habiletés phonologiques en grande section de maternelle et les performances de lecture en CP**

- Habiletés de lecture en début de CP

Seule la conscience phonologique en GSM est corrélée avec les performances de décodage en CP.

Tableau I.1.3.1 Analyse de régression hiérarchique des prédicteurs en fin de GSM de l'habileté de décodage en début de CP

Position	Variables	Décodage CP début		
		R ² total (%)	R ² change (%)	p
1.	PM47	4	-	ns
2.	EVIP GSM	5	1	ns
3.	Conscience phonologique GSM	19	14	<,05

La combinaison des trois variables (PM47, EVIP et conscience phonologique) explique 19 % de la variance en lecture. L'analyse de régression, menée avec les performances à l'épreuve de conscience phonologique en troisième position montre que la conscience phonologique présente une contribution indépendante, expliquant 14 % de la variance résiduelle des habiletés de décodage (Tableau I.1.3.1).

○ Habiletés de lecture en fin de CP

Seules les épreuves de discrimination et de conscience phonologique sont corrélées avec les compétences de décodage et de reconnaissance des mots.

Tableau I.1.3.2 Analyses de régressions hiérarchiques des prédicteurs en GSM des habiletés de décodage et de reconnaissance des mots en fin de CP

Position	Variables	Décodage CP fin			Reconnaissance CP fin		
		R ² total (%)	R ² change (%)	p	R ² total (%)	R ² change (%)	p
1.	PM47	6	-	ns	8	-	ns
2.	EVIP GSM	6	00	ns	10	2	ns
3.	Discrimination phonologique GSM	18	12	<,05	16	6	=,08
4.	Conscience phonologique GSM	38	20	<,01	40	24	<,01
3.	Conscience phonologique GSM	32	25	<,01	35	25	<,01
4.	Discrimination phonologique GSM	38	6	=,059	40	5	ns

La combinaison des quatre variables (PM47, EVIP, discrimination et conscience phonologique) explique 38 % de la variance en décodage et 49 % de la variance en reconnaissance de mots. La conscience phonologique entrée en dernière position, après la discrimination phonologique, présente une contribution indépendante significative à ces deux épreuves, expliquant respectivement 20 et 24 % de la variance résiduelle. A l'inverse, la discrimination phonologique entrée après la conscience phonologique présente une contribution indépendante tendancielle ($p = .06$) aux habiletés de décodage, expliquant 6 % de la variance résiduelle, mais pas de contribution indépendante à la reconnaissance de mots (5 % de variance résiduelle expliquée) (Tableau I.1.3.2).

• **Analyses de régression entre les habiletés phonologiques en début de CP et les performances de lecture en CP**

Les habiletés de décodage en fin de CP sont corrélées avec les performances de discrimination et de conscience phonologique, tandis que les habiletés de reconnaissance de mots ne présentent qu'une corrélation tendancielle avec la conscience phonologique.

Tableau I.1.3.3a Analyses de régressions hiérarchiques des prédicteurs en début de CP des habiletés de décodage en fin de CP

Position	Variables	Décodage CP fin		
		R ² total (%)	R ² change (%)	p
1.	PM47	6	-	ns
2.	EVIP GSM	6	0	ns
3.	Discrimination phonologique CP début	12	6	ns
4.	Conscience phonologique CP début	35	23	<,05
3.	Conscience phonologique CP début	28	22	<,01
4.	Discrimination phonologique CP début	35	7	=,096

La combinaison des variables PM47, EVIP, discrimination et conscience phonologiques explique 35 % de la variance en décodage. Entrée en 4^{ème} position, après la discrimination phonologique, la conscience phonologique présente une contribution indépendante significative au décodage, expliquant 23 % de la variance résiduelle. La discrimination phonologique entrée en 4^{ème} position, après la conscience phonologique, ne présente en revanche pas de contribution indépendante (7 % de variance résiduelle expliquée) (Tableau I.1.3.3a).

Tableau I.1.3.3b Analyses de régressions hiérarchiques des prédicteurs en début de CP des habiletés de reconnaissance des mots en fin de CP

Position	Variables	Reconnaissance CP fin		
		R ² total (%)	R ² change (%)	p
1.	PM47	8	-	ns
2.	EVIP GSM	10	2	ns
3.	Conscience phonologique CP début	21	12	=,056

La combinaison des variables PM47, EVIP et conscience phonologique explique 21 % de la variance en reconnaissance de mot. La conscience phonologique entrée en troisième position présente une contribution indépendante tendancielle ($p = .056$) expliquant 12 % de la variance résiduelle (Tableau I.1.3.3b).

- **Analyses de régression entre les habiletés phonologiques et les performances de lecture en fin de CP**

Les performances aux épreuves de discrimination phonologique, conscience phonologique et reconnaissance de l'ordre sériel de chiffres sont corrélées avec les capacités de décodage.

Tableau I.1.3.4a Analyses de régressions hiérarchiques des prédicteurs des habiletés de décodage en fin de CP

Position	Variables	Décodage CP fin		
		R ² total (%)	R ² change (%)	p
1.	PM47	6	-	ns
2.	EVIP CP fin	6	0	ns
3.	Discrimination phonologique CP fin	24	18	<,05
4.	Conscience phonologique CP fin	30	5	ns
5.	Reconnaissance de l'ordre sériel CP fin	38	8	=,066
3.	Conscience phonologique CP fin	17	11	=,057
4.	Discrimination phonologique CP fin	30	13	<,05
5.	Reconnaissance de l'ordre sériel CP fin	38	8	=,066
3.	Reconnaissance de l'ordre sériel CP fin	31	24	<,01
4.	Discrimination phonologique CP fin	35	5	ns
5.	Conscience phonologique CP fin	38	2	ns

La combinaison des cinq variables (PM47, EVIP, discrimination, conscience phonologique et mémoire de l'ordre) explique 38 % de la variance en décodage. Entrée en dernière position, seule la reconnaissance de l'ordre sériel des chiffres présente une contribution indépendante tendancielle ($p = .066$), expliquant 8 % de la variance résiduelle. Les habiletés de discrimination et de conscience phonologique ne présentent pas de contribution indépendante lorsqu'elles sont entrées après la reconnaissance de l'ordre sériel (Tableau I.1.1.4a).

Les performances en reconnaissance de mots présentent une corrélation tendancielle avec la reconnaissance de l'ordre sériel de chiffres et une corrélation significative avec le rappel sériel immédiat de non-mots.

Tableau I.1.3.4b Analyses de régressions hiérarchiques des prédicteurs en des habiletés de reconnaissance des mots en fin de CP

Position	Variables	Reconnaissance CP fin		
		R ² total (%)	R ² change (%)	p
1.	PM47	8	-	ns
2.	EVIP CP fin	9	1	ns
3.	Reconnaissance de l'ordre sériel CP fin	13	4	ns
4.	Rappel sériel immédiat CP fin	28	15	<,05
3.	Rappel sériel immédiat CP fin	28	19	<,01
4.	Reconnaissance de l'ordre sériel CP fin	28	1	ns

La combinaison de ces deux variables et des deux variables contrôle explique 28 % de la variance en reconnaissance de mots. Entré en dernière position après la reconnaissance de l'ordre sériel, le rappel sériel immédiat présente une contribution indépendante significative, expliquant 15 % de la variance résiduelle. La reconnaissance de l'ordre sériel en revanche ne présente aucune contribution indépendante après le rappel sériel immédiat (Tableau I.1.1.4b).

Synthèse des principaux résultats des analyses de corrélation et de régression hiérarchique

Les analyses de corrélation mettent en évidence :

1. l'existence de corrélations entre les performances obtenues à chacune des épreuves aux différents moments d'évaluation ;
2. l'existence de corrélations entre les capacités de discrimination phonologique et la conscience phonologique d'une part et entre ces deux compétences et la lecture d'autre part, ces corrélations apparaissant plus marquées en GSM ;
3. l'apparition en fin de CP de corrélations entre les performances aux différentes épreuves de mémoire phonologique entre elles et avec les autres épreuves.

Les analyses de régression hiérarchique révèlent que :

1. la conscience phonologique évaluée en GSM est le seul prédicteur indépendant des capacités de lecture mesurées en début comme en fin de CP. La contribution de la conscience phonologique évaluée au début du CP n'apparaît plus que tendancielle et lorsqu'elle est évaluée en fin de CP, la conscience phonologique ne présente plus de contribution indépendante aux capacités de lecture ;
2. en fin de CP, la reconnaissance de l'ordre sériel présente en revanche une contribution indépendante aux capacités de décodage et le rappel sériel immédiat contribue, quant à lui, aux capacités de reconnaissance de mots.

2. Etude transversale

2.1. Matériel et méthode

2.1.1. Sujets

90 enfants scolarisés du CE1 au CM2 ont été évalués lors d'une étude transversale. Lors de l'analyse des données, nous avons également intégré les données recueillies auprès des enfants en fin de CP (durant la troisième session d'évaluation de l'étude longitudinale). Le tableau I.2.A présente les caractéristiques des enfants de chaque classe. L'efficiences non-verbale a été contrôlée par le test des matrices couleurs PM47 (Ionescu et al., 1992; Raven, 1956, 1981). Aucun enfant ne présentait de retard scolaire, ni ne montrait de déficit auditif, visuel, articulatoire ou neurologique. Les consentements des parents ont été obtenus avant le début de l'étude.

Tableau I.2.A. Age des enfants de chaque classe au moment de la passation

	CP		CE1		CE2		CM1		CM2	
	M	E-T	M	E-T	M	E-T	M	E-T	M	E-T
Nombre	37		28		19		24		19	
Age chronologique (années;mois)	6;8	0;3	7;5	0;4	8;6	0;4	9;5	0;4	10;4	0;4

2.1.2. Epreuves et procédure

Toutes les épreuves décrites dans l'étude longitudinale ont été présentées dans l'étude transversale, à l'exception de l'épreuve de connaissance des lettres. Les épreuves de reconnaissance et de rappel sériel immédiat comportaient néanmoins des listes d'items plus longues. Dans l'épreuve de reconnaissance de non-mots, des listes cibles de 2 à 5 items et donc des listes tests de 4 à 10 items ont été présentées. Dans l'épreuve de reconnaissance de l'ordre sériel, des listes de 3 à 6 chiffres ont été utilisées et dans les trois épreuves de rappel sériel immédiat des listes de 1 à 6 items ont été présentées. Les évaluations se sont déroulées suivant la procédure décrite dans l'étude longitudinale, tous les enfants ont été évalués individuellement, en quatre fois, dans une pièce calme, au sein de l'école, pendant le temps scolaire (cf. Annexe 3c). En raison de difficultés dans le recueil des données, les deux épreuves de rappel – répétition de non-mots et rappel sériel immédiat – n'ont pas pu être analysées. Les temps de réponse n'ont pas été analysés pour les raisons évoquées dans l'étude longitudinale.

Les performances aux conditions entraînant une réponse binaire ont été comparées au hasard. Ces conditions ainsi que celles générant des performances supérieures à 95 % de bonnes réponses ont été exclues des analyses. Des analyses de variance (ANOVAs) ont été réalisées et complétées si nécessaire par des comparaisons post-hoc (test de Newman-

Keuls, significatif à $p < .05$). Toutes les analyses ont été effectuées grâce au logiciel Statistica 6.0 (StatSoft, France, 2001).

2.2. Résultats

• Discrimination phonologique

Le tableau I.2.1 présente les performances des enfants des différentes classes en fonction du type de paire.

Tableau I.2.1 Performances moyennes (en %) et écart-type à l'épreuve de discrimination phonologique pour les différentes classes en fonction du type de paire.

	CP		CE1		CE2		CM1		CM2	
	M	E-T	M	E-T	M	E-T	M	E-T	M	E-T
Identique	87,1	10,5	90,3	15,3	93,1	5,9	95	4,3	98,2	1,8
Différente	83,6	15,5	91,9	8	89,7	5,3	91,3	6,8	90,5	12,8
Moyenne	84,8	11,1	92	10,8	92,2	4,3	93,7	4,9	95	6,5

L'ANOVA réalisée avec le facteur inter-sujet classe et le facteur intra-sujet type de paires montre un effet significatif de la classe ($F(4,120) = 5.81, p < .001$) et du type de paire ($F(1,120) = 10.69, p < .01$), mais pas d'interaction significative classe x type de paire ($F < 1$) (Tableau I.2.1). Les performances sont supérieures pour les paires identiques que pour les paires différentes. Les analyses post-hoc révèlent des performances significativement plus faibles en CP que dans toutes les autres classes, ne présentant en revanche aucune différence entre elles. Les performances avoisinant 90% de bonnes réponses dès le CE1, les analyses avec les facteurs traits articulatoires et mode d'articulation n'ont pas été effectuées.

• Conscience phonologique

- Jugement de l'unité commune
 - *Jugement de rime*

Le tableau I.2.2a présente les performances des enfants des différentes classes en fonction des conditions.

Tableau I.2.2a Performances moyennes (en %) et écart-type à l'épreuve de jugement de la rime commune pour les différentes classes en fonction des conditions.

Conditions	CP		CE1		CE2		CM1		CM2	
	M	E-T	M	E-T	M	E-T	M	E-T	M	E-T
Orthographe identique (e.g. <i>tarte-carte</i>)	92,3	12,2	88,9	19,6	89,3	12,4	97,8	5,9	96,7	6,9
Orthographe différente (e.g. <i>loup-chou</i>)	83,3	20,8	84,4	21,3	85,7	15,8	98,9	4,3	84,4	23,1
Différente (e.g. <i>gâteau-bonbon</i>)	94,1	13,8	90	26,4	94,6	14,5	98,3	6,5	98,3	6,5
Coda identique (e.g. <i>chaise-rose</i>)	71,3	27,6	70	35,6	78,6	29,2	83,3	24,4	66,7	37,4
Voyelle identique (e.g. <i>vache-table</i>)	69,1	28,9	66,7	34,9	66,1	27,1	81,7	24	81,7	24

Les performances à la condition voyelle identique en CE1 et coda identique en CM2 ne sont pas significativement différentes du hasard. Les performances aux conditions différente et rime orthographe identique en CM1 et CM2 ainsi qu'à la condition rime orthographe différente en CM1 étant plafond, l'analyse par condition n'a pas pu être menée dans cette étude.

▪ *Jugement de syllabe commune*

Le tableau I.2.2b présente les performances des enfants des différentes classes en fonction des conditions.

Tableau I.2.2b Performances moyennes (en %) et écart-type à l'épreuve de jugement de la syllabe commune pour les différentes classes en fonction des conditions (les conditions en gris et italique n'ont pas été incluses dans les analyses en raison de performances non différentes du hasard). La moyenne ne tient compte que des conditions incluses dans les analyses.

Conditions	CP		CE1		CE2		CM1		CM2	
	M	E-T	M	E-T	M	E-T	M	E-T	M	E-T
1 ^{ère} syllabe (e.g. <i>serviette-serpent</i>)	85,8	20,6	91,7	14	92,6	14,3	85,7	24,3	87,7	26
Mixte (e.g. <i>hibou-bouteille</i>)	68,6	22,4	62,5	29,3	73,2	28,7	59,5	23,3	58,8	26,9
Différente (e.g. <i>carotte-sucette</i>)	82,4	18,3	92,9	12,4	83,3	21,4	87,3	10,4	84,2	19,6
Similitude labiale 1 ^{ère} (e.g. <i>chapeau-girafe</i>)	69,6	26,4	77,4	24,1	64,8	33,3	79,4	19,7	91,2	15,1
Similitude labiale mixte (e.g. <i>chameau-bouton</i>)	75,5	29,9	83,3	21,3	79,6	20,3	77,8	24,3	80,7	27,9
Moyenne	78,8	15,1	89,3	9,2	85,2	11,3	83,6	11,9	83,6	14,9

Les performances aux conditions similitude labiale sur la première syllabe en CE2 et mixte en CM1 et CM2 ne sont pas significativement différentes du hasard.

L'ANOVA réalisée avec le facteur inter-sujet classe et le facteur intra-sujet condition (première syllabe, différente et similitude labiale mixte) montre un effet significatif des facteurs classe ($F(4,118) = 2.74, p < .05$) et condition ($F(2,236) = 8.29, p < .001$), mais pas d'interaction significative classe x condition ($F < 1$). Les analyses post-hoc révèlent une différence significative uniquement entre les performances en CP et en CM2. D'autre part, les performances à la condition similitude labiale mixte sont significativement inférieures à celles des conditions première syllabe et différente.

▪ *Jugement de phonème commun*

Le tableau I.2.2c présente les performances des enfants des différentes classes en fonction des conditions.

Tableau I.2.2c Performances moyennes (en %) et écart-type à l'épreuve de jugement du phonème commun pour les différentes classes en fonction des conditions (les conditions en gris et italique n'ont pas été incluses dans les analyses en raison de performances non différentes du hasard). La moyenne ne tient compte que des conditions incluses dans les analyses.

Conditions	CP		CE1		CE2		CM1		CM2	
	M	E-T	M	E-T	M	E-T	M	E-T	M	E-T
<i>1^{er} orthographe identique (e.g. chat-chaise)</i>	82	20,2	52,6	35,5	42,6	25,1	52,6	27,9	56,3	29,1
<i>1^{er} orthographe différente (e.g. phoque-feu)</i>	78,4	30,7	82,1	27	81,5	23,5	94,7	12,5	91,7	19,3
<i>Mixte orthographe identique (e.g. botte-cube)</i>	52,3	27,8	83,3	21	77,8	20,8	77,6	23,4	93,8	11,2
<i>Mixte orthographe différente (e.g. jambe-luge)</i>	60,4	34,1	44,9	31,2	50	30,8	63,2	27	52,1	27,1
<i>Différente (e.g. lion-verre)</i>	89,2	17,2	82,7	23,2	74,1	31,4	70,2	29,2	77,1	35,9
<i>Similitude labiale 1^{er} (e.g. nid-tasse)</i>	77	27,3	84,6	22,4	72,2	22,5	75	30,1	92,2	12
<i>Similitude labiale mixte (e.g. doigt-canne)</i>	79,7	23,5	88,5	20,3	94,4	10,7	85,5	19,2	93,8	19,4
Moyenne	81,1	16,3	84,5	13,2	80,6	12,7	81,4	11,4	88,7	15,3

Les performances aux conditions premier phonème orthographe identique en CE1, CE2, CM1 et CM2, mixte orthographe identique en CP et mixte orthographe différente en CP, CE1, CE2 et CM2 ne sont pas significativement différentes du hasard.

L'ANOVA réalisée avec le facteur inter-sujet classe et le facteur intra-sujet condition (premier phonème orthographe différente, différente, similitude labiale sur le premier phonème et similitude labiale mixte) révèle un effet significatif des facteurs classe ($F(4,111) = 4.45$, $p < .01$) et condition ($F(3,333) = 5.52$, $p < .01$), ainsi qu'une interaction classe x condition significative ($F(12,333) = 4.74$, $p < .00001$). Les analyses post-hoc montrent uniquement des performances significativement supérieures en CM2 par rapport au CP et au CM1. Les performances à la condition similitude labiale sur le premier phonème sont significativement plus faibles que celles obtenues aux conditions similitude labiale mixte et premier phonème orthographe différente, elles-mêmes significativement inférieures à la condition différente. L'analyse de l'interaction indique que les performances obtenues à la condition similitude labiale sur le premier phonème en CP sont significativement inférieures à celles obtenues aux autres conditions en CP et aux mêmes items en CE1 et en CM2.

L'analyse visant à établir un effet de la taille de l'unité sur les performances a été effectuée en utilisant les performances moyennes aux trois épreuves de détection (Figure I.2.1).

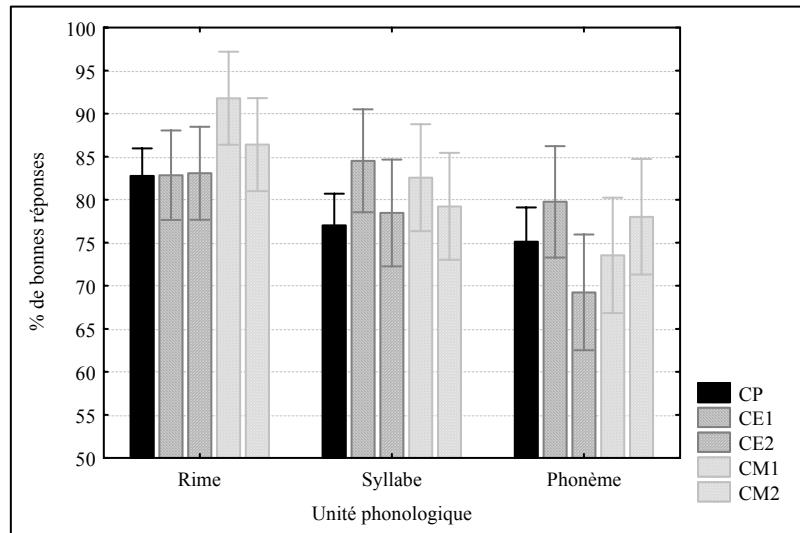


Figure I.2.1 : Performances moyennes (en %) à l'épreuve de conscience phonologique pour les différentes sessions en fonction de l'unité phonologique (les barres d'erreurs correspondent à la déviation standard)

L'ANOVA réalisée avec le facteur inter-sujet classe et le facteur intra-sujet type d'unité (rime, syllabe, phonème) révèle un effet significatif de la taille de l'unité ($F(2,170) = 24.85, p < .0001$) et une interaction significative classe x taille de l'unité ($F(8,170) = 1.99, p < .05$), mais pas d'effet principal de la classe ($F(4,85) = 1.49, ns$). Les analyses post-hoc montrent des performances significativement supérieures pour la rime par rapport à celles obtenues pour la syllabe, elles-mêmes supérieures à celles obtenues pour le phonème. L'analyse de l'interaction indique cependant que la supériorité des performances pour la rime par rapport à celles obtenues pour la syllabe et le phonème n'est significative qu'en CE2 et en CM1.

- Suppression du phonème initial

Le tableau I.2.2d présente les performances des enfants des différentes classes en fonction des conditions.

Tableau I.2.2d Performances moyennes (en %) et écart-type à l'épreuve de suppression du phonème initial pour les différentes classes en fonction des conditions.

Conditions	CP		CE1		CE2		CM1		CM2	
	M	E-T	M	E-T	M	E-T	M	E-T	M	E-T
Suppression (<i>e.g. doigt-oie</i>)	90,4	13,3	79,9	26,2	67,7	29,2	95,5	14,7	92,7	12,1
Différente (<i>e.g. fraise-chien</i>)	89,2	17,4	83,6	23,5	88,7	21,8	63,6	32,8	66,7	30,4
Rime commune (<i>e.g. loup-roue</i>)	45,1	23,8	93,1	17,8	98,5	4,4	92,1	22,8	92,7	12,5

Les performances à la condition rime commune en CP et différente en CM1 ne sont pas significativement différentes du hasard. Les performances obtenues pour la condition rime commune (*e.g. loup-roue*) en CE2 et pour la condition suppression en CM1 étant plafond, l'analyse par condition n'a pas été réalisée.

- **Mémoire phonologique**

- Reconnaissance de non-mots

La longueur 5 items pour la liste cible n'ayant pas été présentée en CP, les performances à cette condition n'ont pas été analysées (Figure I.2.2).

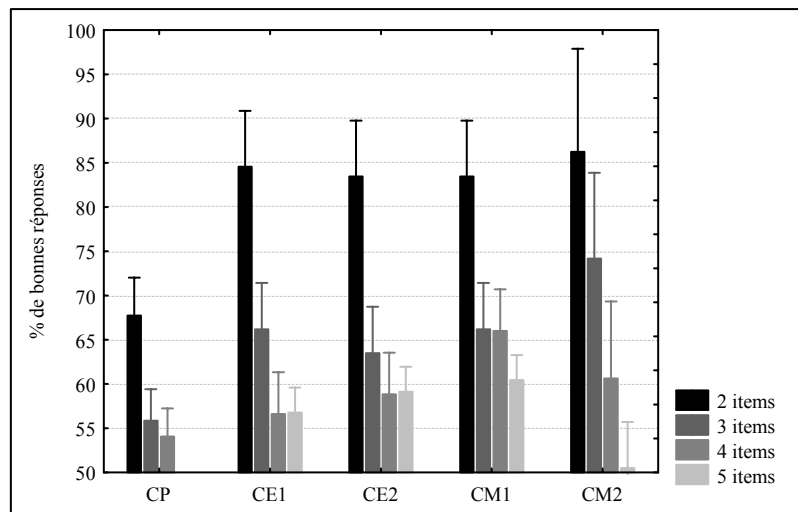


Figure I.2.2 : Performances moyennes (en %) à l'épreuve de reconnaissance de non-mots pour les différentes classes en fonction de la longueur des listes (les barres d'erreurs correspondent à la déviation standard)

L'ANOVA réalisée avec le facteur inter-sujet classe et le facteur intra-sujet longueur de la liste met en évidence un effet significatif de la classe ($F(4,10) = 16.02$, $p < .00001$), de la longueur de la liste ($F(2,200) = 92.86$, $p < .00001$) et une interaction significative classe x longueur de la liste ($F(8,200) = 2.23$, $p < .05$). Les analyses post-hoc révèlent des performances au CP significativement inférieures à celles des autres classes, non différentes entre elles. Néanmoins, l'analyse de l'interaction montre que si les performances obtenues en CP pour la longueur 2 sont significativement inférieures à celles observées dans toutes les autres classes, les performances observées en CP pour la longueur 3 sont inférieures uniquement à celles observées en CM2. Quant aux performances obtenues pour la longueur 4, elles ne diffèrent pas significativement d'une classe à l'autre. D'autre part, quelle que soit la classe, les performances à la longueur 2 items sont supérieures aux performances observées aux longueurs 3 et 4 items. Les performances à la longueur 3 items ne se différencient des performances à la longueur 4 items que pour le CE1.

○ Reconnaissance de l'ordre sériel de chiffres

La liste de longueur 2 n'a été administrée qu'en CP, à l'inverse des listes de longueur 5 et 6 items qui n'ont pas été administrés en CP (Tableau I.2.3).

Tableau I.2.3 Performances moyennes (en %) et écart-type à l'épreuve de reconnaissance de non-mots pour les différentes classes en fonction de la longueur des listes.

Longueur	CP		CE1		CE2		CM1		CM2	
	M	E-T	M	E-T	M	E-T	M	E-T	M	E-T
2 items	86,3	19,5	-	-	-	-	-	-	-	-
3 items	88,2	19,9	85,7	21,9	90,6	17,2	94,8	13,2	96,7	6,9
4 items	75,5	21,8	72,2	23,2	83,3	16,1	81,2	24,3	84,4	18,3
5 items	-	-	65,1	21	64,6	22,7	72,9	22,7	78,9	15,4
6 items	-	-	60,4	15,4	59,4	14,9	62,5	22,4	67,9	16,6

Les performances obtenues en CM2 pour les listes de 3 items étant plafond, les analyses incluant les 5 classes n'ont été réalisées que sur les longueurs de 4 items. L'ANOVA réalisée avec le facteur inter-sujet classe ne montre aucun effet significatif ($F(4,100) = 1.47$, ns).

Nous avons réalisé une seconde analyse n'incluant pas le CP afin d'étudier la mémoire sérielle de l'ordre chez les enfants du CE1 au CM2 en incluant les longueurs 4, 5 et 6 items. L'ANOVA réalisée avec le facteur inter-sujet classe et le facteur intra-sujet longueur de la liste met en évidence un effet significatif de la longueur des listes ($F(2,126) = 15.37$, $p < .00001$) mais pas d'effet significatif de la classe ($F(3,63) = 2.02$, ns), ni d'interaction

significative classe x longueur des listes ($F < 1$). Les analyses post-hoc révèlent une diminution significative des performances entre chaque longueur.

- **Compétences lexicales et lecture**

- Vocabulaire

- *EVIP*

Le tableau I.2.4 présente les performances des enfants des différentes classes.

Tableau I.2.4 Score moyen et écart-type à l'EVIP pour les différentes classes.

	CP		CE1		CE2		CM1		CM2	
	M	E-T	M	E-T	M	E-T	M	E-T	M	E-T
Score brut	86,3	14,9	104,7	13,1	115,7	13,1	122,4	14	127,5	11,6

L'ANOVA a été effectuée à partir des scores bruts, c'est-à-dire du nombre d'items correctement identifiés. L'analyse réalisée avec le facteur inter-sujet classe montre un effet principal significatif ($F(4,120) = 42.23$, $p < .00001$). Les analyses post-hoc indiquent que les performances observées en CP sont significativement inférieures à celles observées en CE1, elles-mêmes significativement inférieures à celles observées en CE2, CM1 et CM2. Les performances obtenues en CE2 sont significativement inférieures à celles obtenues en CM2.

- *Dénomination*

Le tableau I.2.5 présente les performances des enfants des différentes classes.

Tableau I.2.5 Performances moyennes et écart-type (en %) à l'épreuve dénomination pour les différentes classes.

	CP		CE1		CE2		CM1		CM2	
	M	E-T	M	E-T	M	E-T	M	E-T	M	E-T
Mots fréquents	87,6	6,5	81,9	5,6	87	6,5	87,5	4,9	89,6	2,8
Mots rares	40,4	14,9	32,8	14,8	38,5	17,5	44,5	15,1	46,1	7,6
Moyenne	71,7	7,8	57,3	9,4	62,8	9,4	66	9,3	67,9	4,2

L'ANOVA réalisée avec le facteur inter-sujet classe et le facteur intra-sujet fréquence lexicale montre un effet significatif de la classe ($F(4,117) = 4.6$, $p < .01$) et de la fréquence lexicale ($F(1,117) = 1354.2$, $p < .00001$) mais pas d'interaction significative classe x fréquence lexicale ($F < 1$). Les analyses post-hoc révèlent une infériorité significative des performances obtenues en CE1 comparativement à celles obtenues à tous les autres niveaux, non différentes entre elles

- Lecture

- *Alouette*

Le tableau I.2.6 présente les performances des enfants des différentes classes.

Tableau I.2.6 Nombre moyen, et écart-type, de mots correctement lus à l'Alouette pour les différentes classes.

	CP		CE1		CE2		CM1		CM2	
	M	E-T	M	E-T	M	E-T	M	E-T	M	E-T
Nombre de mots corrects	58,7	36,7	127	64,1	106,5	38,5	238,3	35,4	240,8	41,7
Age de lecture (année;mois)	6;7	0;11	7;8	0;11	8;1	0;11	9	0;8	9;5	1;9

L'ANOVA réalisée sur le nombre de mots correctement lus avec le facteur inter-sujet classe montre un effet principal significatif ($F(4,120) = 44.12, p < .00001$). Les analyses post-hoc révèlent des performances au CP significativement inférieures à celles obtenues dans toutes les autres classes. Les performances obtenues dans les cours élémentaires 1 et 2 sont significativement inférieures à celles obtenues dans les cours moyens 1 et 2.

- *Khomsi*

Le tableau I.2.7 présente les performances des enfants des différentes classes en fonction des conditions.

Tableau I.2.7 Performances moyennes (en %) et écart-type à l'épreuve du Khomsi pour les différentes classes en fonction des conditions.

Conditions	CP		CE1		CE2		CM1		CM2	
	M	E-T	M	E-T	M	E-T	M	E-T	M	E-T
Correcte	83,8	15,9	95,4	6,7	95	6,3	97,6	4,2	98,2	3,8
Paralexie sémantique (e.g. <i>glace - tarte</i>)	89,4	8,9	82,9	10,1	86,7	5,2	75,8	11,2	75,8	10,2
Paralexie littérale (e.g. <i>pint - pont</i>)	61,8	25,4	75	24,7	76,7	13,7	95,8	6,1	95,3	9,6
Homophone (e.g. <i>châto</i>)	24,4	21,5	33,9	31,7	38,3	34,3	65,3	24,6	71,6	24,6

Les performances à la condition homophone en CP, CE1 et CE2 ne sont pas significativement supérieures au hasard. Les performances obtenues à la condition correcte en CE1, CM1 et CM2, et à la condition paralexie littérale en CM1 et CM2 étant plafond, nous n'avons pas procédé à l'analyse par condition de cette épreuve.

L'ANOVA réalisée à partir du facteur inter-sujet classe montre un effet principal significatif ($F(4,122) = 23.96, p < .00001$). Les analyses post-hoc révèlent une infériorité significative des performances obtenues en CP comparativement à celles obtenues dans

toutes les autres classes. Les performances obtenues dans les cours élémentaires 1 et 2 sont significativement inférieures à celles obtenues dans les cours moyens 1 et 2.

Synthèse des principaux résultats des analyses inférentielles de l'étude transversale

Les analyses inférentielles mettent en évidence :

1. une différence des performances aux épreuves de discrimination phonologique, de reconnaissance des non-mots et de vocabulaire réceptif entre le CP et les autres niveaux scolaires. Hormis pour l'épreuve de vocabulaire réceptif, il n'existe pas de différence entre les 4 autres niveaux scolaires ;
2. de faibles différences dans les performances à l'épreuve de conscience phonologique ;
3. une absence de différences à l'épreuve de reconnaissance de l'ordre sériel entre les performances observées aux différents niveaux scolaires ;
4. enfin, une augmentation de l'efficacité en lecture entre le CP et le CE1 puis entre le CE2 et le CM1.

Chapitre 3 : Discussion

L'objectif de ces deux études était, d'une part, de préciser le développement de différents niveaux de traitement phonologique, de la discrimination perceptive jusqu'aux différents aspects de la mémoire phonologique, lors de la première année d'enseignement de la lecture et dans les 4 autres années de scolarisation en école primaire. L'étude longitudinale visait aussi à déterminer l'influence respective de ces différents niveaux de traitement sur l'apprentissage précoce de la lecture.

1. Développement des différents niveaux de traitement phonologique

De manière générale, l'efficacité des enfants dans les différents niveaux de traitement phonologique étudiés dans notre recherche augmente entre la grande section de maternelle et la fin de la première année d'apprentissage de la lecture avant de se stabiliser à partir de la deuxième année de scolarisation du primaire (CE1). Ce premier constat tend à confirmer le rôle décisif de l'enseignement des règles de correspondance grapho-phonologique sur le développement des différentes habiletés phonologiques (Duncan et al., 1997; Gombert, 1990b).

Au-delà de cette première observation générale, il convient d'analyser et d'interpréter plus finement en fonction des différentes habiletés.

- **Les habiletés précoces de discrimination phonologique**

Concernant l'augmentation des habiletés précoces de discrimination phonologique, elle paraît varier en fonction des traits articulatoires. Ainsi, le mode d'articulation a une incidence sur les habiletés de discrimination avec une discrimination plus précoce des fricatives et des liquides/nasales par rapport aux occlusives. D'autre part, la distinction du lieu d'articulation est plus précoce que la discrimination du voisement. Les différences observées au niveau des habiletés de discrimination en fonction des traits phonétiques étudiés nous semblent pouvoir être expliquées par différents facteurs, et notamment la complexité des gestes articulatoires mis en jeu dans la réalisation de ces traits phonétiques. Selon la théorie motrice de la parole, la perception du langage et des phonèmes se développe sur la base des représentations de gestes articulatoires invariants (Liberman et al., 1967; Liberman & Mattingly, 1985; Locke, 1997; Locke, Bekken, McMinn-Larson, & Wein, 1995). Nous pouvons donc supposer que deux phonèmes ayant des lieux d'articulation distincts (e.g. /p/ /d/) auront des représentations articulatoires très différentes et seront plus faciles à distinguer que deux phonèmes se différenciant uniquement par la vibration des cordes vocales (e.g. /b/ /p/). Les percepts auditifs et les gestes articulatoires ne présentent

cependant pas de correspondance un à un à cause du phénomène de co-articulation. Résultat du chevauchement de plusieurs gestes articulatoires invariants, la co-articulation peut donner lieu à des percepts auditifs différents (Liberman & Mattingly, 1985) et pourrait contribuer à expliquer les performances inférieures obtenues pour la discrimination des consonnes au sein d'un cluster consonantique par rapport à la discrimination des consonnes isolées.

Cette hypothèse sur l'influence des représentations articulatoires pourrait également rendre compte de certains résultats observés aux épreuves de conscience phonologiques. Par exemple, les enfants ont tendance à juger comme identiques des phonèmes ou des syllabes présentant une similarité labiale (e.g. nid-tasse ; poussette-mouton). Le fait que ces conditions soient particulièrement échouées par les enfants les plus jeunes, puis progressivement mieux réussies, notamment à partir de la fin du CP, nous indique cependant que cette influence diminuerait progressivement, probablement en lien avec le développement de représentations plus abstraites de l'unité phonémique. Ce développement serait influencé par l'enseignement des CGP qui compléterait les représentations phonémiques acoustiques et articulatoires en les mettant en relation avec une représentation visuelle, graphémique.

- **La conscience phonologique**

Les données recueillies aux épreuves de conscience phonologique sont congruentes avec le développement d'une conscience phonologique de surface vers une conscience plus profonde (Anthony & Lonigan, 2004). La supériorité du jugement de la rime commune par rapport au jugement du phonème commun observée pour la majorité des niveaux scolaires étudiés lors de notre étude transversale confirme le développement de la conscience phonologique caractérisé par un affinement de la taille des unités (Anthony & Lonigan, 2004; Ziegler & Goswami, 2005). Cependant, la supériorité des performances pour la rime par rapport à la syllabe va à l'encontre de l'hypothèse d'une acquisition première de la conscience syllabique lors du développement (Ziegler & Goswami, 2005). Ce résultat pourrait être lié à la structure intonative du français, caractérisée par l'allongement du segment final du mot (Ladefoged, 1958). Cette particularité rend la rime particulièrement saillante en français et pourrait expliquer les différences trouvées avec les études menées en anglais ou en allemand où la syllabe apparaît comme l'unité la plus facile à détecter pour les enfants (Naslund & Schneider, 1996; Ziegler & Goswami, 2005).

Par ailleurs – et toujours en accord avec les données de la littérature, la position dans le mot de l'unité commune (quelle qu'elle soit) paraît influencer les performances des enfants (Hulme et al., 2002). Ainsi, le jugement de la syllabe ou du phonème commun s'avère mieux

réussi lorsque ces unités sont placées en début de mot mais largement échoué lorsque les unités communes sont positionnées à des endroits différents dans les deux mots à comparer (e.g. tomate-moto). La difficulté accrue dans cette dernière condition serait liée à la nécessité d'une analyse segmentale plus détaillée et plus coûteuse cognitivement, alors que le jugement de l'unité commune placée en première position pourrait être pour sa part réalisée à partir de la saillance perceptive supérieure du premier segment du mot (Hulme, 2002).

De même, la présence d'une voyelle ou d'une rime commune paraît biaiser le jugement de l'enfant. Ainsi, jusqu'à la fin du CP, les enfants considèrent à tort que deux mots riment quand ils ne partagent qu'une voyelle (e.g. vache-table) et que le deuxième mot équivaut au premier amputé de son premier phonème quand ces mots riment (e.g. loup-roue). Ce résultat est à relier avec la saillance du noyau vocalique et de la rime sur laquelle les enfants vont, à tort, fonder leur jugement (Hulme, 2002). Au final, les enfants, surtout les plus jeunes, vont s'appuyer sur des informations perceptives saillantes, ce qui les conduit à commettre un certain nombre d'erreurs dans les épreuves exigeant une analyse segmentale de la structure des mots.

- **Les différentes composantes de la mémoire phonologique**

Les différentes composantes de la mémoire phonologique – capacité de la boucle phonologique ou mémoire de l'item, influence des représentations phonologiques en MLT, mémoire de l'ordre – se développent durant le CP. Par exemple, l'effet de longueur, qui évalue la capacité de la boucle phonologique par la diminution des performances de rappel avec l'augmentation de la longueur des listes, diminue entre la grande section de maternelle et le CP puis entre le CP et les autres niveaux scolaires traduisant ainsi une augmentation de la capacité de mémoire. L'augmentation des performances de rappel à partir de la fin du CP serait liée, entre autres, à la mise en place d'une répétition subvocale efficiente et classiquement observée aux alentours de 7 ans (Baddeley et al., 1998; Gathercole, 1998)

L'étude de l'influence des connaissances à long terme sur les performances en MCT constituait une des originalités de notre étude. La comparaison des performances de rappel de mots et de non-mots de même fréquence phonotactique nous a permis de mettre en évidence un effet de lexicalité avant et à la fin de la première année d'apprentissage de la lecture. L'observation d'un effet de lexicalité témoigne de l'influence des connaissances phonologiques lexicales sur les performances en MCT au cours de cette période, avant la mise en œuvre d'une répétition subvocale efficiente (cf. *infra*). De plus, l'augmentation du rappel de non-mots observée entre la grande section de maternelle et le CP nous paraît indiquer une augmentation des connaissances phonologiques sublexicales en MLT.

L'observation d'une amélioration plus marquée au cours de cette période pour la répétition des non-mots de fréquence phonotactique faible comparativement à la répétition de non-mots de fréquence phonotactique élevé nous semble également aller dans le sens d'une augmentation et d'un affinement des représentations phonologiques sublexicales en MLT. La diminution de l'effet de fréquence phonotactique ainsi mis en évidence est en accord avec les résultats de Munson et al. (2005) et paraît refléter non seulement un affinement des représentations phonologiques sublexicales stockées en MLT mais aussi une influence accrue sur les performances en MCT.

Il est intéressant de souligner que la progression de la répétition de non-mots de fréquence phonotactique faible est particulièrement marquée pour les items bisyllabiques, ce qui suggère une relation entre l'influence des connaissances phonologiques en MLT et la capacité en MCT. D'après le modèle révisé de la mémoire de travail de Baddeley (2000), nous pouvons supposer que cette interaction interviendrait au niveau du buffer épisodique, responsable de l'intégration des informations de la boucle phonologique et de la mémoire à long terme (Baddeley, 2000).

En ce qui concerne la mémoire de l'ordre, l'observation d'une augmentation des performances à la reconnaissance de l'ordre sériel entre la grande section de maternelle et la fin du CP est congruente avec les résultats de Majerus *et al.* (2006) ayant déjà souligné une augmentation de cette composante de la mémoire phonologique entre 4 et 6 ans. Au-delà de l'accroissement développemental, l'augmentation de la mémoire de l'ordre pourrait être influencée par l'apprentissage de la lecture. En effet, durant le décodage, le lecteur débutant doit maintenir en mémoire une séquence ordonnée de phonèmes résultant des conversions grapho-phonémiques. L'entraînement intensif au décodage durant la première année d'enseignement formel de la lecture pourrait donc avoir, indirectement, amélioré la capacité de la mémoire de l'ordre. Le développement de la mémoire de l'ordre, en facilitant le stockage des séquences de phonèmes décodés, favoriserait à son tour la lecture de mots de plus en plus longs.

Au final, l'augmentation de la mémoire phonologique semble donc dépendre de l'augmentation de la capacité de la boucle phonologique, de l'affinement des représentations phonologiques en MLT et de l'augmentation de leur influence sur les performances en MCT ainsi que du développement de la mémoire de l'ordre. L'existence d'inter-relations entre ces trois composantes paraît étayer par la mise en évidence de corrélations significatives. L'observation de corrélations plus élevées entre les performances au rappel sériel immédiat d'une part et à la répétition de non-mots d'autre part confirme que les épreuves de rappel sériel évaluent simultanément la mémoire de l'item et la mémoire de l'ordre (Majerus,

Poncellet, Elsen et al., 2006). L'existence de corrélations entre les épreuves de reconnaissance de l'ordre et de répétition de non-mots semble aller à l'encontre de l'hypothèse de deux systèmes distincts en charge de la mémoire de l'ordre et de l'item (Burgess & Hitch, 1999; Majerus, Poncellet, Elsen et al., 2006). Selon le modèle de Gupta et MacWhinney (1997), cette relation pourrait s'expliquer par la médiation des connaissances phonologiques en mémoire à long terme (Gupta & MacWhinney, 1997). La mémoire de l'ordre contribue au développement des représentations phonologiques en mémoire à long terme, lesquelles influencent, comme nous l'avons montré précédemment, les performances de répétition de non-mots.

2. Relations entre les différents niveaux de traitement phonologique

• La conscience et la mémoire phonologique, deux habiletés distinctes mais liées par un processus commun, la discrimination phonologique

Dans l'état des connaissances, nous avons rappelé les trois hypothèses émises concernant les relations entre conscience phonologique et mémoire phonologique. Nos résultats s'avèrent congruents avec l'hypothèse avancée par De Jong (1999) selon laquelle conscience phonologique et mémoire phonologique seraient deux processus distincts mais sous-tendus par une habileté sous-jacente commune. Ainsi, la conscience phonologique renvoie à la capacité de l'enfant à réaliser une analyse segmentale de la parole et la mémoire phonologique renvoie quant à elle à la capacité de stockage de l'information phonologique sous influence de l'utilisation de la boucle phonologique et des connaissances phonologiques stockées en MLT.

L'observation de corrélations entre les performances aux différentes épreuves de conscience phonologique et de mémoire phonologique reflète l'existence d'une habileté sous-jacente commune. L'observation de corrélations relativement faibles en GSM mais plus nombreuses en CP indiquerait que cette habileté commune deviendrait de plus en plus importante. Les études précédentes avaient cependant mis en évidence un développement inverse de cette relation, les habiletés de conscience et de mémoire phonologique se différenciant progressivement durant les deux premières années de scolarisation (De Jong & Van der Leij, 1999; Rohl & Pratt, 1995; Wagner et al., 1993). Cette divergence des résultats nous semble pouvoir être une conséquence de l'utilisation importante de la saillance perceptive et des représentations articulatoires dans nos épreuves de conscience phonologique en GSM. Le recours à ces stratégies limiterait l'influence de l'habileté sous-jacente commune, expliquant ainsi les faibles corrélations entre la conscience et la mémoire phonologiques relevées à cette session.

Les habiletés de discrimination phonologique nous semblent pouvoir constituer une habileté sous-jacente impliquée à la fois dans l'analyse segmentale de la parole et dans le

stockage de l'information phonologique en mémoire. Allant dans ce sens, nous avons mis en évidence des corrélations entre les performances à l'épreuve de discrimination phonologique et celles observées aux épreuves de conscience phonologique d'une part et de mémoire phonologique d'autre part. Ainsi, la relation entre conscience phonologique et mémoire phonologique paraît médiatisée par les capacités de codage phonologique précoce.

- **Relations entre les différents niveaux de traitement phonologique et les compétences lexicales et alphabétiques**

Nos résultats indiquent que le vocabulaire augmente durant les premières années de scolarisation, particulièrement pour la connaissance des mots rares. En accord avec les nombreuses études suggérant une relation causale entre la mémoire de l'item et de l'ordre et l'augmentation du stock lexical (pour exemple voir : Gathercole et al., 1999; Gupta, 2003; Majerus, Poncelet, Greffe et al., 2006), nous pouvons mettre cette progression en relation avec le développement marqué de ces deux composantes de mémoire phonologique durant le CP. L'existence de corrélations entre les deux épreuves de vocabulaire et les épreuves de reconnaissance de l'ordre sériel et de répétition de non-mots appuie cette interprétation. Par ailleurs, les fortes corrélations entre le vocabulaire et la conscience et la mémoire phonologiques corroborent l'influence du vocabulaire sur le développement de ces compétences phonologiques (Gathercole & Adams, 1994; Goswami, 1999). Cette influence pourrait être liée à l'augmentation des représentations phonologiques en mémoire à long terme. L'augmentation du vocabulaire contribue à l'augmentation et à l'affinement des représentations phonologiques en MLT, à la fois au niveau lexical et au niveau sublexical, représentations qui, comme nous l'avons vu, influencent les performances en MCT (Gathercole & Adams, 1994; Harm & Seidenberg, 1999; Ziegler & Goswami, 2005).

En ce qui concerne la connaissance des lettres, lors de l'évaluation en début de CP, les enfants connaissaient en moyenne le nom de 20 lettres et le son de 15, tandis qu'en fin de CP, les noms et sons de 22 des 26 lettres de l'alphabet étaient maîtrisés, ce qui tend à confirmer que la maîtrise du son des lettres fait suite à la maîtrise du nom des lettres (Evans et al., 2006; Foorman et al., 2002; Levin et al., 2006; Share, 2004; Treiman et al., 1996). Les résultats des analyses de corrélations confirment, quant à eux, l'existence d'une relation précoce entre connaissance des lettres et conscience phonologique et la diminution de cette relation durant le CP, probablement en lien avec l'apprentissage de la lecture (Lonigan et al., 2000). Ces analyses suggèrent également une relation entre la connaissance des lettres et la discrimination phonologique chez le prélecteur, ainsi qu'une influence de la connaissance des lettres sur le développement ultérieur de la mémoire. Cette influence paraît en contradiction avec l'indépendance des compétences de connaissance des lettres et de mémoire phonologique mise en évidence De Jong *et al.* (1999, 2004) et pourrait, en fait, être

indirecte. La connaissance des lettres serait liée au développement des représentations phonémiques en MLT, lesquelles influencent les performances aux épreuves de MCT faisant appel à des non-mots.

3. Influence précoce de la conscience phonologique et influence ultérieure de la mémoire phonologique sur les habiletés de lecture

En accord avec nos prédictions, l'augmentation des performances au test de décodage de l'Alouette entre le début et la fin du CP reflète l'intégration progressive des règles de correspondances grapho-phonologiques. Par ailleurs, l'observation d'un échec important jusqu'au CM1 pour les mots homophones (e.g. un téléphone) au test de reconnaissance de mots de Khomsi indique que les enfants ne disposeraient de représentations orthographiques stables qu'à partir de la quatrième année de scolarisation en primaire et/ou utiliseraient encore de manière importante la procédure phonologique (ce qui les conduirait ainsi à accepter des mots mal orthographiés mais respectant la prononciation correcte du mot). Nos résultats sont congruents avec la conclusion, désormais bien établie, de la mise en place d'une procédure phonologique reposant sur l'intégration progressive des règles de correspondance grapho-phonologique puis d'une procédure orthographique reposant pour sa part sur l'accès direct aux représentations orthographiques du mot stocké dans le lexique mental (Ehri, 1995; Frith, 1985).

Au-delà de l'étude du développement des capacités d'identification et de reconnaissance de mots, nous souhaitons étudier la contribution spécifique des différentes habiletés de traitement phonologique. Les résultats des analyses de corrélations réalisées à partir des données recueillies lors de l'étude longitudinale sont congruents avec les conclusions largement avérées du rôle de la conscience phonologique et de la mémoire phonologique lors de l'apprentissage de la lecture (voir par exemple : Leather & Henry, 1994; Passenger et al., 2000; Wagner et al., 1997). Le suivi longitudinal adopté dans notre étude nous permet d'aller au-delà en précisant le moment où chacune de ces habiletés exerce l'influence la plus importante. Ainsi, si la conscience phonologique précoce, mesurée en grande section de maternelle, paraît avoir une influence spécifique sur les capacités en lecture évaluées lors de la 1^e année d'apprentissage, il est intéressant de souligner que son influence diminue par la suite au profit d'une contribution prédominante de la mémoire phonologique. Ce patron développemental met en exergue l'importance des capacités d'analyse segmentale de la parole dans la mise en place des règles de correspondance grapho-phonologique, importance qui tend à diminuer par la suite avec l'automatisation des procédures de lecture (Bosman & de Groot, 1996; Schatschneider et al., 2004; Swanson & Alexander, 1997). La diminution de l'influence de la conscience phonologique avait déjà été soulignée par De Jong (1999).

Par ailleurs, contrairement à la majorité des études précédentes (voir par exemple : De Jong & Van der Leij, 1999; Naslund & Schneider, 1996; Wagner et al., 1997), nos résultats mettent en évidence la contribution spécifique et indépendante de la mémoire phonologique. L'émergence en fin de CP d'une contribution de la mémoire phonologique indépendante de la contribution de la conscience phonologique réplique, en revanche, les données de Rohl et Pratt (1995) et appuie le modèle de Dufva *et al.* (2001) qui suggère une contribution plus tardive de la mémoire phonologique, après les premiers stades d'apprentissage de la lecture. Notre étude montre, de plus, que les différentes composantes de la mémoire phonologique présentent des contributions distinctes à la lecture. Alors que la reconnaissance de l'ordre sériel contribue au développement des habiletés de décodage, le rappel sériel immédiat contribue aux habiletés de reconnaissance des mots. L'influence de la mémoire de l'ordre sur le décodage est probablement inhérente à l'utilisation du processus de conversion grapho-phonémique. En effet, comme nous l'avons indiqué précédemment, le transcodage lettre-son nécessite le maintien en MCT d'une séquence ordonnée de phonèmes et implique donc un codage de l'ordre. Quant à l'épreuve de rappel sériel immédiat, sa contribution à la reconnaissance des mots est indépendante de celle la reconnaissance de l'ordre sériel, ce qui suggère qu'elle est liée à une influence des connaissances phonologiques en mémoire à long terme, seule composante spécifique de cette épreuve. Cette contribution pourrait intervenir à l'étape suivant le transcodage grapho-phonémique, lors de l'identification du mot par la mise en relation de la séquence de phonèmes avec les représentations phonologiques lexicales et sublexicales en MLT.

Les trois niveaux de traitement phonologique que nous avons étudiés, la discrimination, la conscience et la mémoire phonologique, se développent de manière importante durant le CP, probablement en lien avec l'enseignement explicite des règles de conversions grapho-phonologique. La conscience et la mémoire phonologique semblent constituer deux habiletés distinctes liées par un processus sous-jacent commun et la contribution de la mémoire phonologique paraît supplanter, en fin de CP, la contribution précoce de la conscience phonologique aux compétences en lecture. Les premières étapes de l'acquisition de la lecture impliqueraient principalement, dans un premier temps, une conscience accrue de la structure phonologique de la langue et, dans un deuxième temps, des capacités de mémorisation de l'information phonologique. De plus, alors que les trois composantes de la mémoire phonologique étudiées semblent fortement liées, la mémoire de l'ordre présente une contribution spécifique au décodage et les connaissances phonologiques en mémoire à long terme à la reconnaissance de mots.

PARTIE II :

Déficits phonologiques à l'origine du trouble de la lecture dans
la dyslexie développementale et la dysphasie

Chapitre 1 : Etat des connaissances

Dans cette deuxième partie, nous allons aborder la question des déficits phonologiques à l'origine des troubles de la lecture caractéristiques de la dyslexie développementale et de nombreux cas de dysphasie. Selon la théorie phonologique de la dyslexie, le déficit de lecture serait la conséquence d'un trouble des capacités phonologiques. Nous avons vu dans la première partie de notre travail chez l'enfant normo-lecteur que bien que la conscience phonologique soit un élément central dans l'apprentissage de la lecture, d'autres processus phonologiques, tels que la discrimination phonologique et les différents composants de la mémoire phonologique, influencent également cet apprentissage. Nous allons donc approfondir la question titre d'une récente revue : « *What phonological deficit ?* » (« Quel déficit phonologique ? ») (Ramus & Szenkovits, 2008). Dans la perspective de la comparaison des déficits phonologiques à l'origine des troubles de la lecture dans la dyslexie et la dysphasie, nous présenterons, pour chaque niveau de traitement phonologique étudié l'état actuel des connaissances concernant la dyslexie puis la dysphasie. Nous finirons ce chapitre par une présentation des résultats des quelques études ayant directement comparé les déficits phonologiques de ces deux populations.

1. Les troubles du langage oral

1.1. *Les difficultés de perception de la parole dans la dyslexie développementale*

Le déficit de perception de la parole des dyslexiques a été étudié dans le cadre des théories du déficit de traitement rapide de l'information auditive et de la perception catégorielle de la parole (Richardson et al., 2004; Serniclaes & Sprenger-Charolles, 2003; Serniclaes et al., 2001; Serniclaes et al., 2004; Tallal et al., 1998). Il s'agirait d'un déficit spécifique au langage, lié à un trouble de l'utilisation des indices phonétiques (Serniclaes et al., 2001). Certaines études ont montré que les dyslexiques ont des difficultés à distinguer des phonèmes proches, particulièrement dans le cas d'une transition rapide (De Martino, Espesser, Rey, & Habib, 2001; Harm & Seidenberg, 1999; Hurford & Sanders, 1990; Manis et al., 1997; Rey, De Martino, Espesser, & Habib, 2002). Ils auraient également tendance à percevoir deux variations du même phonème comme deux phonèmes distincts, c'est-à-dire qu'ils percevraient par exemple deux prononciations de la syllabe /ba/ comme étant deux syllabes différentes (Serniclaes et al., 2004). Le déficit de perception phonologique pourrait provoquer des troubles de la conscience phonologique, de la mémoire phonologique et des représentations phonologiques (Boada & Pennington, 2006; De Martino et al., 2001; Harm &

Seidenberg, 1999; Manis et al., 1997; Ramus, 2001, 2003; Rey et al., 2002; Richardson et al., 2004; Serniclaes et al., 2001; Serniclaes et al., 2004; Snowling, 1995). Cependant, bien que ce déficit ait été mis en évidence dans quelques études, il reste fortement controversé (Boada & Pennington, 2006; Mody, 2003; Mody, Studdert-Kennedy, & Brady, 1997; Pennington & Lefly, 2001). Différents auteurs ont suggéré qu'il s'agirait d'un déficit subtil, limité à des conditions bruitées et/ou à une partie des dyslexiques qui seraient en fait des dysphasiques (Harm & Seidenberg, 1999; Joanisse et al., 2000; Manis et al., 1997; Ramus, 2001; Richardson et al., 2004; Rosen & Manganari, 2001; Shankweiler & Crain, 1986). L'analyse des profils individuels révèle, en effet, que seul un tiers de l'échantillon évalué présente un trouble de la perception phonologique, même en milieu bruité (Boets, Wouters, van Wieringen, & Ghesquiere, 2007; Rosen & Manganari, 2001). De plus, l'augmentation de la perception catégorielle avec l'âge indique qu'il s'agirait plus d'un retard que d'une réelle déviance (Serniclaes et al., 2004). Signalons également que la majorité des études ayant mis en évidence un trouble de la perception de la parole a été conduite avec des syllabes en parole synthétique ou en parole naturelle mais artificiellement modifiée pour former un continuum (Boada & Pennington, 2006; Boets et al., 2007; Manis et al., 1997; Mody et al., 1997; Rosen & Manganari, 2001; Serniclaes et al., 2001; Serniclaes et al., 2004). La seule étude ayant testé la perception des enfants dyslexiques en utilisant de la parole naturelle n'a mis en évidence aucun déficit de cette capacité, même en condition bruitée (Snowling, Goulandris, Bowlby, & Howell, 1986). Le trouble de la perception phonologique ne semble donc pas être la cause des troubles phonologiques dans la dyslexie, il pourrait donc tout au plus constituer un facteur aggravant (Boets et al., 2007).

Sur le versant expressif de la parole, seules deux études portant sur des enfants « à risques » font état d'un déficit précoce de la parole (Pennington & Lefly, 2001; Snowling, Gallagher, & Frith, 2003)³. Parmi les enfants dont un parent au premier degré souffre de dyslexie, 25 % présenteraient un trouble de production précoce de la parole. Ce déficit n'apparaît cependant pas directement lié à la dyslexie et il pourrait s'expliquer par des difficultés dans l'accès aux mots et donc aux représentations phonologiques stockées en mémoire à long terme (Goswami, 2000).

1.2. Les troubles du langage oral dans la dysphasie

Le trouble du langage oral qui caractérise la dysphasie affecte les différents domaines du langage, phonologie, sémantique, syntaxe, grammaire...de manière précoce et

³ L'avantage principal des études des enfants à risque est de permettre l'évaluation précoce des enfants avant l'apparition de la dyslexie, par exemple dès l'âge de trois ans, et de comparer *a posteriori* leurs performances en fonction de la présence ou non de dyslexie.

d'autant plus persistante que plusieurs domaines du langage sont affectés (Aram et al., 1984; Bishop & Edmundson, 1987; van Weerdenburg, Verhoeven, & van Balkom, 2006). Durant le développement, les difficultés des dysphasiques sont de plus en plus spécifiques et ciblées principalement sur la phonologie et/ou la syntaxe (Billard et al., 1996; Scarborough & Dobrich, 1990). Sur le versant productif du langage, les phrases deviennent de plus en plus longues et intelligibles, elles sont mieux organisées grammaticalement et syntaxiquement (Bishop & Clarkson, 2003; Scarborough & Dobrich, 1990). Dans certains cas, les enfants dysphasiques parviennent à développer un niveau de langage productif dans la norme. Sur le versant réceptif, la sévérité des troubles diminue également mais les performances restent déficitaires dès lors que le trouble précoce du langage n'est pas résolu à 5 ans (Scarborough & Dobrich, 1990; Stothard et al., 1998). Le déficit de vocabulaire et les difficultés de segmentation du langage oral apparaissent comme les déficits les plus marqués et les plus persistants (Bishop & Clarkson, 2003; Scarborough & Dobrich, 1990; Stothard et al., 1998).

Le déficit de vocabulaire semble s'accroître entre 8 et 15 ans, probablement en relation avec les difficultés d'apprentissage de mots nouveaux rencontrés par les dysphasiques qui ont besoin de plus de temps et de plus d'essais que les enfants de même âge (Gray, 2004, 2006; Stothard et al., 1998). Cette capacité d'apprentissage réduite serait due à des connaissances sémantiques moins nombreuses et moins bien définies, comparables à celles d'enfants plus jeunes (McGregor, Newman, Reilly, & Capone, 2002). Elle serait également liée à des difficultés à mettre en place de nouvelles représentations phonologiques du mot et de nouvelles associations entre les représentations phonologiques et les représentations sémantiques correspondantes (Gray, 2004; McGregor et al., 2002). Les dysphasiques échouent lors de tâches d'apprentissage de séquences phonologiques rares et lorsqu'ils doivent rejeter des non-mots sur la base d'une modification fine de la structure phonologique du mot (Alt & Plante, 2006; Maillart, Schelstraete, & Hupet, 2004). Ils ont besoin de plus d'informations pour reconnaître un mot dans une tâche de *gating*⁴ (Boada & Pennington, 2006). Selon l'hypothèse de la restructuration lexicale, les relations entre le vocabulaire et les compétences phonologiques seraient en fait réciproques (Goswami, 1999; Maillart et al., 2004). Chez les dysphasiques, l'augmentation plus lente du lexique limiterait l'affinement des représentations phonologiques, et les faibles capacités à développer des représentations phonologiques précises seraient préjudiciables à l'acquisition de nouveaux mots (Maillart et al., 2004).

⁴ La tâche de *gating* consiste à donner des segments de plus en plus longs du mot jusqu'à ce que l'enfant le reconnaisse.

Joanisse et Seidenberg (1998) considèrent le trouble phonologique comme résultant d'un déficit de la perception catégorielle et de la discrimination des caractéristiques phonologiques (Joanisse et al., 2000; Joanisse & Seidenberg, 1998, 2003). Il serait la cause des déficits affectant la grammaire, la syntaxe et la morphologie (Joanisse & Seidenberg, 1998). Un modèle connexionniste simulant des troubles perceptifs comparables à ceux des dysphasiques – modélisés par ajout d'un bruit gaussien dans les poids des différentes connexions de la couche d'entrée – simule ainsi les troubles phonologiques et syntaxiques des dysphasiques (Joanisse & Seidenberg, 2003). L'existence d'un trouble de la perception chez les dysphasiques ne fait cependant pas l'unanimité. D'une part, des troubles de la perception auditive ont été mis en évidence chez les dysphasiques. Ces troubles ne seraient pas spécifiques au langage mais liés à un trouble du traitement auditif dont il n'est pas établi s'il est lié à la brièveté de l'information discriminante ou à la distinction de transitions rapides (Tallal & Piercy, 1973, 1974, 1975; Wright et al., 1997). D'autre part, plusieurs études utilisant de la parole naturelle témoignent de capacités de perception catégorielle et de discrimination de contrastes minimaux préservées (Coady, Kluender, & Evans, 2005; Gathercole & Baddeley, 1990; Majerus, Vrancken, & Van der Linden, 2003; Marton & Schwartz, 2003). Ces résultats remettent en cause l'hypothèse de difficultés du langage trouvant leur origine dans les troubles de la perception auditive (Coady et al., 2005). Il faut également souligner que les stimuli des différentes études se différencient non seulement par les caractéristiques physiques de la parole utilisée mais aussi par la nature même des stimuli. Tandis que le premier groupe d'études utilise des sons, des phonèmes isolés ou des syllabes consonne-voyelle (CV), le deuxième groupe fait appel à des mots ou des non-mots (CVC au minimum). Seule l'étude de Joanisse *et al.* (2000) met en évidence un déficit de la perception catégorielle sur la base d'un continuum créé à partir de mots et de non-mots (CVC-CCV) en parole naturelle (Joanisse et al., 2000).

Un déficit de la perception phonologique pourrait expliquer les troubles de la conscience et de la mémoire phonologique chez les dyslexiques et les dysphasiques. Chez ces derniers, il pourrait aussi être lié aux difficultés persistantes de vocabulaire et de syntaxe. Cependant, l'existence de ce déficit n'est établie dans aucune de ces deux populations, l'utilisation de parole synthétique étant une des principales sources de discordance entre les résultats.

2. Les troubles du langage écrit

2.1. Les difficultés d'apprentissage de la lecture chez les dyslexiques

Le trouble de la lecture des dyslexiques affecte de manière persistante le décodage, la reconnaissance des mots, la fluence de la lecture et la compréhension du contenu

(Joanisse et al., 2000; Mody, 2003; Swanson & Jerman, 2007; Szenkovits & Ramus, 2005). Le trouble initial concerne l'acquisition de la routine de conversion graphème-phonème et la mise en place de la procédure dite « alphabétique » (Brown, 1997; Joanisse et al., 2000; Snowling, 1995, Ramus, 2001 #182). La première manifestation de la dyslexie serait un déficit précoce et persistant de la connaissance des lettres (Gallagher, Frith, & Snowling, 2000; Pennington & Lefly, 2001; Scarborough, 1989; Snowling, 2001; Snowling et al., 2003). Malgré une augmentation progressive du niveau de lecture des enfants dyslexiques avec l'âge et la rééducation, il reste inférieur à celui des enfants de leur âge (Manis, Custodio, & Szeszulski, 1993). Même les adultes, ayant acquis un niveau satisfaisant de reconnaissance des mots et de compréhension des textes suite à une rééducation adaptée, souffrent d'un manque persistant de fluence de la lecture, ce qui témoigne d'un défaut d'automatisation des procédures de lecture (Beitchman & Young, 1997; Shaywitz et al., 2008). Le déficit phonologique est largement reconnu comme l'origine des difficultés de décodage et de reconnaissance de mots, même si le trouble de la dénomination rapide (Rapid Automated Naming, RAN) contribue aux déficits de la compréhension et de la rapidité de la lecture (Brown, 1997; Griffiths & Snowling, 2002; Harm & Seidenberg, 1999; Manis et al., 1993; Snowling, 1995; Wolf & Bowers, 1999; Wolf, Bowers, & Biddle, 2000; Wolf & Obregon, 1992).

L'hypothèse d'un déficit premier touchant la lecture par la procédure phonologique est attestée par la présence d'un déficit plus marqué pour la lecture des non-mots que des mots et par une lecture généralement préservée des mots irréguliers connus (Griffiths & Snowling, 2002; Manis et al., 1997; Ramus, 2001; Snowling, 1981). Selon le modèle à deux voies de lecture de Morton, la voie phonologique et le traitement sublexical sont ainsi affectés tandis que la voie orthographique et le traitement lexical s'avèrent relativement préservés (Morton, 1969).

2.2. La nature et la prévalence du trouble de la lecture dans la dysphasie

La majorité des études ayant évalué la lecture chez les enfants dysphasiques mettent en évidence une atteinte de cette capacité affectant, comme chez les dyslexiques, le décodage, la reconnaissance des mots et la compréhension du contenu (Bishop & Snowling, 2004; Catts et al., 2005; Snowling et al., 2000). De l'âge de 6 ans jusqu'à l'adolescence, les performances relevées dans les groupes de dysphasiques sont inférieures à celles relevées chez les enfants de même âge à différents tests de décodage de mots ou de non-mots et de reconnaissance de mots (Bird, Bishop, & Freeman, 1995; Boada & Pennington, 2006; Catts, 1993; Catts et al., 2005; Catts, Fey, Tomblin, & Zhang, 2002; Fazio, 1999). Les analyses des résultats individuels indiquent néanmoins que seule une partie des dysphasiques présente de tels troubles. La proportion d'enfants dysphasiques concernés varie d'un tiers à trois

quarts en fonction des études, mais toutes s'accordent sur la prévalence plus importante des troubles de la lecture chez les enfants présentant un retard de langage à 3-4 ans (Catts, 1993; Catts et al., 2005; Catts et al., 2002; Conti-Ramsden et al., 1997; Conti-Ramsden & Durkin, 2007; Fazio, 1999; Flax et al., 2003; Scarborough & Dobrich, 1990; Snowling et al., 2000; Stothard et al., 1998; Tomblin et al., 2000). La disparité des données de prévalence semble liée à quatre facteurs principaux. Premièrement, la mesure utilisée pour évaluer le déficit de lecture : les critères diagnostiques de la dyslexie ou uniquement la différence significative des performances par rapport à des enfants de même âge. Deuxièmement, l'âge d'évaluation de lecture. Cependant, Catts *et al.* (2002) ont mis en évidence une diminution des troubles de la lecture durant le développement, alors que les résultats de Snowling *et al.* (2000) présentent le patron inverse (Catts et al., 2002; Snowling et al., 2000). Troisièmement, la persistance des troubles du langage oral. En effet, environ 50 % des enfants ayant un trouble du langage oral à 4 ans mais résolu vers l'âge de 5 ans présentent des difficultés de lecture à l'adolescence, tandis que plus de 90 % de ceux ayant un trouble persistant du langage oral sont concernés par le trouble de la lecture (Bishop & Clarkson, 2003; Snowling et al., 2000; Stothard et al., 1998). Le dernier facteur, mais non le moindre, fait référence aux différents sous-types de dysphasie et aux critères d'inclusion utilisés dans les différentes études. Certaines études ont utilisé des critères de diagnostic très larges incluant des difficultés du langage oral liées à l'articulation, la sémantique, la morphologie, la syntaxe, la phonologie expressive (Bird et al., 1995; Boada & Pennington, 2006), alors que d'autres ont sélectionné les enfants sur la base d'un déficit de vocabulaire ou de grammaire (Catts, 1993; Catts et al., 2005; Catts et al., 2002). D'autres encore font état d'un trouble ou retard du langage oral dont la nature n'est pas précisée (Fazio, 1999; Flax et al., 2003; Scarborough & Dobrich, 1990; Snowling et al., 2000; Stothard et al., 1998; Tomblin et al., 2000). Or, Conti-Ramsden *et al.* (1997) ont observé une grande variabilité de la prévalence des troubles de la lecture en fonction des sous-types de dysphasies (Conti-Ramsden et al., 1997). De manière générale, leurs résultats indiquent que le déficit de lecture serait globalement spécifique aux dysphasiques ayant un trouble de la phonologie comme dans les dysphasies phonologiques syntaxiques ou dans les dysphasies de trouble de programmation phonologique, selon la classification de Rapin et Allen (Conti-Ramsden et al., 1997; Rapin, 1996).

Le trouble de la lecture des dysphasiques paraît donc directement lié aux difficultés phonologiques. Les déficits de segmentation du langage oral, du traitement phonologique et de la précision des représentations phonologiques entravent la mise en place des correspondances grapho-phonémiques (Bird et al., 1995; Bishop & Clarkson, 2003; Conti-Ramsden & Durkin, 2007; Joanisse et al., 2000; Snowling et al., 2000). La relation entre les performances de lecture et de traitement phonologique, obtenues par une mesure composite

comportant une tâche de conscience phonémique et une tâche de répétition de non-mots, est comparable pour les dysphasiques et les normo-lecteurs de même âge (Snowling et al., 2000). Les faibles capacités de lecture paraissent par conséquent liées aux faibles habiletés phonologiques. D'autre part, le niveau de connaissance des lettres apparaissant comme un prédicteur du niveau de lecture chez les dysphasiques, la présence d'un déficit de connaissance du nom et du son des lettres à 6-7 ans tend à confirmer le déficit affectant, en premier lieu, le décodage (Bird et al., 1995; Catts et al., 2002). Snowling *et al.* (2000) suggèrent cependant que les dysphasiques souffriraient d'un déficit de lecture de plus en plus important avec l'âge, en relation avec un trouble massif de la reconnaissance des mots (Snowling et al., 2000).

Les dyslexiques et une grande partie des dysphasiques présentent des troubles de la lecture affectant à la fois la précision et la compréhension de la lecture. Le déficit initial, qui affecte le décodage et plus précisément la mise en place des correspondances grapho-phonémiques, est directement lié aux déficits phonologiques. Les dysphasiques présentant une dysphasie phonologique-syntaxique ou un trouble de la programmation phonologique ont le plus de risque de développer des troubles de la lecture.

3. Le déficit de conscience phonologique

3.1. Un déficit stable massif et persistant dans la dyslexie

Près de trente ans de recherche sur les troubles de la lecture ont attesté la présence d'un déficit stable, massif et persistant de la conscience phonologique chez les enfants dyslexiques de 3 à 14 ans ainsi que chez le dyslexique adulte (Boets et al., 2007; Bruck, 1992; Catts et al., 2005; Gallagher et al., 2000; Rey et al., 2002; Rosen & Manganari, 2001; Snowling, 1981, 2001; Snowling et al., 2003; Szenkovits & Ramus, 2005; Tijjms, 2004). La quasi-totalité des études portant sur cette thématique ont inclus une ou plusieurs mesures de conscience phonologique (identification, détection, segmentation, combinaison, suppression de la syllabe, de la rime et du phonème) entérinant cette conclusion à différents âges et dans différentes langues. Malgré l'amélioration avec l'âge des performances des dyslexiques aux tâches de conscience phonologique, elles restent inférieures à celles correspondant non seulement à leur âge chronologique mais aussi à leur niveau de lecture⁵ (Manis et al., 1993). Les faibles performances des dyslexiques ne peuvent donc pas s'expliquer par un simple retard de développement (Joanisse et al., 2000). Depuis plus de dix ans, ces travaux ont

⁵ L'appariement avec deux groupes, un groupe apparié sur l'âge chronologique et un groupe apparié sur le niveau de lecture, permet de contrôler d'une part l'effet de l'âge d'autre part un effet potentiel de l'apprentissage de la lecture. La présence d'un déficit par rapport aux enfants de même niveau de

régulièrement fait l'objet d'articles de synthèse (Beitchman & Young, 1997; Mody, 2003; Ramus, 2001, 2003; Schlaggar & McCandliss, 2007; Shaywitz et al., 2008; Snowling, 2001; Wolf & Bowers, 1999) et le lien entre le trouble de conscience phonologique et la dyslexie développementale apparaît très largement admis.

Il existe un large consensus quant à l'existence d'un déficit de conscience phonologique, affectant les différentes unités phonologiques (syllabe, attaque/rime et phonème), par rapport aux enfants de même âge (Bruck, 1992; Elbro & Jensen, 2005; Goswami, 2000; Griffiths & Snowling, 2002; Manis et al., 1993; Richardson et al., 2004; Swan & Goswami, 1997; Swanson & Alexander, 1997). Dans la comparaison avec les enfants de même niveau de lecture, le déficit de la conscience du phonème est avéré, tandis que les résultats divergent pour le déficit de conscience des unités larges. Le déficit de la conscience du phonème affecte même les niveaux de conscience les plus superficiels. Les performances des dyslexiques s'avèrent ainsi déficitaires pour les tâches de jugement de similarité/de détection de l'intrus et de comptage des phonèmes qui ne nécessitent pas une analyse segmentale détaillée. En revanche, certaines études révèlent une conscience de la syllabe et de la rime comparable à celle des enfants de même niveau de lecture (Goswami, 2000; Griffiths & Snowling, 2002; Swan & Goswami, 1997), tandis que d'autres montrent un déficit de conscience de ces unités larges (Bruck, 1992; Richardson et al., 2004). Ces divergences ne peuvent être expliquées ni par une variation de l'âge des dyslexiques, ni par des différences dans la difficulté des tâches ou le niveau de conscience sollicité. Chacun de ces résultats contradictoires a en effet été obtenu chez des enfants de 8 à 14 ans et le patron de résultats est similaire pour des tâches de conscience de surface (telles que la discrimination, l'identification et la détection en choix forcé) et des tâches nécessitant une conscience plus profonde (telles que la segmentation, la combinaison et la suppression). Les divergences des résultats sur le déficit de conscience des unités larges pourraient, en revanche, être liées à des différences dans les critères diagnostiques utilisés et notamment la sévérité du déficit de lecture.

Les études menées auprès de mauvais lecteurs et d'enfants dits « à risque » en raison d'antécédents familiaux de dyslexie fournissent des éléments à l'appui de cette hypothèse. Le déficit de conscience phonologique est d'autant plus prononcé que les enfants ont des difficultés en lecture (Katz, 1986; McDougall, Hulme, Ellis, & Monk, 1994; Savage et al., 2005; Shankweiler & Crain, 1986). Et les enfants « à risque » ayant des difficultés de lecture ont des performances nettement inférieures à celles des enfants « à risque » sans trouble de la lecture, qui sont elles-mêmes légèrement inférieures à celles des enfants

lecture permet ainsi de s'assurer d'une part que les faibles performances ne sont pas dues à un retard de maturation et d'autre part qu'elles ne sont pas le résultat des difficultés de lecture.

normo-lecteurs pour les différents niveaux et unités de conscience phonologique, et ceci dès l'âge de 3-4 ans (Boets et al., 2007; Gallagher et al., 2000; Pennington & Lefly, 2001; Scarborough, 1989; Snowling et al., 2003).

La relation entre conscience phonologique et lecture a été confirmée chez les enfants dyslexiques par différentes études de corrélation et de régression hiérarchique (Boada & Pennington, 2006; Griffiths & Snowling, 2002; Scarborough, 1989; Shankweiler & Crain, 1986; Snowling, 2001; Snowling et al., 2003; Swanson & Alexander, 1997; Wolf & Bowers, 1999). Ces études ont mis en évidence une contribution de la conscience phonologique non seulement au décodage mais aussi à la reconnaissance des mots irréguliers. Cette contribution est indépendante du QI et d'autres facteurs, telles que la mémoire phonologique et la dénomination rapide. La conscience du phonème présente une contribution indépendante de celle de la rime sur le décodage, tandis que la contribution de la conscience de la rime n'apparaît plus significative après celle du phonème (Gallagher et al., 2000). Chez les dyslexiques, comme chez les normo-lecteurs, les niveaux les plus profonds et les plus fins de la conscience phonologique sont donc de meilleurs prédicteurs des capacités de décodage que la conscience des unités larges. Cependant, avant la première année de scolarisation, la contribution de la connaissance des lettres semble plus importante que celle de la conscience phonologique (Pennington & Lefly, 2001). Dans la mesure où cette connaissance précoce contribue également au développement de la conscience phonologique, il est possible que sa contribution à la lecture soit ensuite absorbée par la contribution prédominante de la conscience phonologique (Snowling et al., 2003). Les dyslexiques se différencient en cela des enfants normo-lecteurs, chez qui la conscience phonologique apparaît d'emblée comme le meilleur prédicteur de la lecture (Pennington & Lefly, 2001).

Contrairement au développement de la conscience phonologique chez le normo-lecteur, où l'influence de l'enseignement de la lecture est connue, peu d'études ont abordé l'influence de la lecture sur le développement de la conscience phonologique chez les dyslexiques et leurs résultats paraissent contradictoires. D'une part, Goswami (2000) met en avant une influence de l'apprentissage de la lecture sur le développement de la conscience phonémique chez les dyslexiques comme chez les normo-lecteurs (Goswami, 2000). Ce développement serait néanmoins plus lent chez les dyslexiques (Goswami, 2000). D'autre part, Bruck (1992) suggère que contrairement aux normo-lecteurs, l'apprentissage de la lecture chez les dyslexiques influencerait le développement de la conscience phonologique des unités larges mais pas du phonème (Bruck, 1992). Bruck reconnaît, cependant, que ses résultats sont à considérer avec précaution, notamment car son étude ne permet pas de différencier l'effet de l'apprentissage de la lecture de l'effet de l'âge.

3.2. Le déficit de conscience phonologique chez les dysphasiques

Bien que moins étudié dans la dysphasie, le déficit de conscience phonologique a également été mis en évidence chez les enfants dysphasiques d'âge pré-scolaire et jusqu'à l'âge de 15 ans (Bird et al., 1995; Bishop & Clarkson, 2003; Bishop & Snowling, 2004; Boada & Pennington, 2006; Catts et al., 2005; Joanisse et al., 2000; Joanisse & Seidenberg, 1998; Snowling et al., 2000; Stothard et al., 1998; van Weerdenburg et al., 2006). Il concerne les différents niveaux et les différentes unités de conscience phonologique et il est avéré non seulement dans la comparaison avec les enfants de même âge chronologique mais aussi par rapport à des enfants de même niveau de lecture ou de vocabulaire. Il ne dépend pas de déficits potentiels de production des dysphasiques (Bird et al., 1995). Les erreurs phonologiques plus fréquentes des dysphasiques dans des tâches de décision lexicale, de répétition de mots ou lors de l'écriture d'un texte attestent l'existence du trouble phonologique (Bishop & Clarkson, 2003; Kamhi & Catts, 1986; Mackie & Dockrell, 2004; Maillart et al., 2004). Le déficit de conscience phonologique est présent même chez des adolescents de 15 ans qui ont souffert d'un déficit de langage à 4 ans, mais qui ont compensé ce déficit et développé un langage oral dans la norme (Stothard et al., 1998). Il constitue un marqueur des troubles résiduels des difficultés précoces dans l'acquisition du langage oral (Stothard et al., 1998). Ce résultat tend à confirmer que la présence d'un niveau de langage dans la norme chez les enfants ayant souffert d'un trouble précoce du langage est liée à la mise en place de mécanismes de compensation de déficits sous-jacents persistants et exclut l'hypothèse d'un simple retard (Bishop, North, & Donlan, 1996). L'ensemble de ces résultats appuie l'hypothèse d'un trouble de la conscience phonologique et de l'analyse segmentale (Bishop & Clarkson, 2003). Ils peuvent aussi être mis en relation avec le manque de précision des représentations phonologiques évoqué pour expliquer, entre autres, le déficit de vocabulaire (Maillart et al., 2004).

L'existence du déficit de conscience phonologique chez les dysphasiques fait l'objet d'un consensus pour ceux qui présentent des troubles de la lecture, tandis que les résultats divergent pour les dysphasiques sans trouble de la lecture (Catts et al., 2005; Eisenmajer et al., 2005; Joanisse et al., 2000). L'étude d'Eisenmajer *et al.* (2005) montre que les performances des dysphasiques sans trouble de la lecture sont équivalentes à celles des enfants de même âge chronologique pour différents niveaux et différentes unités de conscience phonologique (Eisenmajer et al., 2005). A l'inverse, Catts *et al.* (2005) montrent que les dysphasiques sans trouble du langage écrit présentent un niveau de conscience de la syllabe et du phonème qui, bien que supérieur à celui des dysphasiques avec un trouble de la lecture, reste inférieur à celui des enfants de même âge (Catts et al., 2005). Le débat

sur l'existence ou non de trouble de la conscience phonologique chez les dysphasiques sans difficulté de lecture n'est cependant pas pertinent dans le cadre qui nous intéresse, à savoir les relations entre les difficultés phonologiques et les troubles de la lecture. Nous ne le développerons donc pas plus en détail ici. Notons néanmoins que l'hétérogénéité de la population dysphasique et la fréquence élevée de troubles de la lecture chez ces enfants expliquent probablement la mise en évidence d'un déficit significatif de conscience phonologique dans les études ne distinguant pas les dysphasiques sur la base du trouble de la lecture.

Les quelques études de corrélation et de régression réalisées chez des enfants dysphasiques confirment la relation entre le trouble de la lecture et le déficit de conscience phonologique. Les performances de conscience du phonème sont corrélées aux performances en lecture et la conscience de la syllabe et du phonème prédit les compétences en lecture indépendamment du niveau de langage oral (Boada & Pennington, 2006; Catts et al., 2005; Catts et al., 2002; Kamhi & Catts, 1986). Cette contribution est persistante de l'âge pré-scolaire jusqu'à l'âge de 13 ans.

Le déficit de la conscience phonologique est précoce et persistant chez les dyslexiques et les dysphasiques ayant un trouble de la lecture. Il est avéré à la fois par rapport aux enfants de même âge chronologique et aux enfants de même niveau de lecture et/ou de vocabulaire et paraît directement lié aux difficultés de lecture rencontrées par les enfants dyslexiques et dysphasiques.

4. Le déficit de mémoire phonologique

4.1. *Le déficit de mémoire phonologique et des représentations phonologiques en mémoire à long terme chez les dyslexiques*

- **Capacité de la mémoire phonologique**

De nombreuses études ont mis en évidence, au moyen de mesure d'empan de chiffres, de mots ou de lettres, et de répétition de non-mots, un déficit de mémoire phonologique chez les dyslexiques de la maternelle jusqu'à l'âge adulte (Catts et al., 2005; Goswami, 2000; Johnston, Rugg, & Scott, 1987; Kamhi & Catts, 1986; Mody, 2003; Nelson & Warrington, 1980; Olson et al., 1984; Pennington & Lefly, 2001; Ramus, 2003; Richardson et al., 2004; Roodenrys & Stokes, 2001; Siegel & Linder, 1984; Snowling, 2001; Swanson & Jerman, 2007; Szenkovits & Ramus, 2005). Ce déficit est spécifique à la mémoire phonologique, les capacités des dyslexiques en mémoire à court terme visuelle et motrice⁶

⁶ Evaluée par des tâches de reproduction de patrons moteurs, comme des dessins de formes

ainsi que leur mémoire à long terme sémantique et non verbale⁷ étant préservées (Jorm, 1983). Si les performances en mémoire phonologique des dyslexiques augmentent, avec l'âge, à la même vitesse que celles des autres enfants, elles restent toujours inférieures à celles des normo-lecteurs de même âge (Swanson & Jerman, 2007). Elles sont cependant équivalentes à celles des enfants de même niveau de lecture, dans les rares études ayant réalisé cette comparaison (Johnston et al., 1987; Roodenrys & Stokes, 2001). A l'instar du trouble de la conscience phonologique, la sévérité du trouble de mémoire phonologique semble constituer un continuum. Les enfants dyslexiques ont des performances inférieures à celles des enfants présentant un risque familial de dyslexie mais ne développant pas de trouble de la lecture, qui sont elles-mêmes légèrement inférieures à celles des enfants normo-lecteurs (Boets et al., 2007; Gallagher et al., 2000; Pennington & Lefly, 2001; Snowling et al., 2003).

L'existence d'effets de position sérielle, de primauté et de récence, plus faibles chez les dyslexiques suggère un déficit affectant la boucle phonologique et notamment un manque d'efficacité de la répétition subvocale (Jorm, 1983; Kramer, Knee, & Delis, 2000). Jorm (1983) évoque aussi la possibilité d'une faiblesse de l'exécuteur central responsable de la mise en place des stratégies de mémorisation, dont fait partie la répétition subvocale. Lorsque la consigne requiert une répétition des items durant la phase de mémorisation, avant le rappel, les dyslexiques paraissent tirer partie de cette répétition. Ceci indique que ce n'est pas le processus de répétition subvocale en lui-même qui serait défaillant, mais son initiation par l'exécuteur central (Jorm, 1983). Les résultats contradictoires quant à la présence d'un effet de similarité moindre, plus tardif (à partir de 9 ans) ou équivalent chez les enfants dyslexiques et normo-lecteurs ne permettent pas de conclure sur l'existence d'un déficit du stock phonologique (Johnston et al., 1987; Jorm, 1983; Olson et al., 1984; Siegel & Linder, 1984).

Quelques études ont mis en évidence l'existence de corrélations entre les performances aux épreuves d'empan et de répétition de non-mots et le niveau de lecture chez les enfants dyslexiques jusqu'à 14 ans (Gallagher et al., 2000; Griffiths & Snowling, 2002; Johnston et al., 1987; Pennington & Lefly, 2001; Scarborough, 1989; Snowling, 2001; Snowling et al., 2003; Tijjms, 2004). Cette contribution est précoce (dès trois ans) et indépendante non seulement du QI mais aussi de la contribution de la conscience phonologique (Boada & Pennington, 2006; Snowling et al., 2003). En plus de son influence indirecte sur la lecture *via* la conscience phonologique, le déficit précoce de mémoire phonologique affecte directement la mise en place des CGP (Shankweiler & Crain, 1986;

⁷ Mesurée par des tâches de type apprentissage de paires de formes

Snowling et al., 2003). Cette influence serait due, d'une part, au rôle de la boucle articulatoire dans la conversion grapho-phonologique et, d'autre part, à un déficit de la « mémoire tampon » (Johnston et al., 1987; Shankweiler & Crain, 1986). Cette « mémoire tampon » est nécessaire à l'intégration de la chaîne phonémique en une représentation unique et son déficit interromprait le traitement de l'information phonologique (Shankweiler & Crain, 1986). En référence au modèle de la mémoire de travail de Baddeley (2000), ce concept de mémoire tampon semble s'apparenter au buffer épisodique, responsable de l'intégration des informations en une représentation unifiée (Baddeley, 2000). Rappelons que le buffer épisodique est généralement évalué par des tâches d'empan de phrases et l'exécuteur central par des tâches d'empan inverse (Gathercole et al., 2004; Poncelet et al., 2001). Les performances de lecture, décodage, reconnaissance des mots et compréhension, des dyslexiques semblent plus fortement liées aux tâches d'empan de phrases et d'empan inverse qu'aux tâches d'empan simple et de répétition de non-mots (Gathercole, Alloway, Willis, & Adams, 2006; Gathercole et al., 2005; Swanson & Alexander, 1997; Swanson & Jerman, 2007). Les troubles affectant l'exécuteur central et le buffer épisodique semblent donc plus fortement liés au déficit de lecture que le déficit de la boucle phonologique. Ce résultat confirme le rôle crucial du déficit de la mémoire tampon dans le déficit de lecture et cette interprétation s'accorde avec l'hypothèse selon laquelle le trouble de la boucle phonologique résulterait principalement d'un déficit de mise en place des stratégies par l'exécuteur central (Jorm, 1983; Shankweiler & Crain, 1986).

- **Les représentations phonologiques en mémoire à long terme**

- Déficit de précision des représentations phonologiques

Le déficit des représentations phonologiques en mémoire à long terme et du codage phonologique est considéré comme l'origine des difficultés de conscience et de mémoire phonologique des dyslexiques (Mody, 2003; Snowling, 2001; Snowling et al., 1986; Tijjms, 2004). L'encodage des caractéristiques phonologiques constitue en effet la base des habiletés de conscience phonologique (Mody, 2003; Swan & Goswami, 1997). Un codage phonologique défectueux et des représentations phonologiques mal définies entraveront donc le développement de ces habiletés (Boada & Pennington, 2006; Snowling, 2001; Tijjms, 2004).

Les dyslexiques ont des difficultés de représentation segmentale de la structure phonologique des mots (Goswami, 2000; Harm & Seidenberg, 1999; Richardson et al., 2004; Shankweiler & Crain, 1986; Snowling, 1981; Swan & Goswami, 1997). Leurs représentations phonologiques sont moins précises, moins structurées et moins stables que celles des enfants de même âge chronologique et de même niveau de lecture, mais leurs représentations lexicales semblent préservées (Boada & Pennington, 2006; Elbro & Jensen,

2005; Goswami, 2000; Snowling, 1995; Swan & Goswami, 1997). Dans une tâche d'apprentissage de paires associées, par exemple, ils ont des difficultés uniquement pour l'apprentissage de paires impliquant des non-mots et ils commettent principalement des erreurs de segmentation et des substitutions lexicales (Jorm, 1983; Nelson & Warrington, 1980; Vellutino, Steger, Harding, & Phillips, 1975). Dans les tâches de rappel et de répétition, leurs performances sont inférieures à celles des enfants de même âge chronologique et de même niveau de lecture pour les non-mots mais équivalentes pour les mots fréquents (McDougall & Donohoe, 2002; Snowling, 1981; Snowling et al., 1986). Pour les mots rares, leurs performances apparaissent inférieures uniquement à celles des enfants de même âge, probablement car ces mots sont acquis plus tardivement par les dyslexiques (McDougall & Donohoe, 2002; Snowling et al., 1986).

Différentes études montrent en effet qu'en dépit de représentations lexicales préservées, les dyslexiques ont une vitesse réduite d'apprentissage des mots nouveaux et un retard de développement du vocabulaire expressif dès 4 ans et jusqu'à la 4^{ème} année de scolarisation (Gallagher et al., 2000; Joanisse et al., 2000; Kamhi & Catts, 1986; Kramer et al., 2000; Scarborough, 1989; Shankweiler & Crain, 1986; Snowling et al., 2003; Snowling et al., 1986; Swan & Goswami, 1997; Wolf & Obregon, 1992). L'existence de performances équivalentes à celles des enfants de même niveau de lecture indique cependant qu'il s'agit d'un retard et non d'une déviance (Snowling, van Wagtendonk, & Stafford, 1988). La difficulté accrue de mise en place des nouvelles séquences phonologiques et représentations lexicales s'explique par le manque de précision des représentations phonologiques et par l'utilisation déficitaire de la boucle phonologique (Jorm, 1983; McDougall & Donohoe, 2002; Snowling et al., 1986; Vellutino, Scanlon, & Spearing, 1995). Ces résultats, ainsi que l'existence d'un déficit lors de tâches de reconnaissance, indiquent un trouble de l'encodage et non de la récupération des représentations phonologiques (Jorm, 1983; Kramer et al., 2000; Nelson & Warrington, 1980).

Plusieurs auteurs ont mis en avant le rôle central des représentations phonologiques lors de l'apprentissage de la lecture, notamment au moment de la mise en place des correspondances grapho-phonémiques (Boada & Pennington, 2006; Ramus, 2003; Snowling, 1995; Tijjms, 2004). Ces correspondances établissent un lien entre les représentations phonologiques sublexicales et les représentations orthographiques (Ramus, 2003). Un déficit d'organisation et de précision des représentations sublexicales rend les relations avec les représentations orthographiques et, par conséquent, les CGP sont plus difficiles à établir (Mody, 2003; Morais, 2003; Swan & Goswami, 1997).

L'existence de corrélations entre la lecture et le vocabulaire suggère également une influence des représentations phonologiques lexicales sur l'apprentissage de la lecture

(Gallagher et al., 2000; McDougall & Donohoe, 2002; Scarborough, 1989; Snowling et al., 2003; Snowling et al., 1986). L'importance des représentations lexicales chez les dyslexiques paraît d'autant plus probable qu'ils semblent avoir très largement recours à des stratégies sémantiques durant la lecture (Brown, 1997; Harm & Seidenberg, 1999; B. A. Shaywitz et al., 2007; Shaywitz et al., 2008). Cependant, le développement des représentations lexicales étant affecté par la moindre qualité des représentations sublexicales, la contribution du vocabulaire à la lecture pourrait ne pas être indépendante de celle des compétences phonologiques (Snowling et al., 1986). Les connaissances phonologiques apparaissent en effet être de meilleurs prédicteurs de la lecture que les connaissances orthographiques, même pour l'identification des mots (Manis et al., 1993).

Si les représentations phonologiques influencent les performances de conscience et de mémoire phonologiques, aucune tâche ne permet actuellement de les évaluer directement. L'hypothèse d'une relation entre ces représentations et la lecture est donc essentiellement étayée par les données de modèles connexionnistes. En implémentant un modèle de façon à lui attribuer des représentations phonologiques moins bien définies, en modifiant par exemple le nombre d'unités de la couche d'entrée ou le poids de certaines connexions, deux études ont ainsi mis en évidence des difficultés du modèle à intégrer les règles de CGP et à décoder les mots inconnus (Brown, 1997; Harm & Seidenberg, 1999).

- Difficulté d'accès aux représentations phonologiques

D'autres études suggèrent, qu'au-delà des difficultés d'élaboration de représentations phonologiques précises, les dyslexiques souffriraient également de difficultés d'accès à ces représentations (Ramus & Szenkovits, 2008; Snowling, 1995). Ramus et Szenkovitz (2008) ont même suggéré que les difficultés des dyslexiques découleraient uniquement de difficultés dans l'accès à des représentations phonologiques pourtant satisfaisantes (Ramus & Szenkovits, 2008). Cette hypothèse s'oppose à la notion, largement admise, d'un manque de précision des représentations phonologiques, mais elle est étayée par l'existence d'effets de lexicalité et de fréquence phonotactique comparables chez les dyslexiques et les contrôles de même âge chronologique et de même niveau de lecture (Roodenrys & Stokes, 2001; Szenkovits & Ramus, 2005). Ces effets témoignent d'une capacité préservée de complètement *automatique* des informations phonologiques dégradées en MCT à partir des représentations en MLT (Roodenrys & Stokes, 2001).

Le déficit de dénomination rapide observé chez les dyslexiques adultes et enfants peut aussi étayer cette position (Beitchman & Young, 1997; Boets et al., 2007; Pennington & Lefly, 2001; Ramus, 2003; Szenkovits & Ramus, 2005; Wolf & Bowers, 1999). Cette épreuve est difficile à catégoriser en raison des nombreux traitements mis en jeu : perceptif, attentionnel, mnésique, lexical et phonologique et de ses dimensions articulatoire et sérielle

(Wolf & Bowers, 1999; Wolf et al., 2000). Bien que souvent rapportée à une épreuve phonologique, les processus mis en jeu seraient indépendants et ne présenteraient que peu d'inter-relations (Ramus, 2003; Wolf & Bowers, 1999). Le déficit de dénomination rapide est donc distinct du déficit phonologique, il est également indépendant des troubles visuel, articulatoire et attentionnel (Boada & Pennington, 2006; Wolf et al., 2000; Wolf & Obregon, 1992). Il est dû à un déficit de mise en relation d'un objet et de son nom et reflète un trouble de récupération des connaissances phonologiques en mémoire à long terme (Snowling, 1995; Wolf et al., 2000). Dans cette optique, le retard de vocabulaire expressif précédemment évoqué pourrait être expliqué par une difficulté de récupération de la forme phonologique du mot (Snowling, 1995; Snowling et al., 1988; Swan & Goswami, 1997; Wolf & Obregon, 1992). Cette interprétation apparaît d'autant plus plausible que les performances des enfants dyslexiques aux épreuves de vocabulaire réceptif sont comparables à celles d'enfants de même âge (Elbro & Jensen, 2005). Si l'on considère la dénomination rapide comme une mesure non phonologique de l'accès aux connaissances en MLT, le déficit durable à cette épreuve tend à étayer l'hypothèse d'un déficit d'accès aux représentations sublexicales. D'autre part, les performances aux épreuves de dénomination rapide présentent une contribution à la lecture, indépendante de celle des épreuves de conscience phonologique (Boada & Pennington, 2006; Pennington & Lefly, 2001; Wolf & Bowers, 1999; Wolf et al., 2000).

L'hypothèse d'un trouble de l'accès à des représentations phonologiques préservées et de capacités préservées de complètement automatique des traces phonologiques en mémoire à court terme va cependant à l'encontre des conclusions de Boada et Pennington (Boada & Pennington, 2006). Leur étude montre en effet, chez les enfants dyslexiques, un déficit des représentations phonologiques même testées de manière implicite (par exemple au moyen de tâches d'amorçage ou de *gating*). De plus, ce déficit est corrélé avec le déficit de conscience phonémique et de répétition de non-mots. Toutefois, comme l'ont souligné Ramus et Svenkowitz (2008), leur hypothèse d'un trouble limité à l'accès aux représentations phonologiques repose sur de récentes études menées auprès d'adultes dyslexiques et doivent être répliquées avec des enfants. Selon Goswami (2000), les dyslexiques présenteraient un développement plus lent des représentations phonologiques (Goswami, 2000). Nous pouvons donc supposer que les dyslexiques adultes parviendraient progressivement, avec l'âge et la rééducation, à acquérir des représentations correctement définies mais conserveraient des difficultés pour y accéder, alors que les enfants dyslexiques auraient à la fois des représentations phonologiques mal spécifiées et des difficultés à pour accéder.

- *Influence des connaissances phonologiques en mémoire à long terme sur les performances en mémoire à court terme*

Malgré l'hypothèse d'un rôle central du déficit des représentations phonologiques en mémoire à long terme dans la dyslexie (Mody, 2003; Snowling, 2001; Snowling et al., 1986; Tijjms, 2004), peu d'études ont analysé l'influence des connaissances phonologiques en mémoire à long terme sur les performances en mémoire à court terme chez les dyslexiques. Les effets de lexicalité ont été analysés dans quatre études (Roodenrys & Stokes, 2001; Snowling, 1981; Snowling et al., 1986; Szenkovits & Ramus, 2005), dont deux montrent un effet de lexicalité identique chez les dyslexiques et les enfants appariés sur l'âge chronologique et sur le niveau de lecture (Roodenrys & Stokes, 2001; Szenkovits & Ramus, 2005). Les deux autres mettent en évidence un effet de lexicalité plus marqué pour les dyslexiques, lié à des performances équivalentes pour les mots mais déficitaires pour les non-mots (Snowling, 1981; Snowling et al., 1986). Ce résultat paraît en accord avec la notion de déficit des représentations sublexicales. Un seul article a analysé l'effet de fréquence phonotactique (la supériorité des performances pour le rappel de non-mots contenant des diphtongues fréquents par rapport aux items contenant des diphtongues rares), qui serait présent chez les enfants dyslexiques comme chez les enfants de même âge et de même niveau de lecture (Roodenrys & Stokes, 2001). Ces différents résultats ne nous permettent pas de conclure sur une éventuelle différence d'influence des connaissances phonologiques lexicales ou sublexicales sur les performances en mémoire à court terme des dyslexiques et des normo-lecteurs.

- **La mémoire de l'ordre sériel**

A notre connaissance, aucune étude n'a spécifiquement analysé la mémoire de l'ordre chez les dyslexiques. Dans un article de synthèse, Jorm (1983) fait état de quelques études ayant évalué la composante sérielle chez les dyslexiques durant les années 1960-1970, mais, selon lui, aucune ne permettrait d'isoler un déficit de la mémoire de l'ordre d'un déficit lié à la mémoire de l'item (Jorm, 1983). Depuis, seule l'étude de Roodenrys et Stokes (2001) a inclus une tâche de rappel sériel chez les dyslexiques. Les performances des dyslexiques y apparaissent inférieures à celles des enfants de même âge chronologique mais équivalentes à celles d'enfants de même niveau de lecture. L'analyse de ces données a cependant ciblé les effets de lexicalité et de fréquence phonotactique, et aucune mention n'est faite de la mémoire de l'ordre (Roodenrys & Stokes, 2001). D'autre part, deux études portant sur la capacité de perception phonologique ont fait appel à une tâche de jugement de l'ordre (De Martino et al., 2001; Rey et al., 2002). Les performances des dyslexiques y apparaissent déficitaires, conduisant à l'hypothèse d'un déficit lié à des difficultés de traitement séquentiel des stimuli (Rey et al., 2002).

4.2. Le déficit de la mémoire phonologique : un marqueur comportemental de la dysphasie

Le déficit de mémoire phonologique dans la dysphasie a fait l'objet de très nombreuses études utilisant notamment la répétition de non-mots. Deux études sont à l'origine de ces recherches, l'étude de Gathercole et Baddeley en 1990, généralement considérée comme l'étude princeps, et celle de Bishop *et al.* (1996) (Bishop *et al.*, 1996; Gathercole & Baddeley, 1990).

- **La capacité de la mémoire phonologique**

Gathercole et Baddeley (1990) ont évalué le déficit de mémoire phonologique au moyen de tâches de rappel sériel et de répétition de non-mots. Les performances des enfants dysphasiques y apparaissent inférieures non seulement à celles des enfants de même âge chronologique mais aussi à celles des enfants de même niveau de vocabulaire⁸ (Gathercole & Baddeley, 1990). Les enfants dysphasiques étudiés avaient, d'une part, des performances déficitaires même pour la répétition d'un non-mot monosyllabique de type CVC et présentaient, d'autre part, un effet de longueur plus précoce que les deux groupes contrôles. Ces résultats ont été interprétés par les auteurs comme un déficit de représentation des informations phonologiques en mémoire de travail imputé à une capacité de mémoire phonologique réduite. Plus précisément, les enfants dysphasiques présentent un effet de similarité phonologique pour les listes les plus courtes, ce qui suggère qu'ils procèdent à un codage phonologique correct et utilisent la répétition subvocale. La disparition de l'effet de similarité pour les listes les plus longues reflète l'abandon de la stratégie d'encodage et de répétition subvocale. L'ensemble de ces résultats indique une limitation du stock phonologique. En manipulant différentes dimensions du matériel utilisé, Gathercole et Baddeley (1990) ont écarté la possibilité d'un effet lié à des difficultés de discrimination perceptive ou à la complexité articulatoire. De plus, la comparaison avec un groupe apparié sur le niveau de vocabulaire confirme que le déficit n'est pas la conséquence d'une faiblesse du vocabulaire et qu'il est spécifique au processus phonologique. Gathercole et Baddeley émettent alors l'hypothèse que le déficit de stockage phonologique serait non seulement la cause des faibles performances de mémoire phonologique, mais qu'il jouerait également un rôle dans le développement déviant du langage. En relation avec cette hypothèse, Bishop *et al.* (1996) ont proposé le déficit de la répétition de non-mots comme un marqueur comportemental de la dysphasie (Bishop *et al.*, 1996). Ce déficit présente en effet

⁸ Le déficit de vocabulaire étant particulièrement marqué et persistant chez les dysphasiques, la comparaison des performances des dysphasiques avec des enfants plus jeunes présentant le même

de fortes corrélations avec le niveau de langage oral (Conti-Ramsden & Durkin, 2007; Dollaghan & Campbell, 1998; Kamhi & Catts, 1986; Thal, Miller, Carlson, & Vega, 2005; van Weerdenburg et al., 2006; Weismer et al., 2000).

Sur la base de ces conclusions, de nombreuses études ont répliqué ces résultats auprès de dysphasiques âgés de 3 à 15 ans en utilisant des épreuves de répétition de non-mots (Bishop, 2006; Boada & Pennington, 2006; Briscoe, Bishop, & Norbury, 2001; Catts et al., 2005; Conti-Ramsden & Durkin, 2007; Graf Estes, Evans, & Else-Quest, 2007; Gray, 2004, 2006; Joanisse & Seidenberg, 1998; Kamhi & Catts, 1986; Marton & Schwartz, 2003; Montgomery, 1995; Munson et al., 2005; Newbury, Bishop, & Monaco, 2005; Snowling et al., 2000; Stothard et al., 1998; Thal et al., 2005; van der Lely & Howard, 1993; Weismer et al., 2000). Les résultats d'études longitudinales ainsi que la récente méta-analyse de 23 études réalisées auprès d'environ 600 enfants dysphasiques mettent en évidence la très grande stabilité de ce déficit (Conti-Ramsden & Durkin, 2007; Graf Estes et al., 2007; Gray, 2006). Les dysphasiques comme les tout-venants présentent un fort accroissement des performances en répétition de non-mots entre 3 et 4 ans, suivi d'une stabilisation des performances jusqu'à 6 ans et entre 11 et 14 ans (Conti-Ramsden & Durkin, 2007; Gray, 2006). A partir de 11 ans, l'absence d'augmentation des performances pour les enfants contrôles s'explique par la présence de performances plafond, alors que les faibles performances relevées pour les dysphasiques attestent de la stabilité du déficit (Conti-Ramsden & Durkin, 2007). Le déficit de répétition de non-mots paraît cependant diminuer chez les dysphasiques compensant leurs difficultés de langage oral. Entre 7 et 9 ans, les dysphasiques ayant un trouble du langage oral persistant ou compensé ont un déficit comparable de répétition de non-mots (Bishop et al., 1996). Entre 11 et 15 ans, en revanche, les performances des dysphasiques ayant compensé leur trouble du langage oral sont supérieures à celles des dysphasiques persistants mais restent inférieures à celles des enfants de même âge (Conti-Ramsden & Durkin, 2007; Stothard et al., 1998). Ces résultats confirment que le déficit est stable pour les dysphasiques persistants, mais suggèrent que les performances des dysphasiques compensant leur trouble du langage oral augmentent entre 9 et 11 ans, sans pour autant atteindre un niveau normal. Le déficit de répétition de non-mots apparaît donc bien comme un déficit stable, caractéristique de la dysphasie et il constitue un marqueur des troubles sous-jacents persistants chez les dysphasiques compensés.

La majorité des études de répétition de non-mots s'accorde sur la présence d'un effet de longueur plus marqué chez les dysphasiques dès les items de trois syllabes, ce qui

niveau de vocabulaire permet de s'assurer que les résultats ne sont ni la conséquence d'un retard de développement, ni la conséquence du déficit de vocabulaire.

confirme l'hypothèse d'un déficit affectant la capacité de la boucle phonologique (Bishop et al., 1996; Catts et al., 2005; Dollaghan & Campbell, 1998; Gathercole & Baddeley, 1990; Graf Estes et al., 2007; Marton & Schwartz, 2003; Montgomery, 1995; Thal et al., 2005; Weismer et al., 2000). Concernant les non-mots uni et bisyllabiques, seules trois études mettent en évidence un déficit de répétition des dysphasiques (Catts et al., 2005; Gathercole & Baddeley, 1990; Weismer et al., 2000). Les résultats de la méta-analyse réalisée par Graf Estes *et al.* (2007) indiquent que ce déficit est présent mais moins important pour les non-mots de une et deux syllabe(s) que pour les items de trois ou quatre syllabes. Les divergences de résultats concernant le déficit de répétition de non-mots uni et bisyllabiques sont probablement liées aux critères de sélection des dysphasiques et des groupes contrôles, âge et mesures du langage oral (Graf Estes et al., 2007). Les études présentant des résultats contradictoires ont cependant inclus des dysphasiques présentant des âges similaires. La sévérité du trouble et les critères de sélection semblent par conséquent constituer l'explication la plus vraisemblable de ces divergences de résultats. De plus, dans l'étude de Catts *et al.* (2005), le déficit de répétition de non-mots sur les items courts n'est mis en évidence que chez les dysphasiques présentant également des difficultés de lecture.

Le déficit de répétition de non-mots pourrait être lié au déficit de segmentation du langage oral précédemment évoqué (Bishop & Clarkson, 2003). Cette hypothèse est difficilement vérifiable dans la mesure où seules deux études ont évalué la relation entre conscience et mémoire phonologiques et les résultats des analyses de corrélations sont contradictoires (Boada & Pennington, 2006; Kamhi & Catts, 1986). Par ailleurs, les résultats des deux études ayant analysé les corrélations entre répétition de non-mots et lecture chez les dysphasiques sont également contradictoires (Conti-Ramsden & Durkin, 2007; Kamhi & Catts, 1986). Toutefois, cette contradiction pourrait être liée à l'âge des dysphasiques. La répétition de non-mots et la lecture ne sont pas corrélées à 6-8 ans (Kamhi & Catts, 1986), mais la répétition de non-mots à 11 ans a un effet prédictif sur le niveau de lecture à 14 ans, cet effet étant réciproque et indépendant du QI (Conti-Ramsden & Durkin, 2007). Ces résultats indiqueraient que la répétition de non-mots ne contribue à la lecture que dans des stades plus avancés de l'apprentissage.

Comme nous l'avons souligné dans l'étude développementale, la capacité de la mémoire phonologique peut également être évaluée par des épreuves d'empan de chiffres et de rappel sériel immédiat (Gathercole, 1998; Poncelet et al., 2001). Ces épreuves ont été moins utilisées que la répétition de non-mots, mais les performances inférieures des dysphasiques en comparaison des enfants de même âge dans ces deux épreuves confirment le déficit de mémoire phonologique révélé par les épreuves de répétition de non-

mots (Conti-Ramsden & Durkin, 2007; Fazio, 1999; S. Gray, 2004, 2006; Kirchner & Klatzky, 1985; Majerus et al., 2003; van der Lely & Howard, 1993; van Weerdenburg et al., 2006). Les résultats des quelques études ayant inclus des groupes contrôles plus jeunes montrent des performances inférieures chez les dysphasiques par rapport aux enfants appariés sur le niveau de langage expressif et réceptif à une tâche d'empan et inférieures à celles d'enfants de même niveau de vocabulaire pour le rappel de liste (Fazio, 1999; Majerus et al., 2003). Les données de plusieurs de ces études confirment également que le déficit concerne le stock phonologique. Les dysphasiques manifestent un effet de récence plus marqué que les enfants de même âge et leurs performances sont plus déficitaires lorsque la présentation des stimuli est plus lente (Gillam, Cowan, & Marler, 1998). Leurs faibles performances pour le rappel de listes sont indépendantes de leurs capacités de perception et de vitesse d'articulation (Majerus et al., 2003). L'efficacité du codage phonologique et de la répétition subvocale est attestée dans une épreuve dont la consigne stipulait une répétition à haute voix (Kirchner & Klatzky, 1985). L'ensemble de ces résultats confirme le déficit du maintien des représentations phonologiques transitoires mis en évidence par Gathercole et Baddeley (1990) (Gillam et al., 1998; Kirchner & Klatzky, 1985; Montgomery, 1995; Newbury et al., 2005).

- **L'influence des connaissances en mémoire à long terme**

Certains auteurs ont suggéré qu'en plus du déficit de capacité du stock phonologique, les dysphasiques présenteraient des difficultés de complèter des informations en mémoire à court terme à partir des connaissances en mémoire à long terme (Fazio, 1999; Gillam et al., 1998; Kirchner & Klatzky, 1985). Cependant, peu d'études ont testé l'influence des connaissances phonologiques en mémoire à long terme sur les performances en mémoire à court terme et leurs résultats paraissent contradictoires. D'une part, deux études portant sur le rappel sériel de listes ont montré que, malgré des performances globalement inférieures, les dysphasiques présentaient des effets de lexicalité et de fréquence phonotactique comparables à ceux des enfants de même âge chronologique et de même niveau de vocabulaire (Majerus et al., 2003; van der Lely & Howard, 1993). Ces résultats témoignent d'une influence comparable des connaissances phonologiques lexicales et sublexicales pour les trois groupes. D'autre part, l'analyse des productions de rappel montre que les dysphasiques commettent plus d'erreurs sémantiques, ce qui suggère une plus grande influence des connaissances sémantiques (Kirchner & Klatzky, 1985). Les deux seules études ayant évalué l'effet de fréquence phonotactique dans les tâches de répétition de non-mots montrent un effet de fréquence phonotactique plus marqué pour les dysphasiques, surtout pour les items les plus longs (Briscoe et al., 2001; Munson et al., 2005). Cet effet est lié à des performances particulièrement déficitaires pour les non-mots

ayant une faible fréquence phonotactique (Munson et al., 2005). Ce dernier résultat est en accord avec l'hypothèse d'un déficit de complètement des informations phonologiques en MCT à partir des informations en MLT, mais l'ensemble des résultats de ces cinq études ne permet pas de conclure quant à l'influence des connaissances phonologiques en mémoire à long terme sur les performances en mémoire à court terme chez les dysphasiques.

- **La mémoire de l'ordre sériel**

A notre connaissance, la mémoire de l'ordre chez les dysphasiques n'a été évaluée que dans une étude, au moyen d'une tâche de reconstruction de l'ordre sériel (van Weerdenburg et al., 2006). Les performances des dysphasiques y sont inférieures à celles des enfants de même âge. Deux autres études fournissent indirectement des éléments en faveur d'un déficit de la mémoire séquentielle chez les dysphasiques (Tallal & Piercy, 1973; van der Lely & Howard, 1993). Les dysphasiques présentent ainsi des performances inférieures à celles d'enfants de même âge lors d'une tâche de jugement de l'ordre de stimuli non verbaux visant à évaluer la perception auditive (Tallal & Piercy, 1973). D'autre part, l'utilisation de deux cotations distinctes de l'épreuve de rappel sériel immédiat, la cotation classique tenant compte de l'ordre de rappel et une cotation comptabilisant les items rappelés indépendamment de leur position, montre que les performances des dysphasiques sont déficitaires uniquement pour la cotation classique (van der Lely & Howard, 1993). Lorsque la cotation ne tient pas compte de l'ordre, leurs performances sont équivalentes à celles des enfants de même niveau de vocabulaire. Il faut cependant souligner que, pour la cotation classique, la différence entre les groupes dans cette étude n'était que tendancielle et que certaines réserves peuvent être émises au regard du faible échantillon évalué, ne comprenant que 6 dysphasiques.

Dans la dysphasie, le déficit de la capacité de la mémoire phonologique à court terme est stable, massif et persistant, il est lié à un déficit du stock phonologique. Chez les dyslexiques, ce déficit est moins marqué. Il n'apparaît que dans la comparaison avec les enfants de même âge et pourrait être le reflet d'un trouble de l'initiation de la répétition subvocale par l'exécuter central. Les enfants dyslexiques ont des représentations phonologiques en mémoire à long terme moins précises et plus de difficultés pour y accéder, mais, chez les dyslexiques comme chez les dysphasiques, l'influence des connaissances phonologiques en mémoire à long terme sur les performances en mémoire à court terme n'est pas définie. Différentes données suggèrent également une faiblesse de la mémoire de l'ordre dans ces deux populations, sans que les connaissances actuelles ne permettent de conclure sur la présence d'un déficit affectant cette composante.

5. Relations entre dyslexie et dysphasie

La question de la nature de la relation entre dyslexie et dysphasie : « s'agit-il de deux déficits distincts ou d'un seul déficit ? » a été posée par Bishop et Snowling (2004) ainsi que par Catts *et al.* (2005). Une question similaire est soulevée quotidiennement par les praticiens confrontés au diagnostic de la dyslexie, un enfant dyslexique n'est-il pas en fait un enfant dysphasique dont les troubles du langage oral n'auraient pas été dépistés ? Cette interrogation se justifie principalement, du fait du rôle central du trouble phonologique dans les difficultés de lecture présentées par ces deux groupes d'enfants. Elle est également légitimée, sur le plan théorique, par la présence d'un trouble potentiel de la perception auditive chez une partie des dyslexiques et par la prévalence des troubles de la lecture dans la dysphasie. Les compétences phonologiques des dyslexiques et des dysphasiques présentant un trouble de la lecture ont cependant été comparées directement dans cinq études seulement. Or, seul ce type de comparaison permet de préciser la sévérité relative des déficits affectant les différents niveaux de traitement phonologique d'un groupe à l'autre. Deux études ont comparé des dyslexiques avec et sans trouble du langage oral (Boada & Pennington, 2006; Joanisse *et al.*, 2000), une étude des enfants présentant un trouble de la lecture et des enfants présentant un trouble du langage oral (Kamhi & Catts, 1986) et deux autres études ont comparé des dysphasiques, des dyslexiques et des enfants dont les déficits remplissent les critères diagnostiques des deux troubles développementaux (Catts *et al.*, 2005; Eisenmajer *et al.*, 2005).

5.1. Comparaison des déficits phonologiques

- **Perception phonologique**

La question d'un éventuel déficit de la perception phonologique, dans la dyslexie comme dans la dysphasie, demeure un sujet de débat. Deux études ont comparé les capacités de perception phonologique des dyslexiques avec et sans trouble du langage oral (Boada & Pennington, 2006; Joanisse *et al.*, 2000). La première met en évidence un déficit de perception catégorielle limité aux enfants dyslexiques présentant un trouble du langage oral (Joanisse *et al.*, 2000). Dans la deuxième étude, la tâche utilisée impliquait une répétition de l'item et donc une sortie articuloire et les troubles de l'articulation constituaient un critère d'inclusion dans le groupe présentant un trouble du langage oral (Boada & Pennington, 2006).

- **Conscience phonologique**

Les études portant sur les deux populations séparément mettent en évidence un déficit de conscience phonologique chez les dyslexiques et les dysphasiques, non seulement

par rapport aux enfants de même âge chronologique, mais aussi par rapport aux enfants de même niveau de lecture ou de vocabulaire. Les résultats des études comparant dyslexiques, dysphasiques et dyslexiques/dysphasiques indiquent que les dyslexiques/dysphasiques ont un niveau de conscience phonologique inférieur à celui des enfants dysphasiques sans trouble de la lecture, du moins à partir de 7 ans (Catts et al., 2005; Eisenmajer et al., 2005). Le rapprochement des résultats de ces deux études suggère, en effet, que les dysphasiques sans trouble de la lecture ne présentent un déficit de conscience phonologique que jusqu'à la deuxième année de scolarisation. Quant aux dyslexiques sans trouble du langage oral, leurs performances ne se différencient ni de celles des dysphasiques ni de celles des dyslexiques/dysphasiques, ce qui indique un niveau de déficit intermédiaire (Catts et al., 2005; Eisenmajer et al., 2005). Les études comparant les dyslexiques avec ou sans trouble du langage oral mettent en évidence un déficit affectant les deux sous-groupes par rapport aux enfants de même âge chronologique (Boada & Pennington, 2006; Joanisse et al., 2000; Kamhi & Catts, 1986). Les deux études ayant inclus des enfants de même niveau de lecture s'accordent sur le déficit des dyslexiques avec un trouble du langage oral, mais une seule met en évidence un déficit des dyslexiques sans trouble du langage oral (Boada & Pennington, 2006; Joanisse et al., 2000).

- **Mémoire phonologique**

Les études réalisées auprès des dyslexiques et des dysphasiques font état d'un déficit de mémoire phonologique. Cependant, ce déficit n'apparaît que dans la comparaison avec les enfants de même âge chronologique chez les dyslexiques, tandis que chez les dysphasiques, il apparaît également en comparaison d'enfants plus jeunes, appariés sur le niveau de vocabulaire. De plus, chez les dyslexiques, l'initiation de la répétition subvocale semble mise en cause, alors que les dysphasiques souffrent d'une limitation du stock phonologique. Les études comparatives s'accordent sur la présence d'un déficit de mémoire phonologique particulièrement marqué chez les enfants dyslexiques/dysphasiques (Boada & Pennington, 2006; Catts et al., 2005; Eisenmajer et al., 2005; Kamhi & Catts, 1986). Les résultats sont en revanche contradictoires en ce qui concerne la sévérité du déficit des dyslexiques sans trouble du langage oral et des dysphasiques sans trouble du langage écrit. Certaines études montrent que les performances des dyslexiques et des dysphasiques ne se différencient ni de celles des dyslexiques/dysphasiques, ni de celles des contrôles de même âge ou de même niveau de lecture (Boada & Pennington, 2006; Eisenmajer et al., 2005), tandis que dans d'autres études, elles sont significativement inférieures à celles des enfants de même âge chronologique (Catts et al., 2005; Kamhi & Catts, 1986).

Aucune des études comparatives n'a abordé la question de l'influence des connaissances phonologiques en mémoire à long terme sur les performances en mémoire à court terme, ni n'a mesuré la mémoire de l'ordre.

Les cinq études comparant les performances des dyslexiques et dysphasiques s'accordent sur l'existence de déficits de la conscience et de la mémoire phonologiques chez les enfants ayant à la fois des troubles du langage oral et des troubles du langage écrit. L'ensemble de leurs résultats suggère que ces déficits sont moins prononcés chez les dyslexiques sans trouble du langage oral.

5.2. Hypothèses sur la nature de la relation entre dyslexie et dysphasie

Trois hypothèses principales ont été émises quant à la nature de la relation entre la dyslexie et la dysphasie. En 1986, Kamhi et Catts émettent l'hypothèse d'un continuum entre ces deux troubles développementaux. Le continuum refléterait un déficit sous-jacent commun et chaque pathologie en constituerait une extrémité. Le déficit de langage et le trouble phonologique sont proposés comme les deux déficits sous-jacents possibles (Kamhi & Catts, 1986). Les auteurs expliquent l'existence de dysphasie sans trouble du langage écrit et de dyslexie sans trouble du langage oral par des discontinuités au sein du continuum. Harm et Seidenberg (1999) se rapprochent de cette hypothèse. Sur la base de simulations réalisées avec un modèle connexionniste, ils envisagent en effet la dyslexie comme une forme moyenne des déficits typiquement relevés dans la dysphasie.

Dans un article publié près de 20 ans plus tard, Catts *et al.* (2005) considèrent la dysphasie et la dyslexie comme deux déficits fondamentalement distincts, dont seule la dyslexie serait associée à un trouble du traitement phonologique. Ces deux troubles développementaux présenteraient uniquement une plus grande fréquence de co-morbidité (Catts *et al.*, 2005). La co-morbidité fait cependant référence à deux déficits ne présentant aucune difficulté sous-jacente commune, or l'influence des déficits du langage oral sur les difficultés d'apprentissage du langage écrit implique une relation entre ces déficits (Tomblin *et al.*, 2000). De plus, la co-occurrence de ces deux troubles développementaux est plus fréquente que l'occurrence de chaque trouble isolément, ce qui implique une relation entre ces troubles (Flax *et al.*, 2003). Eisenmajer *et al.* (2005) quant à eux proposent la création d'une catégorie à part pour les enfants présentant les deux déficits.

Une position intermédiaire est défendue par Joanisse *et al.* (2000) et Bishop, Snowling et Stothard (2000, 2004). Ces auteurs considèrent les deux troubles développementaux comme distincts mais ayant un déficit commun qui affecterait le traitement et les représentations phonologiques. Les troubles développementaux se différencieraient par l'origine du déficit et/ou la présence de déficits additionnels. Joanisse *et*

al. (2000) suggèrent que le déficit phonologique s'explique par des causes différentes dans les deux troubles développementaux. Les dysphasiques présenteraient un trouble de la perception du phonème qui provoquerait un déficit des représentations phonologiques. Quant aux dyslexiques, ils présenteraient un trouble affectant les niveaux supérieurs de traitement phonologique et touchant directement l'analyse et les représentations phonologiques, dont les conséquences seraient plus limitées. Dans ce modèle, les difficultés sémantiques et syntaxiques des dysphasiques sont présentées comme des conséquences du trouble phonologique. Snowling *et al.* (2000) et Bishop et Snowling (2004) mettent en avant les déficits additionnels affectant la sémantique et la syntaxe chez les dysphasiques, déficits qui seraient indépendants du déficit commun de traitement phonologique. La distinction entre dyslexie et dysphasie serait donc qualitative en dépit d'un déficit central identique (Snowling *et al.*, 2000).

6. Objectifs de notre étude neuropsychologique

L'objectif de notre étude est de progresser dans la compréhension des troubles entravant l'apprentissage de la lecture chez les dyslexiques et les dysphasiques. Il s'inscrit dans la continuité des hypothèses considérant la dyslexie et la dysphasie comme deux troubles développementaux caractérisés par un déficit phonologique mais se différenciant par la nature de ce déficit et par la présence de déficits supplémentaires, affectant notamment le vocabulaire, chez les dysphasiques. Notre étude vise, d'une part, à préciser le/les niveau(x) de traitement phonologique déficitaire(s) dans la dyslexie et la dysphasie et d'autre part, à comparer la sévérité de ces déficits dans les deux troubles développementaux.

Nous avons pour cela évalué les différents niveaux de traitement phonologique allant de la discrimination perceptive jusqu'aux différentes composantes de la mémoire phonologique. Nous avons choisi d'analyser les performances d'enfants présentant une dyslexie phonologique et d'enfants présentant des difficultés de lecture dans le cadre d'une dysphasie phonologique-syntaxique. Les enfants présentant ce profil de dysphasie ont une atteinte du traitement de l'entrée et de la sortie phonologique et sont particulièrement sujets aux troubles de la lecture, à l'inverse des enfants présentant un déficit isolé de phonologie expressive qui ne paraît pas compromettre pas l'acquisition des habiletés de lecture (Conti-Ramsden *et al.*, 1997; Snowling *et al.*, 2000). De plus, ces enfants ne présentent généralement pas de trouble articulaire pouvant constituer un facteur confondant important, mais souffrent de troubles du vocabulaire et de la syntaxe (Conti-Ramsden & Durkin, 2007). Dans la lignée des hypothèses de Joannis *et al.* (2000) et Bishop, Snowling et Stothard (2000, 2004), considérant la dyslexie et la dysphasie comme deux pathologies distinctes ayant un trouble phonologique commun, ce profil de dysphasie, regroupant

troubles phonologiques, syntaxiques et sémantiques, nous est donc apparu comme le plus à même d'apporter des éléments de réponses sur la nature de la relation entre dysphasie et dyslexie. Afin de distinguer les effets liés à l'âge et ceux liés au niveau de lecture, nous avons comparé les performances des dyslexiques et des dysphasiques avec celles de deux groupes contrôles, l'un apparié pour l'âge et l'autre pour le niveau de lecture

Nous avons voulu tester deux hypothèses. 1) Les données de la littérature suggèrent que les dyslexiques comme les dysphasiques présentent un déficit marqué de la conscience phonologique et des connaissances phonologiques en mémoire à long terme. 2) Les dysphasiques se distingueraient des dyslexiques car ils auraient, en plus, des troubles de discrimination perceptive et de la mémoire phonologique, affectant notamment la capacité de la mémoire à court terme.

Chapitre 2 : Expériences

1. Matériel et Méthode

1.1. Sujets

44 enfants âgés de 7 à 14 ans ont participé à l'étude (Tableau II.A). Deux groupes d'enfants présentant des troubles de la lecture, dyslexiques et dysphasiques, ont été comparés à deux groupes d'enfants contrôles. Les enfants ne présentaient aucun trouble auditif ou visuel. Les consentements éclairés des parents et des enfants ont été obtenus avant l'étude.

Les 24 enfants présentant des difficultés de lecture, dyslexiques et dysphasiques, ont été recrutés parmi les patients du Centre Référent des Troubles des Apprentissages des Hôpitaux Universitaires de Strasbourg. Ils avaient un retard de lecture d'au moins 18 mois par rapport à leur âge chronologique, mesuré grâce au test de l'Alouette (Lefavrais, 1967) et un QI performance supérieur ou égal à 85 au WISC III ou IV (Wechsler, 1991, 2005). Les deux groupes ont été constitués sur la base d'un diagnostic clinique multidisciplinaire incluant une évaluation psychologique, orthophonique et neuropédiatrique. L'absence de trouble du langage oral des dyslexiques et le profil phonologique-syntaxique des dysphasiques ont été établis à partir d'une batterie de tests évaluant la production verbale spontanée, le vocabulaire expressif et réceptif ainsi que la compréhension et la production de phrases. Leurs performances étaient dans la norme à diverses épreuves non-verbales incluant notamment des épreuves de mémoire visuelle comme les blocs de Corsi et le test de rétention visuelle de Benton (Milner, 1971; Sivan, 1992).

Le groupe de dyslexiques incluait 14 enfants présentant un diagnostic de dyslexie développementale en l'absence d'antécédents de retard de langage (rapportée par les parents). Le groupe de dysphasiques incluait 10 enfants ayant un diagnostic de dysphasie phonologique-syntaxique d'après la classification de Rapin et Allen (Conti-Ramsden & Botting, 1999; Rapin, 1996; Rapin et al., 1992). Leurs performances étaient inférieures d'au moins 1,5 écart-type aux performances moyennes des enfants de même âge aux tests de vocabulaire expressif et réceptif, de répétition de phrases et de compréhension et production verbale (Dunn et al., 1993; Lecocq, 1996). Ils présentaient également des difficultés dans la compréhension de phrases et de mots complexes et du langage abstrait. Leurs productions spontanées étaient brèves et présentaient des omissions et/ou des erreurs grammaticales de flexion et de construction. Leurs habiletés oromotrices évaluées par l'épreuve de la NEPSY se situaient en revanche dans la norme pour leur âge (Korkman, Kirk, & Kemp, 2003).

Afin de distinguer les effets liés à l'âge de ceux liés au niveau de lecture, deux groupes contrôles de 10 enfants chacun ont été constitués. Le premier groupe était apparié aux groupes expérimentaux sur l'âge chronologique et le deuxième sur l'âge de lecture (mesuré au test de l'Alouette). Ces enfants ont été recrutés dans les écoles de la communauté urbaine de Strasbourg ainsi que dans les familles des employés des Hôpitaux Universitaires de Strasbourg et des laboratoires de l'Université Louis Pasteur de Strasbourg. Ils présentaient des performances verbales et des habiletés de raisonnement non-verbales normales, mesurées grâce aux matrices couleur de Raven (PM47) (Ionescu et al., 1992; Raven, 1956, 1981).

Tableau II.A Caractéristiques des quatre groupes d'enfants

	Dyslexiques		Dysphasiques		Groupe apparié pour l'âge chronologique		Groupe apparié pour l'âge de lecture		Statistiques (ANOVAs réalisées avec le facteur groupe)
	M	E-T	M	E-T	M	E-T	M	E-T	
Nombre	14		10		10		10		
Age chronologique	11;2	2;1	11;9	2;0	11;9	2;10	8;7 ^a	1;1	F(3,40) = 7,25 p < .001
Age de lecture	7;10	0;9	7;11	1;1	11;10 ^b	1;6	8;8	0;11	F(3,40) = 33.37 p < .001
Score standard au test de l'EVIP	116,2	14,2	100,8 ^a	6,5	118,1	10	120,9	12,5	F(3,40) = 6.16 p < .01

NB : M : Moyenne – E-T : Ecart-type ; EVIP : Echelle de Vocabulaire en Image Peabody (Dunn *et al.* 1993) ; les âges chronologiques et de lecture sont exprimés en années;mois.

^a : Valeur du groupe inférieure à celle de tous les autres groupes

^b : Valeur du groupe supérieure à celle de tous les autres groupes

1.2. Procédure

Les enfants ont été évalués individuellement sur le lieu de recherche en une ou deux sessions en fonction de leur âge et de leur disponibilité. Les épreuves ont été présentées dans le même ordre à tous les enfants, en alternant les différents types d'épreuves afin d'éviter les effets de fatigue et de lassitude (cf. Annexe 3c).

1.3. Epreuves

Les épreuves utilisées dans cette étude sont identiques à celle de l'étude développementale, elles sont décrites dans la première partie, dans la section 1.1.2 du chapitre 2. Les épreuves de lecture, de vocabulaire réceptif et expressif, de discrimination phonologique et de conscience phonologique ainsi que l'épreuve de répétition de non-mots sont en tous points identiques à celles administrées lors de l'étude longitudinale. L'épreuve

de rappel sériel immédiat inclut des listes de 1 à 6 items, celle de reconnaissance de non-mots des listes de 2 à 5 items et celle de reconnaissance de l'ordre sériel de chiffres des listes de 3 à 6 chiffres.

Pour l'épreuve de rappel sériel immédiat, évaluant simultanément la mémoire de l'ordre et la mémoire de l'item, nous avons procédé à deux cotations distinctes, suivant celles utilisées par Van der Lely et Howard (1993) et Majerus et Van Der Linden (2003), afin de différencier les effets liés à ces deux composantes de la mémoire phonologique. Les réponses enregistrées ont premièrement été cotées par liste, un point était attribué pour chaque liste d'item étant intégralement restituée dans l'ordre. La cotation par item attribuait un point par item correctement répété, indépendamment de sa position dans la liste et de l'intégrité de la liste.

1.4. Analyses statistiques

Les temps de réponses n'ont pas pu être analysés, pour les raisons énoncées auparavant.

Nous avons vérifié pour chaque condition de chaque épreuve si les performances des enfants étaient supérieures au hasard, dans le cas de réponses binaires, et inférieures à un seuil plafond fixé à 95 % de bonnes réponses. Les analyses statistiques n'ont pas inclus les conditions ne remplissant pas ces critères. Ces analyses préliminaires nous permettaient de préciser, respectivement, les conditions difficiles et celles particulièrement réussies pour les enfants. Des analyses de variance (ANOVAs) ont ensuite été réalisées sur les résultats aux différentes épreuves et complétées, si nécessaire, par des comparaisons post-hoc (test de Newman-Keuls, significatif à $p < .05$). Ces analyses ont été réalisées au moyen du logiciel Statistica 6.0 (StatSoft, France, 2001).

2. Résultats

• Compétences lexicales et lecture

- Vocabulaire
 - *Dénomination*

Le tableau II.1 présente les performances des enfants des quatre groupes.

Tableau II.1 : Performances moyennes (en %) et écart-type pour les quatre groupes à l'épreuve de dénomination

	Dyslexiques		Dysphasiques		Contrôles appariés sur le niveau de lecture		Contrôles appariés sur l'âge chronologique	
	M	E-T	M	E-T	M	E-T	M	E-T
Mots fréquents	93,3	4,7	90,4	7,3	93,8	4,0	94,8	4,8
Mots rares	66,0	11,9	48,8	18,5	58,0	10,9	72,4	11,8

L'ANOVA réalisée avec le facteur inter-sujet groupe et le facteur intra-sujet fréquence lexicale montre un effet significatif du groupe ($F(3,40) = 4.82$, $p < .01$) et de la fréquence lexicale ($F(1,40) = 370.46$, $p < .00001$), ainsi qu'une interaction significative groupe x fréquence lexicale ($F(3,40) = 6.48$, $p < .01$) (Tableau II.1). Les analyses post-hoc révèlent des performances significativement plus faibles pour les dysphasiques par rapport aux dyslexiques et aux enfants de même âge mais équivalentes à celles des enfants de même niveau de lecture. Les performances de ces trois groupes ne sont pas différentes entre elles. L'analyse de l'interaction indique que l'infériorité des performances des dysphasiques par rapport à celles des dyslexiques et des enfants de même âge n'est significative que pour les mots rares, condition où les performances des enfants appariés sur le niveau de lecture sont également significativement plus faibles que celles des enfants appariés sur l'âge chronologique.

- Lecture
 - *Epreuve de reconnaissance de mot de Khomsi*

Le tableau II.2 présente les performances des enfants des quatre groupes en fonction de conditions.

Tableau II.2 : Performances moyennes (en %) et écart-type pour les quatre groupes dans les différentes conditions à l'épreuve de reconnaissance des mots de Khomsi

Conditions	Dyslexiques		Dysphasiques		Contrôles appariés sur le niveau de lecture		Contrôles appariés sur l'âge chronologique	
	M	E-T	M	E-T	M	E-T	M	E-T
Correcte	93,6	11,8	95,0	7,5	93,5	11,3	98,0	3,5
Paralexie sémantique (e.g. <i>glace-tarte</i>)	85,7	11,6	77,0	14,2	82,0	9,2	83,0	10,6
Paralexie littérale (e.g. <i>pint-pont</i>)	76,4	20,2	79,0	25,6	92,0	12,3	99,0	3,2
Homophone (e.g. <i>châto</i>)	57,1	17,7	52,0	21,0	78,0	20,4	91,0	15,2

Les performances des enfants appariés sur l'âge chronologique sont plafond pour la condition correcte et celles des dyslexiques et des dysphasiques ne sont pas significativement supérieures au hasard à la condition homophone. L'analyse a donc été réalisée à partir des paires présentant une relation sémantique entre le mot et l'image (condition paralexie sémantique) et des paires dont le non-mot correspond au nom de l'image à une lettre près (condition paralexie littérale).

L'ANOVA réalisée avec le facteur inter-sujet groupe et le facteur intra-sujet type d'item (paralexie sémantique et paralexie littérale) montre un effet principal significatif du groupe ($F(3,40) = 3.52, p < .05$) et une interaction significative groupe x type d'item ($F(6,40) = 2.88, p < .05$). L'effet principal du type d'item n'est pas significatif ($F(1,40) = 1.9, ns$). Les analyses post-hoc révèlent des performances significativement plus faibles pour les dysphasiques par rapport aux enfants de même âge, tandis que cette différence n'est que tendancielle pour les dyslexiques ($p = .068$). Les performances des dyslexiques, dysphasiques et enfants de même niveau de lecture ne diffèrent pas significativement. L'analyse de l'interaction indique que les performances sont significativement plus faibles pour les dyslexiques et les dysphasiques par rapport aux enfants de même âge uniquement pour la condition paralexie littérale.

- **Discrimination phonologique**

Le tableau II.3a présente les performances des enfants des quatre groupes en fonction du type de paire.

Tableau II.3 : Performances moyennes (en %) et écart-type pour les quatre groupes du type de paire dans l'épreuve de discrimination phonologique

	Dyslexiques		Dysphasiques		Contrôles appariés sur le niveau de lecture		Contrôles appariés sur l'âge chronologique	
	M	E-T	M	E-T	M	E-T	M	E-T
Identique	91,8	7,8	90,8	9,6	94,7	4,9	98,4	2,2
Différente	89,1	6	79,5	14,5	89	7,2	96	3,7

Tous les groupes ayant des performances supérieures à 90 % de bonnes réponses pour les paires de syllabes identiques, nos analyses n'ont porté que sur les paires différentes (Tableau II.3).

Nous avons effectué une ANOVA avec le facteur inter-sujet groupe et le facteur intra-sujet mode d'articulation (occlusive – fricative – liquide/nasale) (Tableau II.3b).

Tableau II.3b : Performances moyennes (en %) et écart-type pour les quatre groupes en fonction du mode d'articulation dans l'épreuve de discrimination phonologique

Mode d'articulation	Dyslexiques		Dysphasiques		Contrôles appariés sur le niveau de lecture		Contrôles appariés sur l'âge chronologique	
	M	E-T	M	E-T	M	E-T	M	E-T
Occlusives (e.g. /ga/, /kra/)	86,9	6,8	73,8	14,6	85,6	9,9	93,8	6,3
Fricatives (e.g. /fa/, /vra/)	93,8	5,5	83,5	13,8	92	7,1	98	2,6
Liquides/nasales (e.g. /na/, /ma/)	89,4	15,2	83,8	19,6	96,3	6	98,8	4

NB : Afin de nous assurer que les performances plafond des enfants de même âge ne diminuent pas la sensibilité de nos analyses, nous avons réitéré nos analyses sans ce groupe (annexe 4a). Les résultats en sont identiques.

Cette analyse de variance indique un effet significatif du groupe ($F(3,39) = 6.37$, $p < .01$) et du mode d'articulation ($F(2,78) = 12.1$, $p < .001$). L'interaction groupe x mode d'articulation n'est en revanche pas significative ($F(6,78) = 1.11$, ns) (Tableau II.3). Les analyses post-hoc indiquent que les performances des dysphasiques sont significativement inférieures à celles des trois autres groupes, non différentes entre elles, et montrent dans tous les groupes des performances significativement plus faibles pour les paires occlusives par rapport aux paires impliquant des fricatives ou des liquides/nasales.

Une deuxième ANOVA a été réalisée avec le facteur inter-sujet groupe et le facteur intra-sujet traits articulatoires (voisement – lieu d’articulation) (Figure II.1).

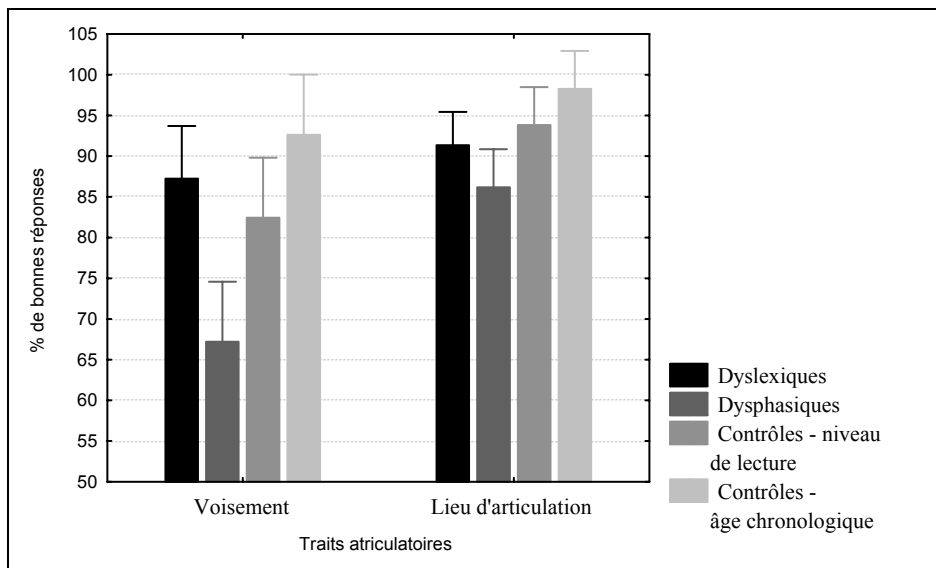


Figure II.1 : Performances moyennes (en %) pour les quatre groupes à l'épreuve de discrimination phonologique en fonction des traits articulatoires (les barres d'erreurs correspondent à la déviation standard)

Cette analyse met en évidence un effet significatif des facteurs groupe ($F(3,39) = 8.17, p < .001$), trait articulatoire ($F(1,39) = 58.83, p < .00001$) et de l'interaction groupe x trait articulatoire ($F(3,39) = 6.71, p < .001$). Les analyses post-hoc confirment que les performances des dysphasiques sont significativement plus faibles que celles des trois autres groupes. L'analyse de l'interaction indique que les performances des dysphasiques ne sont inférieures à celles des trois autres groupes que pour les paires de syllabes se différenciant par le voisement (e.g. /pal-/bal) et que les performances obtenues par les dysphasiques et les enfants de même niveau de lecture à cette condition sont significativement plus faibles que celles obtenues à la discrimination de paires de syllabes se différenciant par le lieu d'articulation (e.g. /tal-/pal).

- **Conscience phonologique**
 - Jugement de l'unité commune
 - *Jugement de rime*

Le tableau II.4 présente les performances des enfants des quatre groupes en fonction de conditions.

Tableau II.4 : Performances moyennes (en %) et écart-type pour les quatre groupes dans les différentes conditions de l'épreuve de jugement de la rime commune

Conditions	Dyslexiques		Dysphasiques		Contrôles appariés sur le niveau de lecture		Contrôles appariés sur l'âge chronologique	
	M	E-T	M	E-T	M	E-T	M	E-T
Orthographe identique (e.g. <i>tarte-carte</i>)	93,6	8,4	90,7	18,8	93,3	8,6	96,7	10,5
Orthographe différente (e.g. <i>loup-chou</i>)	83,3	15,2	61,1	28,9	96,7	7,0	93,3	11,6
Différente (e.g. <i>gâteau-bonbon</i>)	94,2	11,0	94,4	11,0	100,0	0,0	92,5	12,1
Coda identique (e.g. <i>chaise-rose</i>)	76,9	29,7	52,8	42,3	85,0	24,2	90,0	17,5
Voyelle identique (e.g. <i>vache-table</i>)	80,8	18,1	72,2	26,4	80,0	42,2	92,5	23,7

Les enfants appariés sur l'âge chronologique présentent des performances plafond pour les paires d'images dont les noms sont totalement différents. Les performances pour les rimes non-homographes ne sont pas significativement différentes du hasard pour les dyslexiques et les dysphasiques, celles des images dont les noms ont une coda identique ne sont pas différentes du hasard pour les dyslexiques et celles dont les noms ont une voyelle commune pour les dysphasiques et les enfants de même niveau de lecture. Seules les paires de mots présentant une rime orthographiée de manière identique étant exploitables, l'analyse par conditions n'a pas été réalisée.

- *Jugement de syllabe commune*

Le tableau II.5 présente les performances des enfants des quatre groupes en fonction de conditions.

Tableau II.5 : Performances moyennes (en %) et écart-type pour les quatre groupes dans les différentes conditions de l'épreuve de jugement de la syllabe commune

Conditions	Dyslexiques		Dysphasiques		Contrôles appariés sur le niveau de lecture		Contrôles appariés sur l'âge chronologique	
	M	E-T	M	E-T	M	E-T	M	E-T
1 ^{ère} syllabe (e.g. <i>serviette-serpent</i>)	83,3	23,6	91,7	8,9	95,0	11,2	96,7	7,0
Mixte (e.g. <i>hibou-bouteille</i>)	66,7	25,6	60,4	21,7	68,3	31,9	90,0	16,1
Différente (e.g. <i>carotte-sucette</i>)	87,5	21,5	77,1	28,1	90,0	14,1	90,0	16,1
Similitude labiale mixte (e.g. <i>chameau-bouton</i>)	88,9	21,7	79,2	24,8	90,0	16,1	90,0	22,5
Similitude labiale 1 ^{ère} (e.g. <i>chapeau-girafe</i>)	75,0	28,9	75,0	15,4	90,0	22,5	96,7	39,9

Les enfants appariés sur l'âge chronologique présentent des performances plafond pour les paires de mots ayant la première syllabe en commun et les paires de mots présentant une similitude labiale sur la première syllabe. Les trois autres groupes présentent des performances non significativement différentes du hasard pour les paires dont la syllabe identique n'est pas placée au même endroit dans les deux mots (condition mixte). L'analyse a donc été réalisée avec les performances pour les paires de mots totalement différents et pour celles présentant une similitude labiale sur des syllabes placées à différents endroits des mots (condition similitude labiale mixte).

L'ANOVA réalisée avec le facteur inter-sujet groupe et le facteur intra-sujet condition n'a mis en évidence aucun effet significatif ($F < 1$, ns pour les deux effets principaux et l'effet d'interaction).

▪ *Jugement de phonème commun*

Le tableau II.6 présente les performances des enfants des quatre groupes en fonction de conditions.

Tableau II.6 : Performances moyennes (en %) et écart-type pour les quatre groupes dans les différentes conditions de l'épreuve de jugement du phonème commun

Conditions	Dyslexiques		Dysphasiques		Contrôles appariés sur le niveau de lecture		Contrôles appariés sur l'âge chronologique	
	M	E-T	M	E-T	M	E-T	M	E-T
1 ^{er} orthographe identique (e.g. <i>chat-chaise</i>)	73,8	35,0	80,0	35,8	96,7	10,5	100,0	0,0
1 ^{er} orthographe différente (e.g. <i>phoque-feu</i>)	66,7	34,6	40,0	41,0	100,0	0,0	80,0	28,1
Mixte orthographe identique (e.g. <i>botte-cube</i>)	59,5	32,5	46,7	39,1	56,7	35,3	60,0	21,1
Mixte orthographe différente (e.g. <i>jambe-luge</i>)	54,8	31,0	50,0	28,3	63,3	29,2	66,7	22,2
Différente (e.g. <i>lion-verre</i>)	82,1	33,1	72,5	36,2	82,5	23,7	90,0	21,1
Similitude labiale 1 ^{er} (e.g. <i>nid-tasse</i>)	78,6	29,2	67,5	31,3	87,5	17,7	92,5	12,1
Similitude labiale mixte (e.g. <i>doigt-canne</i>)	75,0	25,9	67,5	29,0	87,5	21,2	92,5	16,9

Les deux groupes contrôles présentent des performances plafond pour les paires de mots ayant en commun le premier phonème orthographié de manière identique. Les performances pour les paires de mots ayant en commun le premier phonème orthographié de manière différente sont plafond pour les enfants appariés sur le niveau de lecture et non différentes du hasard pour les enfants dysphasiques. Les enfants appariés sur le niveau de lecture, dyslexiques et dysphasiques présentent des performances non différentes du hasard pour les paires de mots ayant en commun un phonème placé à des endroits différents des deux mots qu'il soit orthographié de manière identique ou différente (conditions mixtes orthographe identique et différente). Nous avons donc effectué l'analyse avec les performances obtenues pour les paires de mots présentant une similitude labiale sur le premier phonème ou sur des phonèmes placés en différents endroits du mot (condition similitude labiale mixte) ainsi qu'avec celles obtenues pour les paires de mots totalement différents.

L'ANOVA réalisée avec le facteur inter-sujet groupe et le facteur intra-sujet condition ne révèle aucun effet significatif (groupe ($F_{3,38}$) = 1.14, ns – condition $F < 1$ – interaction groupe x condition $F < 1$).

Afin de tester l'influence de la taille de l'unité phonologique sur les performances en conscience phonologique, nous avons procédé à une ANOVA sur les performances moyennes à chaque épreuve de jugement de l'unité commune (Figure II.2).

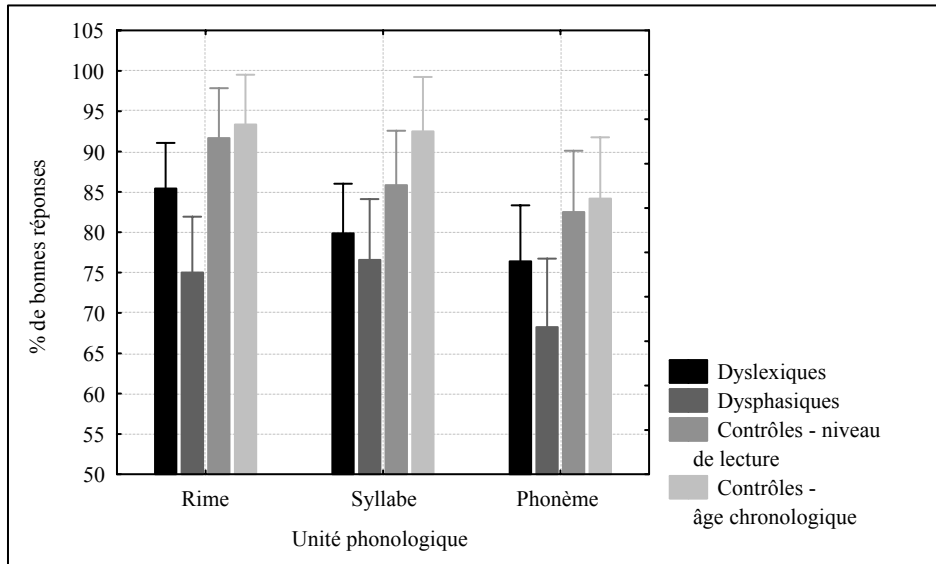


Figure II.2 : Performances moyennes (en %) pour les quatre groupes aux épreuves de jugement de l'unité commune (les barres d'erreurs correspondent à la déviation standard)

Cette ANOVA, réalisée avec le facteur inter-sujet groupe et le facteur intra-sujet unité (rime, syllabe et phonème), met en évidence un effet significatif du groupe ($F(1,39) = 7.91$, $p < .001$) et de l'unité ($F(2,72) = 9.29$, $p < .001$) mais pas d'interaction groupe x type d'unité ($F < 1$). Les analyses post-hoc révèlent des performances significativement inférieures pour les dysphasiques par rapport à tous les autres groupes et pour les dyslexiques uniquement par rapport aux enfants de même âge. Elles montrent également des performances significativement inférieures, pour tous les groupes, pour le jugement du phonème commun par rapport aux jugements de la rime et de la syllabe commune, non différentes entre elles.

○ Suppression du phonème initial

Le tableau II.7 présente les performances des enfants des quatre groupes en fonction de conditions.

Tableau II.7 : Performances moyennes (en %) et écart-type pour les quatre groupes dans les différentes conditions de l'épreuve de suppression du phonème initial

Conditions	Dyslexiques		Dysphasiques		Contrôles appariés sur le niveau de lecture		Contrôles appariés sur l'âge chronologique	
	M	E-T	M	E-T	M	E-T	M	E-T
Suppression (<i>e.g. doigt-oie</i>)	92,3	12,0	88,9	13,2	98,3	3,5	99,2	2,6
Différente (<i>e.g. fraise-chien</i>)	96,2	10,0	87,0	27,4	96,7	7,0	96,7	7,0
Rime commune (<i>e.g. loup-roue</i>)	65,4	27,6	72,2	26,4	56,7	41,0	91,7	47,3

Nous avons relevé des performances plafond pour les deux groupes contrôles lorsque le deuxième mot correspond bien au résultat de la suppression du premier phonème du premier mot et lorsque les deux mots sont totalement différents, condition pour laquelle les performances des dyslexiques sont également plafond. Les performances pour les mots présentant une rime commune ne sont en revanche pas significativement différentes du hasard pour les dyslexiques et les enfants appariés sur le niveau de lecture. L'analyse par condition n'a donc pas été effectuée.

- **Mémoire phonologique**

- Répétition de non-mots

La figure II.3 présente les performances des enfants des quatre groupes en fonction des conditions.

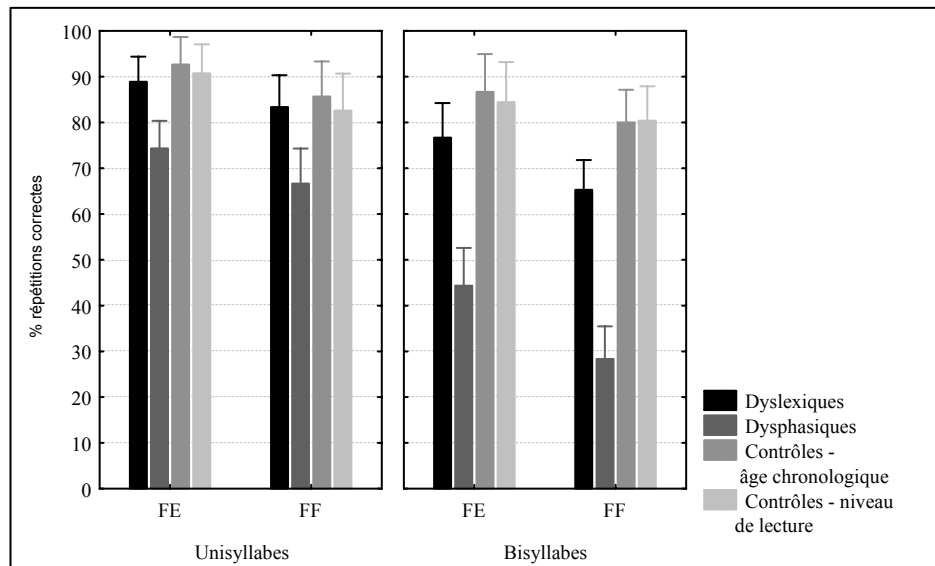


Figure II.3 : Performances moyennes (en %) pour les quatre groupes à l'épreuve de répétition de non-mots (les barres d'erreurs correspondent à la déviation standard)

FE : fréquence phonotactique élevée – FF : fréquence phonotactique faible

L'ANOVA réalisée avec le facteur inter-sujet groupe et les facteurs intra-sujet fréquence phonotactique (élevée vs faible) et nombre de syllabes (unisyllabiques vs bisyllabiques) indique un effet significatif de chacun de ces facteurs (groupe $F(3,37) = 28.03$, $p < .0001$, fréquence phonotactique $F(1,37) = 49.08$, $p < .00001$, nombre de syllabes $F(1,33) = 90.66,14$, $p < .00001$), ainsi qu'une interaction significative groupe x nombre de syllabes ($F(3,37) = 18.76$, $p < .0001$). Les analyses post-hoc montrent des performances significativement inférieures pour les dysphasiques par rapport aux trois autres groupes, non différents entre eux. L'analyse de l'interaction révèle néanmoins que les performances des dysphasiques ne sont inférieures aux performances des trois autres groupes que pour les non-mots bisyllabiques, leurs performances pour les non-mots unisyllabiques étant significativement inférieures uniquement à celles obtenues par les enfants de même âge. Par ailleurs, seuls les dyslexiques et les dysphasiques présentent des performances inférieures pour les non-mots bisyllabiques par rapport aux non-mots unisyllabiques. Les interactions groupe x fréquence phonotactique ($F(3,37) = 1.11$, ns), fréquence phonotactique x nombre de syllabes ($F(1,37) = 1.57$, ns) et groupe x fréquence phonotactique x nombre de syllabes ($F(3,37) = 2.04$, ns) ne sont pas significatives.

○ Rappel sériel immédiat

En raison de l'échec des enfants dyslexiques et dysphasiques lors du rappel des listes de 4, 5 et 6 items, les analyses ont été réalisées à partir des performances aux listes de 1, 2 et 3 items.

Nous avons tout d'abord étudié la capacité de la mémoire à court terme en effectuant des ANOVAs avec le facteur inter-sujet groupe et le facteur intra-sujet longueur de la liste en moyennant les performances aux trois types d'items (mots, non-mots de fréquence phonotactique élevée et non-mots de fréquence phonotactique faible). Les performances obtenues par les quatre groupes d'enfants pour toutes les longueurs avec les deux cotations sont présentées en annexe 4b

La figure II.4 présente les performances des enfants des quatre groupes en fonction de la longueur de la liste dans la cotation par liste.

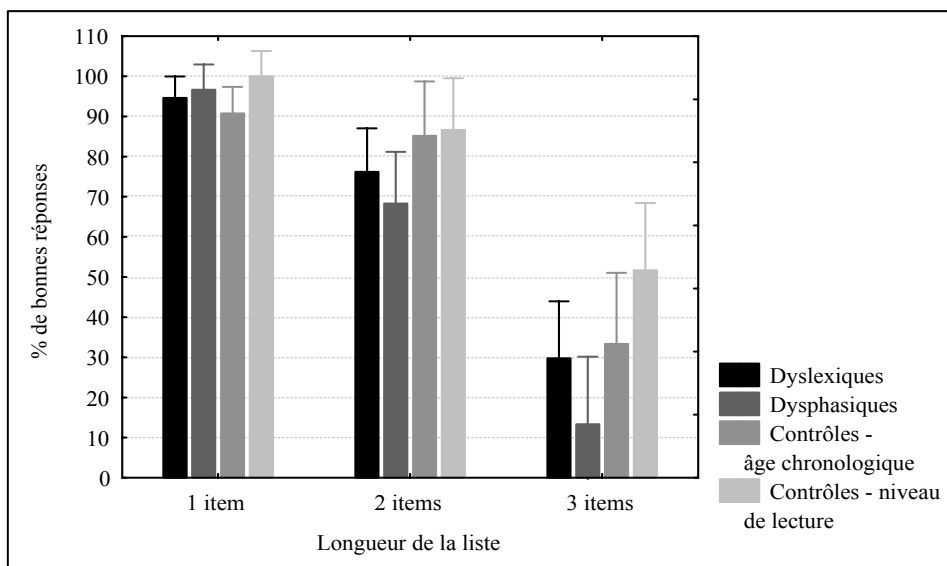


Figure II.4 : Performances moyennes (en %) pour les quatre groupes pour la cotation par liste de l'épreuve de rappel sériel immédiat (les barres d'erreurs correspondent à la déviation standard)

L'ANOVA réalisée à partir de la cotation par liste montre un effet significatif des facteurs groupe ($F(3,39) = 4.02$, $p < .05$) et longueur de la liste ($F(2,78) = 134.14$, $p < .00001$). L'interaction groupe x longueur de la liste est tendancielle ($F(6,78) = 1.89$, $p = .09$). Les analyses post-hoc indiquent que les performances des dysphasiques sont significativement inférieures à celles des enfants de même âge. Les performances des enfants appariés sur le niveau de lecture et de dyslexiques ne présentent de différence significative avec celles d'aucun groupe. L'analyse de l'interaction révèle que la différence

entre les performances des dysphasiques et des enfants de même âge n'est significative que pour les listes de longueur 3 items. Les dysphasiques montrent une diminution de leurs performances dès les listes de deux items, tandis que les performances des dyslexiques et des enfants des deux groupes contrôles ne diminuent significativement qu'à partir des listes de 3 items.

La figure II.5 présente les performances des enfants des quatre groupes en fonction de la longueur de la liste dans la cotation par item.

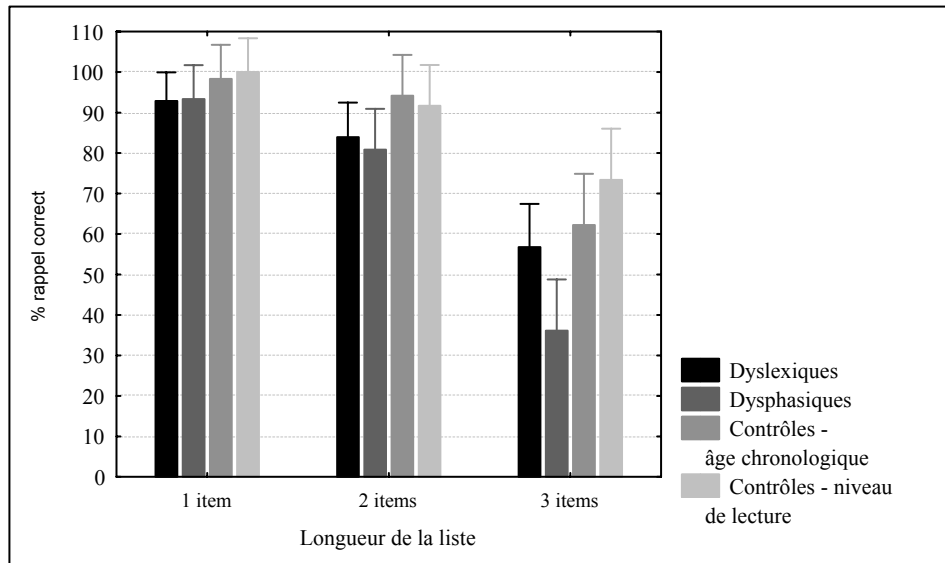


Figure II.5 : Performances moyennes (en %) pour les quatre groupes pour la cotation par item de l'épreuve de rappel sériel immédiat (les barres d'erreurs correspondent à la déviation standard)

L'ANOVA réalisée à partir de la cotation par item montre un effet significatif du groupe ($F(3,40) = 3.92, p < .05$) et de la longueur de la liste ($F(2,80) = 118.35, p < .00001$), mais aussi un effet significatif de l'interaction groupe x longueur de la liste ($F(6,80) = 3.28, p < .01$). Les analyses post-hoc révèlent des performances significativement inférieures chez les enfants dysphasiques par rapport aux deux groupes contrôles. Les performances des dyslexiques ne diffèrent de celles d'aucun groupe. L'analyse de l'interaction indique que les performances des dysphasiques ne sont significativement inférieures à celles des trois autres groupes que pour les listes de 3 items, longueur où tous les groupes présentent une diminution significative de leurs performances.

Pour étudier l'influence respective des connaissances phonologiques lexicales et sublexicales, nous avons procédé à deux séries d'analyses, comparant, d'une part, les performances pour les mots et les non-mots de fréquence phonotactique élevée, afin d'isoler

l'effet de lexicalité (Figure II.6) et d'autre part, les performances pour les non-mots de fréquence phonotactique élevée (NMFE) et les non-mots de fréquence phonotactique faible (NMFF), évaluant l'effet de fréquence phonotactique (Figure II.7).

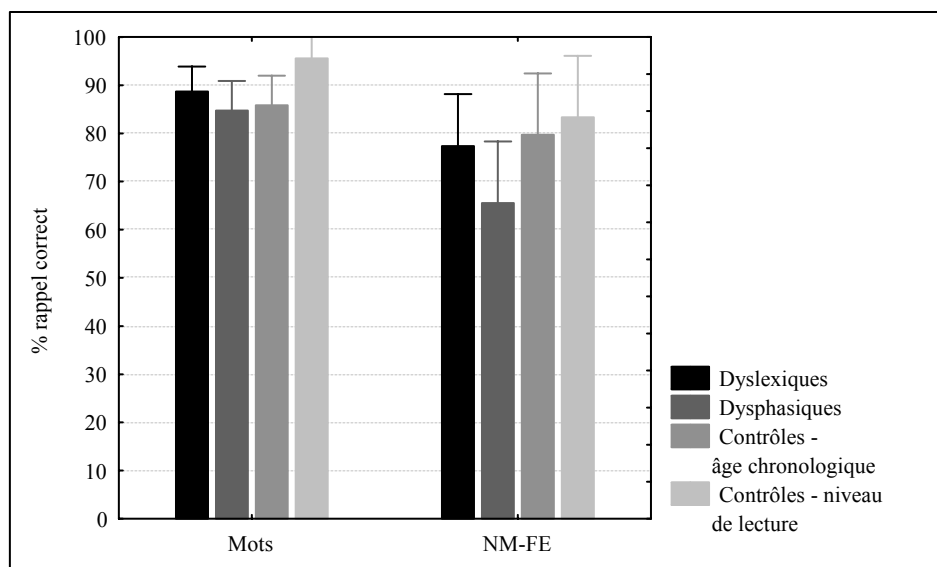


Figure II.6 : Performances moyennes (en %) pour les quatre groupes pour le rappel sériel immédiat de mots et non-mots (les barres d'erreurs correspondent à la déviation standard) - NM-FE : non-mots de fréquence phonotactique élevée

Dans la première comparaison mesurant l'effet de lexicalité (Figure II.6), l'ANOVA réalisée à partir de la cotation par liste et avec le facteur inter-sujet groupe et le facteur intra-sujet type d'item (mots vs NMFE) révèle un effet significatif du type d'item ($F(1,40) = 5.88$, $p < .05$) et un effet tendanciel du groupe ($F(3,40) = 2.44$, $p = .079$). L'interaction groupe x type d'item n'est pas significative ($F < 1$). Malgré les performances significativement supérieures pour les mots par rapport aux NMFE tous groupes confondus, les analyses post-hoc ne montrent d'effet de lexicalité pour aucun groupe. Par ailleurs, aucune différence significative n'apparaît entre les performances des quatre groupes. L'ANOVA réalisée avec les mêmes facteurs à partir de la cotation par item présente un patron de résultats globalement similaire avec un effet significatif du type d'item ($F(1,40) = 15.25$, $p < .001$), un effet tendanciel du groupe ($F(3,40) = 1.45$, $p = .078$) et pas d'interaction groupe x type d'item ($F < 1$). Les analyses post-hoc montrent néanmoins des performances significativement plus faibles pour les dysphasiques par rapport aux enfants de même âge et la présence de l'effet de lexicalité uniquement pour les dysphasiques. Les performances des dyslexiques et des enfants appariés sur le niveau de lecture ne diffèrent de celles d'aucun groupe.

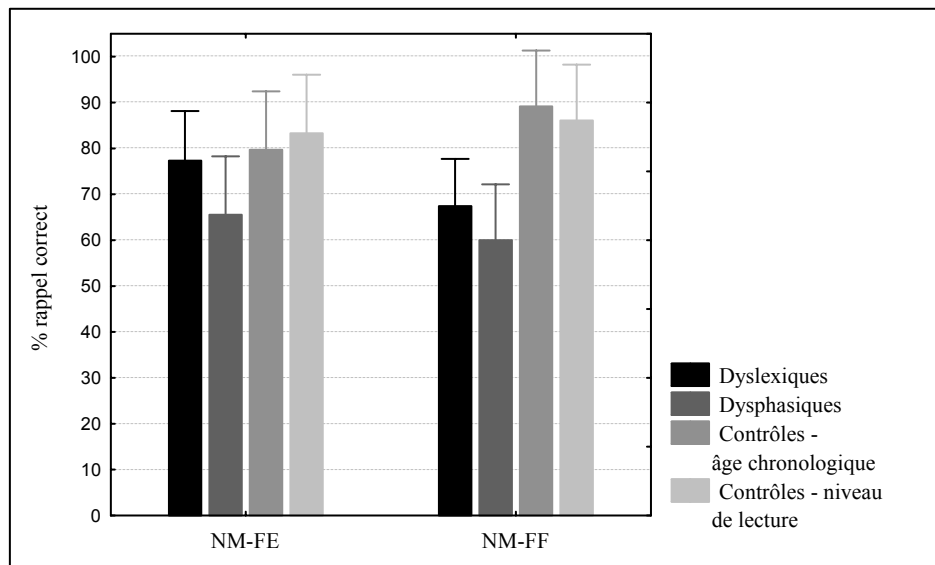


Figure II.7 : Performances moyennes (en %) pour les quatre groupes pour le rappel sériel immédiat de non-mots de fréquence phonotactique élevée (NM-FE) et de fréquence phonotactique faible (NM-FF) (les barres d'erreurs correspondent à la déviation standard)

Dans la deuxième comparaison, ciblant l'effet de fréquence phonotactique (Figure II.7), l'ANOVA réalisée à partir de la cotation par liste avec le facteur inter-sujet groupe et le facteur intra-sujet fréquence phonotactique (NMFE vs NMFF) indique un effet significatif du groupe ($F(3,40) = 3.32, p < .05$), mais pas d'effet significatif de la fréquence phonotactique ($F(1,40) = 2.28, ns$). L'interaction groupe x fréquence phonotactique est tendancielle ($F(3,40) = 2.38, p = .084$). Les analyses post-hoc montrent que les dysphasiques ont des performances significativement plus faibles que celles des enfants de même âge, mais ne révèlent aucun effet de fréquence phonotactique pour aucun groupe. Les performances des dyslexiques et des enfants de même niveau de lecture ne diffèrent de celles d'aucun groupe. L'ANOVA réalisée avec les mêmes facteurs à partir de la cotation par item indique un effet significatif du groupe ($F(3,40) = 3.5, p < .05$) ainsi qu'une interaction significative groupe x fréquence phonotactique ($F(3,40) = 3.74, p < .05$). L'effet de fréquence phonotactique n'est pas significatif ($F < 1$). Les analyses post-hoc montrent que les performances des dysphasiques sont significativement plus faibles que celles des deux groupes contrôles et que les performances des dyslexiques ne diffèrent de celles d'aucun groupe. L'effet de fréquence phonotactique est significative uniquement chez les dyslexiques.

○ Reconnaissance de non-mots

Le tableau II.8 présente les performances des enfants des quatre groupes en fonction de la longueur des listes.

Tableau II.8 : Performances moyennes (en %) et écart-type pour les quatre groupes par longueur de liste à l'épreuve de reconnaissance de non-mots

Longueur	Dyslexiques		Dysphasiques		Contrôles appariés sur le niveau de lecture		Contrôles appariés sur l'âge chronologique	
	M	E-T	M	E-T	M	E-T	M	E-T
2 items	80,7	9,5	75,6	17,5	85,6	13,2	91,4	8,1
3 items	57,6	7,9	56,2	6,6	67,9	9,4	69,3	11,6
4 items	59,1	10,3	56,6	9,7	55,0	10,4	63,3	7,0
5 items	55,9	5,3	53,8	5,6	55,5	7,8	61,3	8,3
Moyenne	60,7	4,7	58,2	4,5	62,3	4,9	67,9	6,4

Les performances des dysphasiques et des enfants appariés sur le niveau de lecture ne sont pas significativement différentes du hasard pour les listes cibles de 4 et 5 items. L'analyse a été effectuée uniquement avec les performances pour les listes cibles de 2 et 3 items.

L'ANOVA réalisée avec le facteur inter-sujet groupe et le facteur intra-sujet longueur de la liste met en évidence un effet significatif des facteurs groupe ($F(3,35) = 5.53, p < .01$) et longueur de la liste ($F(1,35) = 87.64, p < .00001$) mais pas d'interaction significative groupe x longueur de la liste ($F < 1$). Les analyses post-hoc montrent que les performances des dyslexiques sont significativement plus faibles que celles des enfants de même âge tandis que les performances des dysphasiques sont significativement inférieures à celles des deux groupes contrôles. Les performances des dyslexiques et dysphasiques ne sont pas significativement différentes.

○ Reconnaissance de l'ordre sériel des chiffres

Le tableau II.9 présente les performances des enfants des quatre groupes en fonction de la longueur des listes.

Tableau II.9 : Performances moyennes (en %) et écart-type pour les quatre groupes par longueur de liste à l'épreuve de reconnaissance de l'ordre sériel de chiffres (la moyenne ne tient compte que des longueurs incluses dans l'analyse)

Longueur	Dyslexiques		Dysphasiques		Contrôles appariés sur le niveau de lecture		Contrôles appariés sur l'âge chronologique	
	M	E-T	M	E-T	M	E-T	M	E-T
3 items	96,4	7,1	90,0	11,7	96,7	7,0	96,7	7,0
4 items	81,0	18,3	58,3	14,2	91,7	16,2	95,0	11,2
5 items	63,1	14,9	70,0	18,9	78,3	15,8	93,3	8,6
6 items	61,9	24,0	55,0	20,9	58,3	16,2	66,7	17,6
Moyenne	72	12,5	64,2	14,7	85	11	94,2	6,9

Nous avons relevé des performances plafond pour les listes de longueur 3 items dans le groupe des dyslexiques et les deux groupes contrôles et des performances non significativement différentes du hasard à la longueur 6 items pour les dyslexiques, les dysphasiques et les enfants de même niveau de lecture. L'analyse a donc été effectuée uniquement avec les performances aux listes de longueur 4 et 5 items.

L'ANOVA réalisée avec le facteur inter-sujet groupe et le facteur intra-sujet longueur de la liste montre un effet significatif du groupe ($F(3,40) = 13.40$, $p < .00001$) et une interaction significative groupe x longueur de la liste ($F(3,40) = 5.02$, $p < .01$). L'effet du facteur longueur de la liste est tendanciel ($F(1,40) = 1.14$, $p = .084$). Les analyses post-hoc révèlent des performances significativement plus faibles pour les dyslexiques et les dysphasiques par rapport à celles des deux groupes contrôles. Les performances des dyslexiques et dysphasiques ne sont pas différentes entre elles. Pour les listes de longueur 4 items, les performances des dysphasiques sont significativement inférieures à celles des trois autres groupes, tandis que celles des dyslexiques sont significativement inférieures uniquement aux performances des enfants de même âge. Pour les listes de 5 items les performances des dyslexiques et des dysphasiques sont inférieures à celles des enfants de même âge.

Synthèse des principaux résultats

Les analyses inférentielles révèlent :

1. que les dysphasiques ont des capacités de discrimination phonologique inférieures à celles des trois autres groupes, en relation avec un déficit de discrimination du voisement. Celles des dyslexiques ne sont pas différentes de celles des deux groupes d'enfants normo-lecteurs.
2. une infériorité des performances globales des dysphasiques aux épreuves de conscience phonologique par rapport à celles des groupes d'enfants contrôles, et une infériorité des performances des dyslexiques uniquement par rapport à celles des enfants de même âge. Les performances des dyslexiques et des dysphasiques sont comparables entre elles.
3. une infériorité des performances des dysphasiques par rapport à celles des deux groupes contrôles dans les quatre épreuves de mémoire phonologique, ainsi que par rapport à celles des dyslexiques lors de la répétition de non-mots. Un effet de longueur plus marqué pour les dysphasiques comparativement aux enfants contrôles et aux dyslexiques dans les épreuves de rappel sériel immédiat et de reconnaissance de l'ordre sériel. Une infériorité des performances des dyslexiques uniquement par rapport aux enfants de même âge dans les épreuves de reconnaissance de non-mots et de l'ordre sériel. Tous ces résultats sont, toutefois, influencés par les longueurs des listes de stimuli présentés. Dans l'épreuve de rappel sériel immédiat, seuls les dyslexiques présentent un effet de fréquence phonotactique tandis que l'effet de lexicalité n'est significatif que pour les dysphasiques.

Chapitre 3 : Discussion

Notre travail avait deux objectifs principaux : 1) préciser le ou les niveau(x) de traitement phonologique déficitaire(s) et 2) comparer les profils du déficit phonologique chez les dyslexiques et les dysphasiques phonologiques-syntaxiques.

Les difficultés des dyslexiques et des dysphasiques affectent le décodage et la reconnaissance des mots, comme le montrent les performances des deux épreuves de lecture. Confrontés à une suite graphique dont la prononciation correspond à l'image mais dont l'orthographe est erronée (*e.g. un téléphone – un téléphone*), les dyslexiques comme les dysphasiques ont des performances non différentes du hasard, tendant à confirmer l'existence d'un trouble de la représentation ou de l'accès aux représentations orthographiques (Expertise Collective, 2007; Habib, 2000; Ramus et al., 2003; Sprenger-Charolles & Colé, 2003). D'autre part, leurs faibles performances pour les chaînes graphiques présentant une similarité visuelle avec le mot correct (*e.g. un pint – un pont*), pourraient indiquer comme l'ont suggéré Shaywitz *et al.* (2007), que les dyslexiques, mais aussi les dysphasiques, pourraient avoir recours à une stratégie de lecture fondée sur la mémorisation « par cœur » de la forme visuelle globale du mot.

1. Le déficit de perception phonologique chez les dysphasiques

Les dyslexiques présentent des capacités de perception phonologique comparables à celles des normo-lecteurs de même niveau de lecture et de même âge, alors que les capacités de discrimination des dysphasiques sont inférieures à celles des deux groupes contrôles mais aussi à celles obtenues par les dyslexiques, et particulièrement pour la perception du contraste de voisement. Nos résultats rejoignent ceux de Joanisse *et al.* (2000) qui soulignent l'existence d'un trouble de la perception catégorielle uniquement chez les dyslexiques ayant des troubles du langage oral. Ils tendent également à confirmer l'absence de trouble de la perception auditive dans la dyslexie isolée. Ils appuient ainsi l'hypothèse selon laquelle les dyslexiques présentant des troubles de la perception auditive seraient en fait des dysphasiques non diagnostiqués (Harm & Seidenberg, 1999; Ramus, 2001; Snowling et al., 1986). Le trouble perceptif mis en évidence dans certaines études chez les dyslexiques pourrait être attribué à l'utilisation de la parole synthétique (par exemple : Serniclaes et al., 2001; Tallal et al., 1998). En effet, nos résultats concordent avec ceux de la seule étude des capacités de perception phonologique utilisant de la parole naturelle qui montrent des capacités préservées chez les dyslexiques (Snowling et al., 1986). En revanche, le déficit de perception des dysphasiques ne paraît pas lié et limité à

l'utilisation de parole synthétique, comme le propose Coady *et al.* (2005). Par ailleurs, leurs faibles performances ne peuvent pas être attribuées à un éventuel trouble articulaire puisque notre tâche ne repose pas sur la répétition. Contrairement aux dyslexiques dont les capacités perceptives sont préservées, les dysphasiques présentent donc un déficit affectant la première étape du traitement phonologique : le traitement perceptif.

Selon la théorie motrice de la parole, la production précoce des premiers énoncés langagiers contribue à l'affinement des habiletés de perception des contrastes langagiers fins (Locke *et al.*, 1995). Il n'est donc pas exclu qu'un trouble précoce ou un retard de production de parole ait pu, indirectement, contribuer aux faibles capacités de discrimination phonologique des dysphasiques. Comme nous l'avons discuté à la suite de l'étude développementale, deux phonèmes qui se distinguent par le trait de voisement ont des représentations articulatoires plus proches que deux phonèmes se différenciant par le lieu d'articulation, or c'est précisément la discrimination de ce trait qui se trouve la plus échouée chez les dysphasiques. Les faibles performances des dysphasiques dans la discrimination de ce trait nous semblent donc pouvoir être liées à un défaut des représentations articulatoires fines, malgré des productions articulatoires satisfaisantes. Par ailleurs, les dysphasiques inclus dans cette étude avaient un âge moyen de 12 ans et certaines rééducations orthophoniques encouragent les dysphasiques à porter leur attention sur la position de leurs articulateurs. Lors de la réalisation de la tâche, les enfants en difficultés avaient tendance à se répéter les syllabes, ce qui n'était pas demandé dans la consigne. Toutefois, la perception de la position des articulateurs n'aide pas à la discrimination du voisement. Malgré l'absence d'information sur la rééducation des enfants participant à notre étude, nous pouvons supposer qu'ils ont pu compenser leurs difficultés de perception des traits articulatoires les plus prégnants mais que des difficultés persistent pour la discrimination des traits les plus fins.

2. Un déficit de la conscience phonologique plus sévère chez les dysphasiques

L'analyse des performances au hasard des dyslexiques et dysphasiques aux épreuves de conscience phonologique s'avère intéressante. L'échec des dyslexiques et des dysphasiques lors du jugement d'une rime commune non-homographe (*e.g. glace-tasse*) semble indiquer le recours à une stratégie basée sur la forme orthographique plutôt que sur la segmentation phonologique, segmentation qui serait difficile pour eux, même pour les unités larges comme la rime et la syllabe. Cette hypothèse suggère que l'activation de la forme visuelle du mot pourrait influencer, non seulement le processus de reconnaissance du mot, mais aussi les tâches phonologiques orales. Toutefois, deux objections principales semblent s'opposer à cette interprétation. La première est inhérente au paradigme expérimental utilisé dans notre étude. En effet, nous avons présenté des images

dénombrées oralement par l'examineur, non seulement pour éviter un décodage laborieux, mais surtout pour favoriser l'analyse phonologique en l'absence du mot écrit. Deuxièmement, étant donné l'existence d'un déficit des représentations orthographiques chez les dyslexiques et les dysphasiques, suggérée par leurs erreurs à l'épreuve de reconnaissance des mots, l'utilisation des représentations orthographiques semble paradoxale. Cependant, nous avons sélectionné des images dont la forme écrite du mot était acquise précocement et fréquente. Or, l'âge d'acquisition des mots influence significativement la capacité et la vitesse de lecture de ces mots (pour une revue voir : Ferrand *et al.*, 2003) et, selon les différents modèles de développement de la lecture, les représentations orthographiques s'élaborent à partir des confrontations répétées avec la forme visuelle des mots (Ehri, 1995; Frith, 1985). Il semble probable que les dyslexiques et dysphasiques, âgés de 11-12 ans, disposaient des représentations orthographiques des mots utilisés et que ces représentations aient influencé leurs réponses.

Les performances au hasard que nous avons relevées suggèrent que le déficit de conscience phonologique est plus marqué chez les dysphasiques que chez les dyslexiques et attestent une difficulté plus importante à réaliser une analyse phonologique fine. En effet, seuls les dysphasiques échouent lors de la détection d'un phonème identique non-homographe (*e.g. phoque-feu*) placé en première position des mots et ils présentent, en outre, des performances deux fois meilleures pour un phonème homographe (*e.g. chat-chaise*), ce qui indique un recours plus important à la stratégie orthographique que les dyslexiques. De plus, tandis que les dysphasiques comme les dyslexiques échouent à la tâche de suppression du phonème initial lorsque les deux mots riment (*e.g. loup-roue*) et dans la tâche de jugement du phonème commun lorsque le phonème identique est placé en différents endroits du mot (*e.g. botte-cube*), seuls les dysphasiques échouent lorsque le jugement porte sur des syllabes placées en différents endroits des mots (*e.g. tomate-moto*) et dans la tâche de jugement de rime lorsque les mots partagent une voyelle commune (*e.g. vache-table*). Ces résultats suggèrent que les dysphasiques utilisent les indices perceptifs saillants, voyelle et rime, pour les tâches portant sur toutes les unités phonologiques, alors que les dyslexiques semblent n'y recourir que pour les tâches de conscience phonologique exigeant une analyse phonémique. En effet, ainsi que nous l'avons souligné dans la présentation de l'étude développementale, la détection d'une unité commune placée en différents endroits des mots nécessite une segmentation explicite des items alors que la rime et la voyelle ont une plus grande saillance perceptive (Hulme, 2002). Les dyslexiques seraient donc capables de procéder à une segmentation phonologique pour les tâches portant sur les unités larges, rime et syllabe, mais ont des difficultés pour la détection et la manipulation du phonème. En ce sens, nos résultats sont congruents avec les données de la littérature mettant en

évidence, chez le dyslexique, un déficit plus prononcé de conscience phonologique pour les phonèmes que pour les unités larges (Goswami, 2000; Griffiths & Snowling, 2002; Swan & Goswami, 1997).

L'existence d'un déficit de conscience phonologique chez dyslexiques comme chez les dysphasiques, mais plus sévère chez les dysphasiques s'avère confirmé par les résultats de notre analyse des performances aux trois tâches de jugement de l'unité commune. Les performances globales des dyslexiques ne sont déficitaires que dans la comparaison avec les enfants de même âge, alors que les performances des dysphasiques sont aussi inférieures non seulement à celles des enfants de même niveau de lecture mais aussi à celles des dyslexiques. De nombreuses études ont observé le déficit de conscience phonologique des dyslexiques et des dysphasiques (voir par exemple : Joannis et al., 2000; Kamhi & Catts, 1986; Ramus, 2003; Snowling, 2001; Snowling et al., 2000), mais notre étude est la première à mettre en évidence une différence significative de ce déficit chez les dyslexiques et les dysphasiques.

A l'inverse de nos résultats, certaines études ont montré une infériorité des performances des dyslexiques par rapport aux enfants de même niveau de lecture (voir par exemple : Bruck, 1992; Richardson et al., 2004). Toutefois, cette infériorité n'est attestée de manière systématique que pour la manipulation du phonème, d'autres études ayant notamment observé des compétences comparables des dyslexiques et des enfants de même niveau de lecture pour les unités larges (Goswami, 2000; Griffiths & Snowling, 2002; Swan & Goswami, 1997). Nos résultats peuvent être expliqués par l'utilisation d'une tâche de jugement en choix forcé qui fait appel à un niveau de conscience moindre que les tâches productives (segmentation, combinaison, etc.) (Gombert, 1990b). De plus, l'analyse conjointe des trois épreuves de jugement regroupant les performances obtenues pour la syllabe, la rime et le phonème induit de fait un biais en faveur des unités larges qui pourrait avoir masqué le déficit de conscience du phonème. Par ailleurs, il nous semble possible de mettre ce résultat en relation et la rééducation suivie par les enfants dyslexiques.

3. Capacité de la mémoire phonologique et mémoire de l'ordre

Nos données montrent que seuls les dysphasiques présentent des performances inférieures à celles des deux groupes contrôles dans les quatre tâches de mémoire et que leurs performances chutent plus tôt que celles des autres groupes avec l'augmentation de la longueur des listes, dans les tâches de rappel sériel immédiat et de reconnaissance de l'ordre sériel. Les performances des dyslexiques, en revanche, ne se différencient que de celles des enfants de même âge et uniquement dans les épreuves de reconnaissance de non-mots et de l'ordre sériel. Le déficit limité à la comparaison avec les enfants de même

âge pour les dyslexiques corroborent les résultats d'études antérieures (voir par exemple : Goswami, 2000; Johnston et al., 1987; Roodenrys & Stokes, 2001). Par ailleurs, l'observation de ce déficit uniquement dans les épreuves de reconnaissance, et non dans les épreuves de rappel, suggère que la capacité de la boucle phonologique n'est pas affectée, ce qui appuie l'hypothèse d'un trouble d'initiation de la répétition subvocale par l'exécuteur central (Jorm, 1983). En impliquant une sortie articulatoire, la consigne de rappel pourrait agir comme un déclencheur de la répétition subvocale, alors que dans les tâches de reconnaissance, les stratégies de mémorisation, dépendantes de l'exécuteur central, pourraient ne pas être activées.

Le déficit de mémoire présenté par les dysphasiques, tant dans les tâches de rappel que dans les tâches de reconnaissance, indique une capacité réduite de la mémoire phonologique. L'existence de ce déficit dans les tâches de reconnaissance exclut la possibilité d'un trouble lié à l'articulation, ce qui va dans le sens de l'hypothèse d'un déficit affectant principalement le stock phonologique et non la répétition subvocale (Gathercole & Baddeley, 1990). Ces différents résultats soutiennent la position de Bishop *et al.* (1996) considérant le déficit de mémoire phonologique comme un marqueur de la dysphasie. Bien que la majorité des études montrent un déficit de répétition uniquement à partir des items de trois syllabes (voir pour une synthèse : Graf Estes et al., 2007), nous relevons des performances déficitaires pour les dysphasiques lors de la répétition de non-mots bisyllabiques, comme l'ont mis en évidence trois autres études (Catts et al., 2005; Gathercole & Baddeley, 1990; Weismer et al., 2000). Cette discordance pourrait être liée à la sélection de dysphasiques ayant des troubles de la lecture et, par là, à la forme clinique de dysphasie étudiée. En effet, Catts *et al.* (2005) ont trouvé des performances déficitaires pour la répétition de non-mots de moins de trois syllabes uniquement chez les dysphasiques ayant des difficultés de lecture. Or, comme nous l'avons souligné, les troubles de la lecture affectent principalement les dysphasiques phonologiques-syntaxiques (Conti-Ramsden et al., 1997), chez lesquels le déficit de la capacité de mémoire phonologique serait plus prononcé que dans les formes cliniques moins souvent associées à des troubles de la lecture. L'ensemble de ces résultats paraît, néanmoins, en accord avec les résultats indiquant un déficit plus prononcé pour les « dyslexiques/dysphasiques » que pour les dyslexiques et les dysphasiques, sans pour autant établir un lien entre le déficit de répétition de non-mots et les troubles de la lecture (Boada & Pennington, 2006; Eisenmajer et al., 2005; Kamhi & Catts, 1986). Par ailleurs, l'existence de performances significativement plus faibles pour les dysphasiques par rapport aux dyslexiques dans trois des quatre tâches de mémoire semble confirmer que ce déficit permet de différencier les dysphasiques et les dyslexiques.

Concernant la mémoire de l'ordre sériel, les dyslexiques comme les dysphasiques présentent des performances significativement inférieures à celles des enfants de même âge et de même niveau de lecture, indiquant un déficit comparable de cette composante de la mémoire phonologique. Ce déficit évoqué dans une étude chez les dysphasiques (van Weerdenburg et al., 2006) n'a, à notre connaissance, jamais été mis en évidence chez les dyslexiques.

Dans l'épreuve de rappel sériel immédiat, la comparaison des cotations tenant compte de l'ordre ou non permet d'identifier le déficit de l'une ou l'autre des deux composantes de la mémoire évaluée dans cette tâche, mémoire de l'ordre et de l'item. Les performances des dyslexiques sont supérieures dans la cotation ne tenant pas compte de l'ordre, tandis que cet effet est moins prononcé chez les dysphasiques. Ces résultats tendent à confirmer la présence d'un déficit spécifique de la composante sérielle chez les dyslexiques et d'un déficit plus important, affectant également la mémoire de l'item, chez les dysphasiques.

4. Influence des connaissances phonologiques en mémoire à long terme sur la mémoire à court terme phonologique

L'influence des connaissances phonologiques lexicales et sublexicales sur les performances en mémoire à phonologique varie en fonction des groupes. L'effet de fréquence phonotactique est présent dans tous les groupes dans la tâche de répétition de non-mots, mais uniquement chez les dyslexiques dans la tâche de rappel sériel immédiat. Seuls les dysphasiques présentent un effet de lexicalité dans la tâche de rappel sériel immédiat.

L'effet de fréquence phonotactique observé chez les dyslexiques dans les deux tâches se manifeste par une diminution plus importante des performances pour les non-mots de fréquence phonotactique faible, ce qui appuie l'hypothèse d'un défaut de précision des représentations phonologiques sublexicales (voir par exemple : Goswami, 2000; Snowling, 2001). Les représentations phonologiques sublexicales des dyslexiques constitueraient une aide pour la répétition et le rappel de non-mots de fréquence phonotactique élevée, mais elles ne seraient pas suffisamment précises pour contribuer à la répétition et au rappel de non-mots de fréquence phonotactique faible. Quant aux dysphasiques, l'infériorité de leurs performances par rapport aux deux groupes de normo-lecteurs et aux dyslexiques, pour la répétition et le rappel de non-mots, même de fréquence phonotactique élevée, révélerait un déficit plus important de leurs représentations phonologiques sublexicales. Le déficit de discrimination phonologique et la limitation du lexique peuvent expliquer la plus grande faiblesse de leurs représentations. D'une part, leur capacité réduite de discrimination phonologique, évoquée précédemment, peut avoir altéré la sensibilité aux règles statistiques

de la langue et, par conséquent, gêné le développement normal des connaissances sublexicales (Joanisse et al., 2000). D'autre part, les représentations phonologiques s'affinent avec la croissance précoce rapide du vocabulaire et un stock lexical plus faible pourrait donc contribuer au défaut de précision des représentations sublexicales (Goswami, 1999; Lundberg, 2002; Maillart et al., 2004).

L'effet de lexicalité observé chez les dysphasiques pourrait refléter la compensation de leurs faibles connaissances sublexicales par un recours accru aux connaissances phonologiques lexicales et sémantiques (Munson et al., 2005). Cette hypothèse paraît étayée par le grand nombre d'erreurs sémantiques relevées chez les dysphasiques dans une tâche de rappel comparable par Kirchner et Klatzy (1985). L'influence des connaissances phonologiques lexicales chez les dysphasiques paraît paradoxale compte tenu de leur déficit de vocabulaire, mais l'utilisation de mots fréquents et concrets dans notre étude peut avoir favorisé le recours aux représentations lexicales.

5. Un trouble de la lecture lié à des déficits phonologiques distincts

Nous venons de voir que les dyslexiques comme les dysphasiques ont en commun un déficit de conscience phonologique et de la mémoire de l'ordre. Or, dans l'étude développementale, il apparaît que la conscience phonologique et la mémoire de l'ordre influence l'acquisition du processus de conversion grapho-phonémique. Un déficit de ces deux niveaux de traitement phonologique pourrait donc contribuer aux déficits de lecture des dyslexiques et des dysphasiques en affectant principalement le décodage phonologique.

En dépit d'un déficit de lecture comparable à celui des dyslexiques, les dysphasiques présenteraient, non seulement un déficit plus important de la conscience phonologique, mais aussi des déficits de la discrimination phonologique et de la capacité de la mémoire phonologique. Au vu de ces résultats, nous pouvons supposer que la rééducation suivie par les dysphasiques avant l'apprentissage de la lecture, portant notamment sur le traitement de l'information phonologique orale aussi bien sur le versant expressif que sur le versant réceptif, puis dans un second temps sur la lecture, les a préparés à l'apprentissage de la lecture et a limité leur déficit de lecture. Par ailleurs, les performances des dysphasiques particulièrement déficitaires dans les conditions non-homographes des épreuves de jugement de rime et du phonème commun ainsi que l'effet de lexicalité dans la tâche de rappel sériel immédiat suggèrent une utilisation accrue des indices orthographiques et lexicaux. Selon l'hypothèse proposée par Shaywitz *et al.* (2003, 2005, 2007, 2008), les dyslexiques auraient recours à la mémoire de la forme visuelle des mots durant la lecture, nos résultats semblent indiquer qu'il en est de même pour les dysphasiques.

Dans la mesure où nous ne disposons d'aucune information sur la rééducation suivie et la durée de cette rééducation, nos hypothèses restent spéculatives. Le déficit plus marqué

de conscience phonologique et des représentations phonologiques en mémoire à long terme des dysphasiques pourrait aussi refléter leurs difficultés de perception phonologique et être liées à leur capacité réduite de mémoire phonologique. Des analyses de régression dans le cadre d'une étude longitudinale avec un contrôle de la rééducation permettraient de déterminer l'influence des déficits des différents niveaux de traitement phonologique sur les autres niveaux de traitement et sur les capacités de lecture dans la dyslexie et la dysphasie.

Nos résultats indiquent que si les difficultés de lecture des dyslexiques et des dysphasiques semblent liées à un déficit phonologique, ce déficit n'est pas identique d'une population à l'autre (Bishop & Snowling, 2004; Joanisse et al., 2000; Snowling et al., 2000). La dyslexie et la dysphasie se distingueraient par un déficit touchant une étape plus précoce de la chaîne de traitement de la parole, par la sévérité du déficit et la présence de déficits supplémentaires chez les dysphasiques, ces déficits interagissant probablement avec le développement déviant des capacités phonologiques. Il paraît donc important de considérer la dyslexie et la dysphasie comme des troubles distincts et d'adapter la rééducation à l'origine du trouble.

PARTIE III :

Bases neuronales des déficits de la lecture dans la
dyslexie développementale et la dysphasie

Chapitre 1 : État des connaissances

- **Avant propos**

L'intérêt porté à la compréhension des mécanismes cérébraux du langage a émergé avec les travaux de trois hommes durant la deuxième moitié du 19^{ème} siècle, Paul Broca, Carl Wernicke et Jules Déjerine. Le premier marqua l'histoire en découvrant ce qui fut considéré comme « le centre de la parole ». L'étude de M. Leborgne, un patient qui ne parvenait plus qu'à répéter la syllabe « Tan », permit à Broca de mettre en relation la production de la parole et la troisième circonvolution frontale gauche. Cette région est connue depuis comme l'aire de Broca. Quelques années plus tard, Wernicke révéla le rôle de la partie postérieure de la première circonvolution temporale dans la compréhension du langage oral. Cette zone lésée chez les patients aphasiques incapables de comprendre et de décoder le langage oral fut appelée aire de Wernicke. Il fut également le premier à émettre l'idée d'une relation entre les différentes zones du cerveau, postulant que les deux régions distinctes que sont l'aire de Broca et l'aire de Wernicke fonctionnaient en association. Quant à Déjerine, neurologue français, il mit en évidence vers la fin du 19^{ème} siècle le rôle central du gyrus angulaire gauche dans la lecture. Il déduisit de l'étude de patients alexiques et agraphiques que cette région avait une fonction de mémoire visuelle des lettres. Les travaux de ces trois grands précurseurs ont également établi la latéralisation du langage dans l'hémisphère gauche. Leurs conclusions se basaient sur l'analyse post-mortem des cerveaux de leurs patients et leurs découvertes ne furent pas exemptes de controverses. L'histoire devait pourtant leur donner raison.

L'avènement dans la deuxième moitié du vingtième siècle des techniques d'imagerie *in vivo* et plus récemment d'imagerie fonctionnelle permit d'approfondir considérablement notre compréhension du fonctionnement cérébral. Nous baserons notre revue de la littérature essentiellement sur les études effectuées en Tomographie par Emission de Positrons (TEP) et en Imagerie par Résonance Magnétique Fonctionnelle (IRMf)⁹. Nous ne nous étendrons pas ici sur les différentes méthodes d'imageries, largement diffusées aujourd'hui (voir par exemple : Houdé, Mazoyer, & Tzourio-Mazoyer, 2002; Mazoyer, 2001). De plus, bien que les principes biophysiques sous-tendant leur fonctionnement soient de première importance, ils ne servent pas directement notre propos.

Avant d'aborder l'état des connaissances sur le réseau neuronal de la lecture chez les dyslexiques et les dysphasiques, nous présenterons les connaissances actuelles sur le

⁹ La TEP et l'IRMf sont des techniques dites indirectes car elles évaluent l'activité neurophysiologique des régions cérébrales au travers de l'augmentation de l'afflux sanguin répondant à la consommation accrue d'oxygène inhérente à toute activité cellulaire. La TEP permet de mesurer la consommation

réseau anatomo-fonctionnel typique de la lecture chez l'adulte et chez l'apprenti-lecteur. Comme nous l'avons souligné dans les parties précédentes, la lecture implique différents types de traitements. Nous présenterons donc pour chaque voie, après une présentation générale des activations associées à cette voie, les activations liées aux différents processus impliqués dans la lecture. Dans un souci de clarté, nous centrerons notre revue sur les zones directement impliquées dans la lecture, passant sous silence les activations annexes présentes dans différentes études en fonction des tâches cible et des tâches contrôle utilisées, reflétant généralement des processus plus généraux, tels que l'attention, la prise de décision, etc. Cette présentation nous permettra d'obtenir une vision plus précise du rôle des différentes zones cérébrales recrutées durant la lecture. Nous proposons dans la figure III.B (p.159) une représentation schématique des fonctions de ces différentes aires cérébrales. Nous gardons cependant à l'esprit que ce découpage est abusif et que les différentes zones cérébrales sont fortement inter reliées. Nous sommes pleinement conscients que chaque zone cérébrale n'est pas dévolue à une fonction unique et que chaque fonction n'est pas sous-tendue par une zone précise du cerveau. Si notre présentation peut sembler localisationniste, c'est uniquement dans le but de clarifier ces nombreuses interactions.

1. Le réseau neuronal de la lecture

Prenant comme cadre théorique le modèle à deux voies de lecture, Jobard *et al.* (2003) ont réalisé une méta-analyse des données de 35 études de neuro-imagerie portant sur la lecture (Jobard *et al.*, 2003; Morton, 1969). Leurs résultats mettent en évidence des corrélats anatomo-fonctionnels distincts pour chaque voie. La lecture par décodage, impliquant la voie phonologique, recrute une voie dite « dorsale » et la lecture par reconnaissance des mots, impliquant la voie orthographique, recrute une voie dite « ventrale » (Figure III.A). Cette distinction a été reprise dans deux études plus récentes (Joubert *et al.* 2004; Schlaggar & McCandliss, 2007). Simos *et al.* (2001, 2002) ont précisé le déroulement temporel de l'activation au travers des zones impliquées dans la lecture dans deux études en magnétoencéphalographie¹⁰. L'activation se propagerait selon un axe postéro-antérieur, les aires occipitales sont les premières activées suivies des aires temporales basales, temporales postérieures puis pariétales inférieures jusqu'aux aires frontales inférieures (Simos *et al.*, 2002; Simos *et al.*, 2001).

d'oxygène par l'injection d'un produit de contraste radioactif, tandis que l'IRMf utilise les propriétés magnétiques de l'hydrogène contenu dans l'hémoglobine.

¹⁰ La magnétoencéphalographie (MEG) est une technique d'imagerie fonctionnelle « directe » qui mesure la fluctuation des champs magnétiques provoquée par l'activité électrique des différentes zones du cerveau activées lors d'une tâche. Cette technique offre une faible résolution spatiale mais permet d'étudier le déroulement temporel des activations

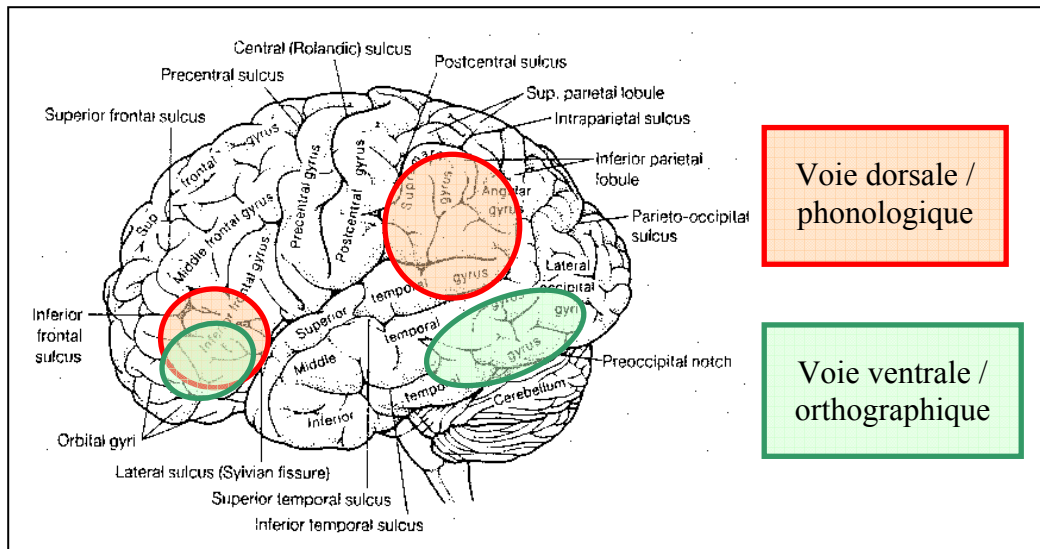


Figure III.A Représentation schématique des régions sous-tendant les deux voies de la lecture chez l'adulte normo-lecteur, créée à partir des données de la littérature.

Rappelons que, dans le cadre du modèle à deux voies, la lecture des mots connus est susceptible d'activer les deux voies, tandis que la lecture des pseudo-mots est réalisée uniquement à partir de la voie phonologique et celle des mots irréguliers à partir de la voie orthographique. De nombreuses études anatomo-fonctionnelles révèlent cependant des activations communes à la lecture des différents types d'items, mots et non-mots. Ces activations sont notamment présentes dans les gyri lingual, fusiforme, temporal supérieur, frontal inférieur mais aussi au niveau du gyrus cingulaire antérieur, des régions périrolandiques, ou pré/post centrales, et de l'insula (Binder, Medler, Desai, Conant, & Liebenthal, 2005; Devlin, Jamison, Gonnerman, & Matthews, 2006; Fiez, Balota, Raichle, & Petersen, 1999; Herbster, Mintun, Nebes, & Becker, 1997; Rumsey, Horwitz et al., 1997; Simos et al., 2002). La distinction entre les régions impliquées principalement dans le traitement des non-mots et appartenant à la voie dorsale et celles impliquées principalement dans le traitement des mots et appartenant à la voie ventrale se fait par conséquent essentiellement sur la base de l'intensité relative des différentes activations. Les études de Price *et al.* (1996) et Xu *et al.* (2001) montrent ainsi que, tandis que la lecture des mots et des pseudo-mots active les mêmes zones, les activations sont plus importantes et plus étendues pour les pseudo-mots (Price, Wise, & Frackowiak, 1996; Xu et al., 2001). Pour Price *et al.* (1996), les activations plus importantes durant la lecture de pseudo-mots refléteraient une plus grande charge en mémoire de travail, et pour Xu *et al.* (2001), elles

seraient liées au codage d'unités plus petites, obligatoire pour la lecture des pseudo-mots, indépendamment de la familiarité des items (Xu et al., 2001).

Les résultats des études réalisées par Price *et al.* (1994) et Turkeltaub *et al.* (2002) nous incitent néanmoins à la prudence quant à l'interprétation des différents résultats. Ces études révèlent des variations dans les activations cérébrales en réponse à des stimuli identiques en fonction de différents facteurs. Par exemple, les zones cérébrales activées ne sont pas les mêmes si la lecture se fait à haute voix ou silencieusement et le temps de présentation des stimuli affecte différemment l'activation des gyri fusiforme, temporal supérieur et moyen et cingulaire (Price et al., 1994; Turkeltaub, Eden, Jones, & Zeffiro, 2002). Fiebach *et al.* (2003) ont également mis en évidence un effet de l'âge d'acquisition des mots sur les activations cérébrales (Fiebach, Friederici, Muller, von Cramon, & Hernandez, 2003). Ces différents facteurs peuvent contribuer aux variations dans l'intensité des activations et, par conséquent, expliquer certaines divergences dans les résultats.

1.1. La voie dorsale phonologique

- **Généralités**

- Les régions appartenant à la voie dorsale

La voie dorsale implique deux composantes principales, une composante postérieure, la jonction temporo-pariétale gauche, et une composante antérieure, le gyrus frontal inférieur gauche (Jobard et al., 2003; Joubert et al., 2004; Schlaggar & McCandliss, 2007). La lecture des pseudo-mots génère des activations plus importantes que la lecture des mots dans les gyri temporal supérieur (AB¹¹ 42) et frontal inférieur (AB 44/45) gauches (Fiez et al., 1999; Rumsey, Horwitz et al., 1997; Simos et al., 2002). Ces régions seraient associées aux processus de conversion grapho-phonologique et à l'activation des représentations phonologiques (Jobard et al., 2003; Joubert et al., 2004; Schlaggar & McCandliss, 2007; Simos et al., 2002). La présence d'activations plus importantes pour les mots rares que pour les mots fréquents dans l'aire de Brodmann 22 et dans la partie antérieure du cortex frontal inférieur tend à confirmer l'implication de ces régions dans la voie dorsale (Fiez et al., 1999). En effet, les lecteurs, même très entraînés, seraient plus enclins à utiliser la voie phonologique pour la lecture de mots rares que pour les mots fréquents, l'effet de fréquence constituant ainsi un marqueur de l'utilisation de la voie phonologique (Fiez et al., 1999).

¹¹ L'abréviation AB fait référence aux Aires de Brodmann, une subdivision histologique du cerveau réalisée sur la base de l'organisation cellulaire des différentes couches du cortex (Brodmann, 1909)

Si les études s'accordent sur l'appartenance à la voie dorsale des gyri frontal inférieur et temporal supérieur, certaines divergences persistent. En ce qui concerne la composante postérieure de la voie dorsale, Joubert *et al.* (2004) et Schlaggar et McCandliss (2007) y intègrent aussi les gyri angulaire et supramarginalis impliqués dans la mise en relation de l'orthographe et de la phonologie (Joubert *et al.*, 2004; Schlaggar & McCandliss, 2007). Joubert *et al.* (2004) considèrent cependant que l'intégration orthographe-phonologie dans ces gyri pourrait également intervenir au niveau du mot entier et que ces gyri pourraient donc sous-tendre le lexique orthographique et seraient, de fait, impliqués dans la voie ventrale.

En ce qui concerne le gyrus frontal inférieur, Jobard *et al.* (2003) mettent en avant une implication de la pars opercularis (AB 44), tandis que Joubert *et al.* (2004) font référence aux aires de Brodmann 45/47 incluant la pars triangularis. Différentes études suggèrent un découpage fonctionnel au sein même du gyrus frontal inférieur. La partie plus postérieure correspondant aux aires de Brodmann 44 et 45 serait principalement associée au traitement phonologique tandis que la partie antérieure regroupant les aires de Brodmann 45 et 47 serait principalement associée au traitement sémantique (Fiez, 1997; McDermott, Petersen, Watson, & Ojemann, 2003; Poldrack *et al.*, 1999; Price, 2000). La pars opercularis (AB 44) serait liée à l'activation des correspondances grapho-phonologiques générant une recherche lexicale, tandis que la pars triangularis sous-tendrait le processus de sélection lexicale (Fiebach *et al.*, 2002). Il semble important de souligner que ces aires ne sont pas impliquées *spécifiquement* mais *principalement* dans l'un ou l'autre des traitements, phonologique et sémantique. Dans la mesure où la voie phonologique ne se limite pas au processus de conversion grapho-phonologique mais implique également l'accès au sens du mot, l'activation de ces deux zones par la voie dorsale peut être considérée comme cohérente, même si l'activation des aires 44/45 semble plus spécifique au traitement phonologique. D'autre part, il paraît important de souligner que le cortex frontal inférieur est aussi impliqué dans de nombreuses autres fonctions telles que la mémoire de travail, l'attention, la sélection d'une réponse, la prise de décision, l'initiation d'une action, etc. (Binder *et al.*, 2005; Price, 2000). Finalement, Schlaggar et McCandliss (2007) incluent également dans la composante antérieure de la voie dorsale le cortex prémoteur dorsal qui serait en charge de la production du discours et contribuerait à l'analyse des éléments phonologiques.

○ *L'étude de ces régions aux travers de tâches de conscience phonologique*

L'activation de la voie dorsale et des aires associées au traitement phonologique a fait l'objet de nombreuses études utilisant des tâches de conscience phonologique et notamment de jugement de rime. Ces études s'accordent sur l'activation des gyri supramarginalis (AB 40), angulaire (AB 39) et temporal supérieur (Booth *et al.*, 2002a, 2002b, 2003; Habib, 1997; Pugh *et al.*, 1996; Xu *et al.*, 2001). Le gyrus frontal inférieur est

également activé dans la plupart des épreuves de jugement de rime et dans une épreuve de comparaison du phonème initial (Booth et al., 2002a, 2002b, 2003; Katzir, Misra, & Poldrack, 2005; Poldrack et al., 2001; Pugh et al., 1996; Xu et al., 2001). L'activation de ces aires cérébrales paraît indépendante de la modalité de présentation, visuelle ou auditive (Booth et al., 2002a, 2002b), ce qui confirme leur implication dans l'analyse phonologique. Des activations ont également été relevées au sein de la jonction occipito-temporale, mais uniquement lors de présentation de mots écrits, ainsi que dans le gyrus cingulaire (Booth et al., 2002a, 2002b; Xu et al., 2001). Il semble néanmoins qu'au sein du gyrus cingulaire, la partie postérieure soit activée préférentiellement en modalité visuelle tandis qu'une activation de la partie plus moyenne serait liée à une présentation en modalité auditive (Booth et al., 2002b).

Dans une revue critique de 5 études en TEP portant sur le traitement phonologique, Poeppel (1996) relève des divergences dans les zones activées. Il les impute aux différents processus en œuvre durant le traitement phonologique et pose la question de la définition de la tâche cible et de la tâche contrôle (Poeppel, 1996). Les auteurs de ces études ont répondu à cette critique en affirmant que le traitement phonologique ne devait pas être conçu comme un processus unitaire mais comme recouvrant différents sous-processus (Demonet, Fiez, Paulesu, Petersen, & Zatorre, 1996). Ils mirent aussi en avant la convergence de leurs résultats sur l'implication de l'aire de Broca dans la répétition subvocale et sur le rôle du gyrus supramarginalis dans le stockage phonologique.

Selon l'idée de sous-processus distincts dans le traitement phonologique et en accord avec la nécessité d'un modèle théorique sous-jacent soulignée par Poeppel (1996), nous allons présenter successivement les activations liées aux différents niveaux de traitement phonologique. L'encodage ou le recodage des informations phonologiques paraît être la première étape nécessaire à l'intégration et à la manipulation de l'information phonologique qui doit être stockée et récupérée

- **Le codage/recodage des informations phonologiques**

Le traitement du signal auditif et la discrimination perceptive des phonèmes impliquent un codage de l'information sous forme phonologique. De la même manière, la perception visuelle de suites de lettres nécessite un recodage phonologique de l'information afin qu'elle puisse être traitée comme une information verbale. Cette première étape de traitement est obligatoire et indépendante de la tâche (Price et al., 1996). Différentes études, utilisant des tâches comme la décision de rime, la comparaison du phonème initial, la lecture de mot, le jugement catégoriel et la décision lexicale, indiquent que le gyrus temporal supérieur sous-tendrait cette étape précoce de traitement tant pour l'analyse des sons de la parole que pour le recodage phonologique des mots écrits (Binder et al., 1997; Booth et al.,

2004; Burton, Small, & Blumstein, 2000; Habib, 1997; Price, 2000; Rumsey, Horwitz et al., 1997). De légères différences dans la localisation de l'activation maximale seraient néanmoins présentes en fonction de la modalité de présentation. Ainsi, la partie antérieure du gyrus temporal supérieur serait activée pour l'analyse des indices acoustiques de la parole, tandis que les activations de la partie postérieure seraient liées à un traitement plus abstrait et polymodal (Price, 2000; Zatorre, Meyer, Gjedde, & Evans, 1996).

Le codage/recodage phonologique semble aussi impliquer des régions plus antérieures, notamment au niveau du cortex frontal inférieur et préfrontal (Burton et al., 2000; Poldrack et al., 2001; Zatorre et al., 1996). Ces activations, relevées lors du traitement de parole compressée et de tâches de discrimination de phonèmes, ont été associées au recodage articulatoire.

- **L'intégration et la conversion intermodale**

Trois régions paraissent impliquées dans l'intégration des informations orthographiques et phonologiques. Le gyrus temporal supérieur est considéré comme une région multifonctionnelle dont la portion postérieure, hétéromodale, contribue à la mise en relation des représentations phonologiques et des représentations visuelles orthographiques (Pugh et al., 1996; Schlaggar & McCandliss, 2007). Il permet ainsi l'intégration des informations en provenance des régions occipito-pariétales et occipito-temporales (Schlaggar & McCandliss, 2007). La comparaison des activations obtenues en modalités visuelle et auditive indique que les gyri angulaire et supramarginalis sont plus activés par une tâche de décision de rime ou de similarité du phonème en modalité visuelle et par une tâche orthographique en modalité auditive (Booth et al., 2002a, 2003; Katzir et al., 2005). Ces gyri sont considérés comme des zones de conversion inter-modale. Les activations des cortex temporal postérieur et pariétal inférieur lors des tâches de décision de rime ne seraient donc pas dues à la manipulation phonologique mais à l'encodage, au stockage et à la récupération des informations phonologiques (Grossi, Coch, Coffey-Corina, Holcomb, & Neville, 2001).

- **Le traitement et la segmentation phonologique**

La segmentation et la production phonologiques seraient associées à l'activation du cortex frontal inférieur (Grossi et al., 2001). Grossi *et al.* (2001) et Katzir *et al.* (2005) ont suggéré que « *les aires frontales du langage seraient la clé de la conscience phonologique* » (« *the frontal language processing areas are the key to skilled phonological awareness* » Katzir *et al.* (2005) p.113). En effet, la plupart des études de conscience phonologique, faisant appel à des tâches de jugement de rime, de comparaison et de discrimination de phonèmes en modalité auditive et visuelle, mettent en évidence des activations du gyrus

frontal inférieur recouvrant les pars opercularis et triangularis ainsi que le cortex préfrontal et s'étendant jusqu'au gyrus frontal moyen (Booth et al., 2002a, 2002b; Katzir et al., 2005; Poldrack et al., 2001; Pugh et al., 1996; Xu et al., 2001). Certains auteurs relient les activations du cortex frontal et le recodage articulatoire (Burton et al., 2000; Fiez & Petersen, 1998; Katzir et al., 2005; Rumsey, Horwitz et al., 1997; Zatorre et al., 1996). Le processus de segmentation impliquant un recodage articulatoire, le rôle du gyrus frontal inférieur dans les tâches de conscience phonologique serait lié à la médiation de l'articulation (Burton et al., 2000; Rumsey, Horwitz et al., 1997; Zatorre et al., 1996).

- **Le stockage et la récupération en mémoire phonologique**

Les auteurs s'accordent pour considérer que le lobe pariétal et plus précisément le gyrus supramarginalis est associé au stockage phonologique (Binder et al., 2005; Habib, 1997; Paulesu, Frith, & Frackowiak, 1993; Rumsey, Horwitz et al., 1997; Zatorre et al., 1996). Quant à la répétition subvocale, déjà évoquée dans le cadre du recodage articulatoire et de la segmentation phonologique, elle implique le gyrus frontal inférieur, principalement au niveau de l'aire 44 (Paulesu et al., 1993). Les activations potentiellement liées à la récupération des connaissances phonologiques sont en revanche plus diverses. Les activations de la partie postérieure du gyrus temporal supérieur et du lobule pariétal inférieur, ainsi que celles relevées au niveau des gyri frontaux moyen et inférieur, notamment de la pars opercularis, ont été considérées comme reflétant un processus de récupération phonologique (Price, 2000; Xu et al., 2001). Ces interprétations ne semblent pas permettre de préciser la localisation de ce processus dans la mesure où ces aires recouvrent la quasi-totalité des aires de la voie dorsale de lecture. Il semble néanmoins probable que cette fonction soit fortement distribuée sur l'ensemble des zones impliquées dans le traitement phonologique.

La jonction temporo-pariétale et le gyrus frontal inférieur sont les deux composantes principales de la voie dorsale (*cf.* Figure III.B, p.159). Le gyrus temporal supérieur serait principalement associé au codage phonologique et, dans sa portion postérieure, à l'intégration des informations orthographiques et phonologiques. Les gyri angulaire et supramarginalis seraient impliqués dans la conversion grapho-phonologique et le gyrus supramarginalis sous-tendrait aussi le stockage phonologique. Quant au gyrus frontal inférieur, il est impliqué dans le recodage articulatoire et est par conséquent associé à la fois au codage/recodage phonologique, à la répétition subvocale et à la segmentation phonologique. Il est aussi impliqué dans le traitement sémantique.

1.2. La voie ventrale/orthographique

Jobard *et al.* (2003) et Schlaggar et McCandliss (2007) s'accordent sur l'implication de la zone occipito-temporale gauche dans la voie orthographique. Ils considèrent le gyrus fusiforme comme la région qui sous-tend l'analyse de suites de lettres. Schlaggar et McCandliss (2007) incluent aussi dans la voie orthographique le cortex extrastrié impliqué dans les traitements initiaux. Des activations plus importantes ont été relevées pour les mots par rapport aux pseudo-mots dans ces différentes régions (Binder *et al.*, 2005; Fiebach *et al.*, 2002; Herbster *et al.*, 1997; Simos *et al.*, 2002).

- **La perception orthographique**

Dehaene *et al.* (2005) ont proposé une organisation hiérarchique de la perception orthographique. Lors de la présentation d'un mot écrit, l'activation se propagerait du cortex occipital postérieur vers le cortex temporal antérieur suivant la progression du niveau d'identification, allant de l'analyse des caractéristiques visuelles des lettres à la reconnaissance des mots et des morphèmes, ainsi que de leurs caractéristiques plus abstraites (Dehaene, Cohen, Sigman, & Vinckier, 2005). La perception visuelle de lettres isolées provoque une activation au niveau des régions extrastriées latérales et de la partie inféro-latérale du cortex occipito-temporal, qui indique que cette région est associée au traitement prélexical/sublexical (Crosson *et al.*, 1999; Fiebach *et al.*, 2002; Pugh *et al.*, 1997; Van Atteveldt, Formisano, Goebel, & Blomert, 2004). La perception de groupements de lettres en mots ou non-mots suscite, en plus, des activations du cuneus, des gyri fusiforme et temporal inférieur ainsi que du cortex pariétal inférieur (Binder *et al.*, 2005; Cohen *et al.*, 2002; Price *et al.*, 1996). Les régions extrastriées médianes et occipito-temporales paraissent particulièrement impliquées dans le traitement de la forme visuelle du mot ou la perception de formes proches (Fiez & Petersen, 1998; Pugh *et al.*, 1996). Des activations plus antérieures ont également été mises en évidence dans le gyrus frontal inférieur, notamment l'aire de Broca, et le cortex périrolandique (Cohen *et al.*, 2002; Price *et al.*, 1996). Ces activations ont généralement été attribuées à l'intégration des caractéristiques alphabétiques, mais elles pourraient aussi être liées à la recherche des représentations phonologiques et sémantiques correspondant à la chaîne graphique perçue (Cohen *et al.*, 2002; Jessen *et al.*, 1999).

- **La reconnaissance des mots**

Le rôle du gyrus fusiforme dans la reconnaissance des mots, suggéré par Déjerine, a été confirmé par un grand nombre d'étude neuroanatomiques, mais un débat subsiste quant à sa spécificité (Déjerine, 1892). Cohen *et al.* (2000, 2002, 2004) et McCandliss *et al.* (2003) ont fourni de nombreux arguments en faveur du rôle spécifique dans l'analyse de la forme

visuelle des mots d'une zone de la partie moyenne du gyrus fusiforme, identifiée comme l'aire de la forme visuelle des mots (Visual Word Forme Area – VWFA) (Cohen et al., 2000; Cohen, Jobert, Le Bihan, & Dehaene, 2004; Cohen et al., 2002; McCandliss, Cohen, & Dehaene, 2003). Dans des tâches de perception de mots ou de détection d'un indice visuel au sein d'un mot, ces auteurs ont montré que cette aire est activée par la présentation du mot dans l'un ou l'autre des hémichamps visuels, en n'importe quel endroit de la rétine, quelles que soient les caractéristiques de surface (taille et police d'écriture) et même avec des durées de présentation ne permettant pas la perception consciente du stimulus. Cette activation est spécifique au traitement visuel des lettres connues et elle est sensible à la violation des règles de combinaison de lettres et aux régularités orthographiques (Cohen et al., 2002; McCandliss et al., 2003). D'autres auteurs considèrent, à l'inverse, que l'activation du gyrus fusiforme n'est pas spécifique au traitement de la forme visuelle du mot et que ce traitement implique plusieurs régions (Devlin et al., 2006; Price & Devlin, 2003). Ils considèrent que le gyrus fusiforme permet une modulation « top-down » des informations visuelles élémentaires par les informations phonologiques et sémantiques.

Il a, par ailleurs, été proposé que le gyrus fusiforme sous-tend le traitement de configurations de petits éléments, et notamment des suites de lettres (Nobre, Allison, & McCarthy, 1994) ; conception qui correspond à celle de Jobard *et al.* (2003) et Schlaggar et McCandliss (2007). Pour Jobard *et al.* (2003), bien que l'activation de la partie antérieure du gyrus fusiforme ne soit pas spécifique à la voie orthographique, cette voie serait néanmoins définie par la co-activation du gyrus fusiforme et des régions impliquées dans le traitement sémantique. Différentes études analysant le traitement sémantique en utilisant notamment des épreuves de dénomination et de catégorisation ou de jugement sémantique indiquent une implication des régions postérieures recouvrant les gyri lingual, angulaire, fusiforme et cingulaire postérieur, ainsi que du gyrus frontal inférieur (Binder et al., 2005; Crosson et al., 1999; Ellis, Burani, Izura, Bromiley, & Venneri, 2006; Fiebach et al., 2002; Jessen et al., 1999; McDermott et al., 2003; Nobre et al., 1994; Poldrack et al., 1999; Price, Devlin, Moore, Morton, & Laird, 2005; Price et al., 2006; Pugh et al., 1996; Pugh et al., 1997; Vandenberghe, Price, Wise, Josephs, & Frackowiak, 1996, Booth, 2002 #106). Les activations des régions postérieures sont associées au stockage à long terme des connaissances conceptuelles et les activations antérieures à la récupération, au contrôle et au maintien en mémoire à court terme de l'information sémantique (Binder et al., 1997; Fiez, 1997; Mechelli, Josephs, Lambon Ralph, McClelland, & Price, 2007; Price, 2000). Il est intéressant de noter que ces régions correspondent en majeure partie aux régions impliquées dans les deux voies de la lecture. Le chevauchement important des régions postérieures avec les régions de la lecture pourrait résulter de l'activation automatique des

représentations phonologiques et visuelles orthographiques des mots lors de l'accès à la représentation sémantique (Ellis et al., 2006).

- **L'analyse orthographique**

Au moyen d'une tâche de décision de l'exactitude de l'orthographe d'un mot ou d'une partie d'un mot, Booth *et al.* (2002, 2003) ont analysé les activations spécifiques au traitement orthographique. Ils observent une activation des gyri fusiforme, angulaire, supramarginalis et frontal (Booth et al., 2002a, 2003). Les gyri supramarginalis et angulaire sont principalement activés par les stimuli auditifs, alors que le gyrus fusiforme est activé par les stimuli auditifs et visuels, ce qui tend à confirmer son implication dans le traitement de la forme visuelle/orthographique des mots (Booth et al., 2003). Quant à l'activation frontale, elle paraît liée à la mémoire de travail et à la récupération des informations en mémoire à long terme Booth et al., 2002a, 2003). Les résultats de ces études confirment aussi le rôle des gyri angulaire et supramarginalis comme aires de conversion et d'intégration des représentations orthographiques et phonologiques (Booth et al., 2002a, 2003). L'hypothèse d'une implication des gyri angulaire et supramarginalis dans la voie orthographique semble devoir être nuancée, leur activation ne serait pas inhérente au traitement orthographique mais liée à la mise en relation des représentations orthographiques et phonologiques (Binder et al., 2005; Joubert et al., 2004).

La voie ventrale est principalement composée de la jonction occipito-temporale, soutenant le traitement de la forme visuelle des lettres et des combinaisons de lettres. Elle implique également les aires associées au traitement sémantique, bien que ces dernières semblent fortement distribuées et communes aux deux voies de lecture (*cf.* Figure III.B, p.159). Les gyri supramarginalis et angulaire ne sont activés par la voie ventrale que lorsqu'une conversion grapho-phonologique est requise.

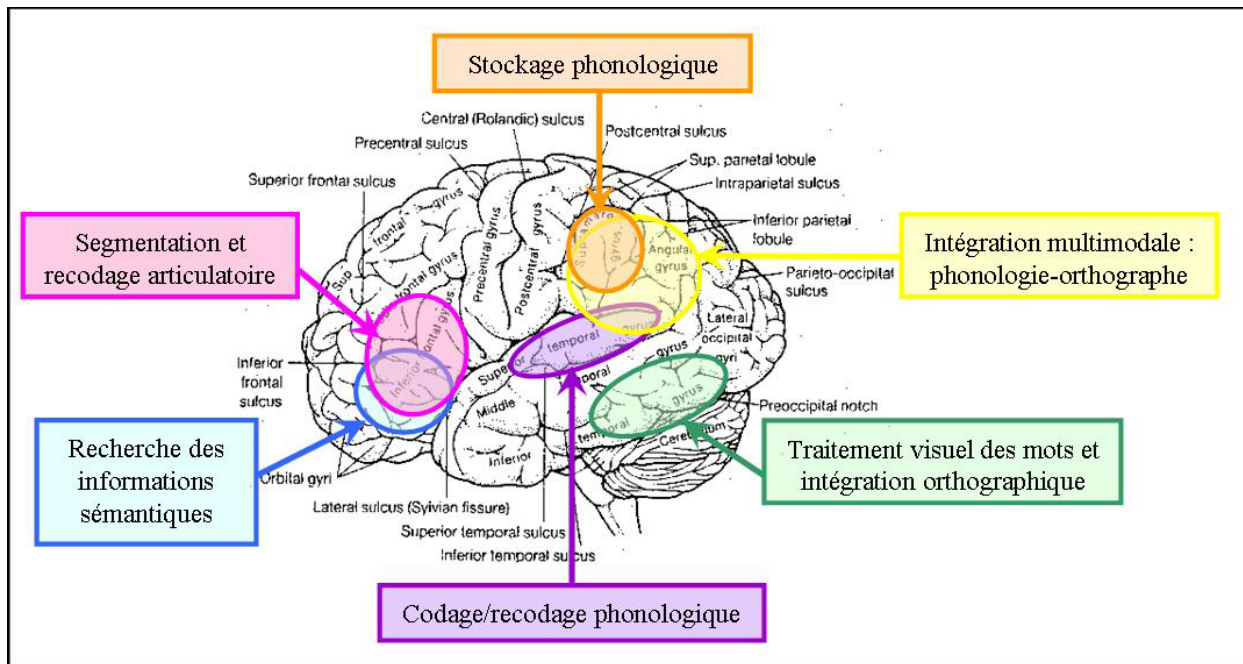


Figure III.B : Représentation schématique des principales fonctions des différentes zones impliquées dans le réseau neuro-anatomique de la lecture, créée à partir des données de la littérature

1.3. Le développement du réseau de la lecture

Comme nous l'avons vu dans la partie développementale, l'apprentissage de la lecture est un processus complexe qui nécessite différentes compétences et qui évolue durant les premières années d'enseignement formel, en relation notamment avec l'automatisation du décodage et la construction du lexique orthographique. Cette évolution est associée à des modifications du réseau neuronal sous-tendant la lecture, dont l'étude est complexe car elle nécessite la comparaison d'enfants d'âge différents ayant donc, entre autre, des niveaux de lecture différents. Or, il est généralement admis que pour pouvoir comparer les activations cérébrales de deux groupes de sujets leurs performances et leurs temps de réponses doivent être similaires (Turkeltaub, Gareau, Flowers, Zeffiro, & Eden, 2003). Le dessin expérimental et le choix de la tâche d'activation sont, par conséquent, particulièrement délicats. Les rares études ayant distingué les effets du développement des habiletés de lecture de ceux de la maturation cérébrale – soit en procédant à des analyses de corrélation et de régression, soit en procédant à des appariements sur l'âge ou les performances – montrent que les différentes régions impliquées dans la lecture ne sont pas influencées de la même manière par ces deux facteurs (Booth, Bebko, Burman, & Bitan, 2007; Schlaggar et al., 2002; Turkeltaub et al., 2003). Ces résultats nous incitent à la prudence quant à l'interprétation des données de certaines études et ces difficultés méthodologiques expliquent probablement le peu d'études anatomo-fonctionnelles de la lecture chez l'enfant.

Schlaggar et McCandliss (2007) ont étendu leur conception du modèle à deux voies au développement de la lecture et, suivant le modèle de Morton (1969), ils conçoivent le développement des deux voies de lecture comme un processus interactif dans lequel le système dorsal « entraînerait » le système ventral pour la reconnaissance des mots fréquents et irréguliers. A l'instar du modèle proposé chez l'adulte, le cortex temporal supérieur appartient à la voie dorsale et le gyrus fusiforme à la voie ventrale. Les gyri angulaire et supramarginalis ont une fonction d'intégration des informations orthographiques et phonologiques (Schlaggar & McCandliss, 2007). Ces auteurs notent cependant que les activations des gyri angulaire et frontal inférieur sont plus faibles chez les enfants que chez les adultes (Schlaggar & McCandliss, 2007).

Les études portant sur des épreuves de lecture de mots et de textes confirment que les différentes régions sous-tendant la lecture chez l'adulte sont activées chez les enfants entre 7 et 15 ans (Bitan et al., 2007; Gaillard, Balsamo, Ibrahim, Sachs, & Xu, 2003; Gaillard et al., 2001). Les activations frontales sont présentes mais semblent plus dispersées chez l'enfant que chez l'adulte. Au niveau de la jonction temporo-pariétale, des activations ont été relevées dans le gyrus temporal supérieur et le cortex pariétal inférieur et au niveau de la jonction occipito-temporale dans les gyri temporal inférieur et fusiforme (Bitan et al., 2007; Gaillard et al., 2003; Gaillard et al., 2001). La localisation des activations dans ces différentes régions serait toutefois plus variable chez les enfants que chez les adultes (Gaillard et al., 2003). Une étude en MEG réalisée lors de la lecture de mots et de pseudo-mots montre que les activations sont plus importantes chez les enfants que chez les adultes dans la jonction temporo-pariétale gauche et comparables dans la jonction occipito-temporale gauche (Simos et al., 2001). L'ensemble de ces résultats suggère, d'une part, que dès l'âge de 7 ans, le réseau fonctionnel de la lecture est latéralisé à gauche et que les différentes régions sont spécialisées dès les premières étapes de l'apprentissage de la lecture (Gaillard et al., 2003; Gaillard et al., 2001). D'autre part, les différences d'intensité des activations sont cohérentes avec l'idée du développement progressif de la voie ventrale à partir de la voie dorsale, la voie ventrale devenant progressivement la voie de prédilection au détriment de la voie dorsale. Des études faisant appel de manière implicite ou explicite à la lecture de mots ou portant sur une décision de rime montrent également une augmentation progressive de la latéralisation à gauche des activations occipito-temporales et frontales (Grossi et al., 2001; Simos et al., 2001; Turkeltaub et al., 2003).

En ce qui concerne les régions postérieures de la lecture, les données des rares études ayant analysé spécifiquement la conscience phonologique et le traitement orthographique témoignent de l'élaboration progressive d'un système de conversion grapho-phonologique de plus en plus efficace (Booth, Bebko et al., 2007; Booth et al., 2004). En

effet, lors des épreuves de jugement de rime et de jugement orthographique, les enfants présentent des activations comparables aux adultes dans le gyrus temporal supérieur et le gyrus fusiforme mais plus faibles dans le lobule pariétal inférieur et le gyrus angulaire, particulièrement activés lors des tâches inter-modales (une tâche auditive de jugement orthographique ou une tâche visuelle de conscience phonologique) (Bitan et al., 2007; Booth, Bebko et al., 2007; Booth et al., 2004). Ces résultats semblent contradictoires avec ceux de Simos *et al* (2001) qui montrent plus une activation plus importante des aires temporo-pariétales chez les enfants lors de la lecture de mots (Simos et al., 2001). Cette contradiction résulte de la nature de la tâche et de la consigne donnée. La lecture de mots dans l'étude de Simos *et al* (2001) était évaluée au moyen d'une tâche de détection d'un mot cible dans une liste de mots, la consigne ne favorisait donc aucune voie de lecture. Nous pouvons déduire des résultats à cette tâche que les enfants recrutent préférentiellement la voie phonologique activant plus la jonction temporo-pariétale, alors que les adultes utilisent la voie orthographique sous-tendue par les aires de la jonction occipito-temporale. A l'inverse, l'épreuve de jugement de rime proposée par Booth *et al.* (2004, 2007) et Bitan *et al.* (2007) requiert une analyse phonologique impliquant l'activation des aires temporo-pariétales. Ces différents résultats indiquent que, bien que les enfants utilisent préférentiellement la voie dorsale durant la lecture, leur système de conversion grapho-phonologique sous-tendu par ces aires est moins efficace que celui des adultes.

Par ailleurs, l'activation du cortex temporal augmente avec l'âge dans des tâches de catégorisation et de jugement sémantique, suggérant un accroissement des représentations et des capacités de traitement sémantique (Balsamo, Xu, & Gaillard, 2006; Blumenfeld, Booth, & Burman, 2006; Chou, Booth, Bitan et al., 2006; Chou, Booth, Burman et al., 2006).

Quant au gyrus frontal inférieur, il est moins activé par les enfants que par les adultes dans des tâches de lecture, de jugement de rime et de jugement sémantique, ce qui indiquerait une moindre efficacité du recodage articulatoire et du traitement sémantique (Balsamo et al., 2006; Blumenfeld et al., 2006; Booth, Bebko et al., 2007; Booth et al., 2004; Chou, Booth, Bitan et al., 2006; Chou, Booth, Burman et al., 2006; Schlaggar et al., 2002; Simos et al., 2001; Turkeltaub et al., 2003). Notons cependant que lors d'une tâche de lecture de mots isolés, les activations plus faibles relevées pour les enfants au niveau de AB 44/45 sont liées au niveau de lecture, alors qu'au niveau de AB 44/6, elles sont principalement liées à la maturation cérébrale (Schlaggar et al., 2002).

En résumé, l'évolution des activations du réseau neuronal de la lecture reflète le développement des procédures de lecture. Les différentes régions de ce réseau sont définies précocement mais leur niveau d'activation augmente avec l'efficacité du traitement réalisé et l'activation préférentielle de la voie dorsale pour la lecture de mots semble supplanter progressivement l'activation de la voie ventrale.

2. Le réseau neuronal de la lecture dans la dyslexie

Les principales synthèses des études neuroanatomiques de la lecture chez les dyslexiques montrent que bien qu'ils activent les mêmes régions que les normo-lecteurs, le degré d'activation de ces régions diffère (Demonet, Taylor, & Chaix, 2004; Habib, 2000, 2004; Pugh, Mencl, Jenner et al., 2000; Pugh et al., 2001). Dans les zones postérieures de la voie dorsale, incluant les gyri temporal supérieur, angulaire et supramarginalis, ainsi que dans le gyrus fusiforme et la VWFA correspondant à la voie ventrale, les activations des dyslexiques sont plus faibles que celles des normo-lecteurs (Demonet et al., 2004; Habib, 2000, 2004; Pugh, Mencl, Jenner et al., 2000; Pugh et al., 2001; Shaywitz & Shaywitz, 2005). A l'inverse, dans le gyrus frontal inférieur bilatéral ainsi que dans les jonctions occipito-temporale et temporo-pariétale de l'hémisphère droit leurs activations sont plus importantes et refléteraient un mécanisme de compensation (Demonet et al., 2004; Habib, 2000, 2004; Pugh, Mencl, Jenner et al., 2000; Pugh et al., 2001; Shaywitz & Shaywitz, 2005). Ces altérations du réseau de la lecture sont présentes à la fois pour la lecture de mots et de non-mots, ce qui suggère une atteinte de deux voies de la lecture (Brunswick, McCrory, Price, Frith, & Frith, 1999; Rumsey, Nace et al.). De plus, contrairement aux normo-lecteurs, les dyslexiques présentent des activations similaires pour la lecture de mots et de non-mots et leurs activations ne varient pas en fonction du niveau de transparence de la langue (Brunswick et al., 1999; Paulesu et al., 2001; Rumsey, Nace et al., 1997).

En 2001, Pugh *et al.* ont proposé un modèle du fonctionnement cérébral dans la dyslexie. Selon eux, les dyslexiques présentent une altération première de la voie dorsale qui entrave le développement de la voie ventrale. L'augmentation de l'activation frontale traduit une première tentative de compensation des difficultés de traitement phonologique, par une utilisation accrue du recodage articulatoire. Puis un deuxième système de compensation sous-tendu par les activations postérieures de l'hémisphère droit se met progressivement en place et agit comme un mécanisme de reconnaissance des mots à partir des indices visuels (Pugh et al., 2001). Ce modèle nous servira de référence dans la suite de notre présentation des données de la littérature et pour la discussion de nos données expérimentales.

2.1. Les déficits d'activation des régions postérieures de la lecture

- **La jonction temporo-pariétale et la voie dorsale**

Le déficit phonologique étant au centre des difficultés de lecture des dyslexiques, la plupart des études anatomo-fonctionnelles de la lecture dans cette population ont utilisé des tâches phonologiques, le plus souvent un jugement de rime ou d'homophonie portant sur des non-mots ou plus rarement sur des lettres (Eden & Zeffiro, 1998; Habib, 1997; Paulesu et al., 1996; Pugh et al., 2001; Rumsey, Nace et al., 1997; Shaywitz & Shaywitz, 2005; Shaywitz et al., 2003; Shaywitz et al., 1998; Temple, 2002). Ces études montrent des activations significativement plus faibles chez les dyslexiques dans la jonction temporo-pariétale gauche, principalement au niveau des gyri temporal supérieur et angulaire. De plus, la comparaison des tâches de jugement de rime portant sur des non-mots et sur des lettres révèle que, contrairement à ce qui est observé chez les normo-lecteurs, chez les dyslexiques le niveau d'activation de la jonction temporo-pariétale n'augmente pas lorsque la tâche implique un codage grapho-phonologique plus important (Shaywitz et al., 1998). Le niveau d'activation du gyrus angulaire étant corrélé d'une part, avec les performances en lecture et, d'autre part, avec les activations des autres régions de la lecture, quelques auteurs ont, plus précisément, suggéré que les difficultés de lecture des dyslexiques serait liées à un déficit du gyrus angulaire altérant la connectivité fonctionnelle entre les différentes aires de la lecture (Horwitz, Rumsey, & Donohue, 1998; Pugh, Mencl, Jenner et al., 2000; Pugh et al., 2001; Pugh, Mencl, Shaywitz et al., 2000; Rumsey et al., 1999; Shaywitz & Shaywitz, 2005; Shaywitz et al., 1998). Dans les tâches impliquant la mémoire phonologique (telle une tâche de reconnaissance de consonnes), les dyslexiques présenteraient également un déficit d'activation du gyrus supramarginalis (Habib, 1997; Paulesu et al., 1996; Temple, 2002). L'ensemble de ces résultats suggère que les faibles activations temporo-pariétales constitueraient une signature neuronale de la dyslexie (Eden & Zeffiro, 1998; Shaywitz et al., 1998).

- **La jonction occipito-temporale et la voie ventrale**

Des activations plus faibles de la jonction occipito-temporale gauche, relevées chez les dyslexiques lors de tâches de jugement de rime, ont été associées à leur difficultés de reconnaissance automatique des mots (Pugh et al., 2001; Shaywitz & Shaywitz, 2005; Shaywitz et al., 2003; Shaywitz et al., 1998). La perception orthographique a été étudiée en MEG par une tâche de lecture à haute voix de mots, avec une variation du contraste lumineux (Helenius, Tarkiainen, Cornelissen, Hansen, & Salmelin, 1999). Les activations précoces (100 ms après la présentation du stimulus) des dyslexiques équivalentes à celles des normo-lecteurs témoignent de capacités préservées d'analyse des caractéristiques visuelles de surface (Helenius et al., 1999). En revanche, les dyslexiques présentent des

activations inférieures à celles des normo-lecteurs dans le cortex occipito-temporal médian gauche sous-tendant l'analyse des chaînes de lettres (Helenius et al., 1999). Ce résultat suggère un déficit affectant le niveau sublexical de traitement orthographique (Helenius et al., 1999).

Suite à l'observation d'une activation plus importante de la jonction occipito-temporale gauche chez les dyslexiques dans une tâche de catégorisation sémantique à partir de deux mots écrits, Shaywitz *et al.* (2003) ont suggéré que l'activation de cette région pourrait être liée à des mécanismes différents chez les dyslexiques et les normo-lecteurs. Alors que les normo-lecteurs développent leurs capacités de reconnaissance des mots à partir de la mise en correspondance progressive des lettres et des sons, les dyslexiques utiliseraient un mécanisme basé sur la mémoire d'entité visuelle et la récupération lexicale, associé à des activations de la région occipito-temporale gauche (Shaywitz et al., 2007; Shaywitz et al., 2008; Shaywitz et al., 2003). Les régions temporales inférieures étant impliquées dans le traitement sémantique (voir par exemple : Fiez, 1997), le résultat de Shaywitz *et al.* (2003) pourrait aussi être lié à une activation plus importante des représentations sémantiques par les dyslexiques, favorisée par la consigne.

2.2. Le système de compensation

Selon le modèle de Pugh *et al.* (2001), les dyslexiques recruteraient le gyrus frontal inférieur afin de compenser leurs difficultés phonologiques par une utilisation accrue du recodage articulatoire. Ils activeraient aussi les régions postérieures de l'hémisphère droit, pour compenser leurs difficultés de lecture par la reconnaissance visuelle des patrons de lettres (Pugh et al., 2001). Des activations frontales bilatérales plus importantes ont été mises en évidence chez les dyslexiques lors de tâche de décision de rime à partir de non-mots (Shaywitz & Shaywitz, 2005; Shaywitz et al., 2003; Shaywitz et al., 1998). Toutefois, les dyslexiques présentent des activations frontales comparables à celles des normo-lecteurs lors d'un jugement d'homophonie ou d'une décision de rime portant sur des lettres (Paulesu et al., 1996; Rumsey, Nace et al., 1997). Ces résultats contradictoires pourraient s'expliquer par le moindre traitement phonologique requis par les tâches de jugement d'homophonie et de décision de rime sur des lettres. Ces tâches ne nécessitent pas de segmentation phonologique explicite des items et elles impliquent un transcodage grapho-phonologique moindre que les tâches de rime portant sur des non-mots. L'activation plus importante du gyrus frontal inférieur dans une tâche de décision de rime portant sur des non-mots par rapport à une tâche de décision portant sur des lettres chez les dyslexiques, tend à confirmer que le recrutement de cette région est associé aux difficultés de transcodage grapho-phonologique (Shaywitz & Shaywitz, 2005; Shaywitz et al., 1998).

Quant aux activations plus importantes des jonctions occipito-temporales et temporo-pariétales de l'hémisphère droit chez les dyslexiques par rapport aux normo-lecteurs, elles ont été mises en évidence dans différentes tâches de décision de rime et de catégorisation sémantique et elles seraient associées à un mécanisme de reconnaissance des mots impliquant la mémoire visuelle (Shaywitz & Shaywitz, 2005; Shaywitz et al., 2003; Shaywitz et al., 1998). Elles sont plus importantes chez les dyslexiques ayant compensé leurs difficultés de lecture que chez les dyslexiques ayant des difficultés persistantes (Shaywitz et al., 2003) et elles sont plus corrélées avec le niveau de lecture chez les dyslexiques que chez les normo-lecteurs (Pugh, Mencl, Shaywitz et al., 2000; Rumsey et al., 1999).

La moindre activation de la jonction temporo-pariétale gauche chez les dyslexiques paraît liée à leur trouble phonologique et la jonction occipito-temporale serait moins activée en relation avec un déficit de traitement visuel des indices orthographiques. Le gyrus frontal inférieur bilatéral et les régions postérieures de l'hémisphère droit seraient recrutés de manière plus importante par les dyslexiques dans le but de pallier leurs difficultés de lecture en ayant recours au recodage articulatoire et à la mémorisation de la forme visuelle globale des mots.

2.3. Les altérations fonctionnelles du réseau de lecture chez l'enfant dyslexique

L'étude du réseau neuronal de la lecture chez l'enfant dyslexique est particulièrement complexe, car il est important de distinguer les différences d'activations liées à une altération du réseau de la lecture des différences d'activations s'expliquant par le niveau de maturation cérébrale ou le niveau de lecture. Parmi les rares études du réseau neuronal sous-tendant la lecture chez les enfants dyslexiques, peu ont contrôlé à la fois les effets de l'âge, du niveau de lecture et des performances.

Deux études réalisées à partir de tâches de lecture de mots et de non-mots ont montré, qu'en comparaison d'enfants de même âge, les dyslexiques présentent un patron d'altération du réseau de la lecture voisin de celui des adultes dyslexiques (Georgiewa et al., 2002; Sarkari et al., 2002). En analysant les activations obtenues lors d'une tâche de reconnaissance de mots à l'écrit et à l'oral, Simos *et al.* (2000) ont mis en évidence, chez les enfants dyslexiques, une latéralisation inverse des activations temporo-pariétales uniquement dans la tâche visuelle. Les activations comparables observées dans la tâche auditive excluent l'hypothèse d'un dysfonctionnement général de cette région et ces résultats suggèrent une relation directe entre les faibles activations de la jonction temporo-pariétale gauche et le trouble du décodage chez les dyslexiques (Simos, Breier, Fletcher, Bergman, & Papanicolaou, 2000). Des études de jugement de rime ont confirmé la moindre activation de

cette région, et notamment des gyri temporal supérieur, supramarginalis et du lobule pariétal inférieur, chez les enfants dyslexiques de 7 à 18 ans par rapport aux enfants de même âge (Cao, Bitan, Chou, Burman, & Booth, 2006; Hoeft et al., 2006; Hoeft et al., 2007; Shaywitz et al., 2002; Simos, Breier, Fletcher, Foorman et al., 2000; Temple et al., 2001), mais aussi par rapport à des enfants de même niveau de lecture (Hoeft et al., 2006; Hoeft et al., 2007). Les résultats de ces études attestent la relation entre le déficit d'analyse phonologique et la moindre activation de la jonction temporo-pariétale gauche (Cao et al., 2006; Simos, Breier, Fletcher, Foorman et al., 2000; Temple et al., 2001) et appuient l'hypothèse considérant ces faibles activations comme la signature neurologique de la dyslexie (Eden & Zeffiro, 1998; Shaywitz et al., 1998).

L'activation plus faible de la jonction occipito-temporale bilatérale chez les dyslexiques a été mise en évidence par rapport aux enfants de même âge et de même niveau de lecture dans plusieurs études de décision de rime, de catégorisation sémantique et de jugement de similarité de lettres (Booth, Bebko et al., 2007; Cao et al., 2006; Corina et al., 2001; Hoeft et al., 2006; Hoeft et al., 2007; Shaywitz et al., 2002; Temple et al., 2001). Cette moindre activation paraît liée à un déficit affectant non seulement la reconnaissance des mots, mais aussi le traitement orthographique précoce des lettres. La relation entre l'activation plus faible de la jonction occipito-temporale gauche et les difficultés de traitement orthographique chez les dyslexiques semble confirmée par l'augmentation des activations lors de la présentation de lettres suite à un entraînement au principe alphabétique, faisant notamment appel à un enseignement renforcé des correspondances grapho-phonémiques et à la pratique extensive de la lecture (Shaywitz et al., 2004).

Dans une étude développementale, Shaywitz *et al.* (2007) ont montré que les activations occipito-temporales évoluent différemment chez les dyslexiques et les normo-lecteurs. Chez les normo-lecteurs, l'activation de la partie antérieure latérale de la jonction occipito-temporale gauche augmente avec l'âge en lien notamment avec l'intégration grapho-phonologique de plus en plus importante. A l'inverse, les dyslexiques présentent une augmentation de l'activation dans la partie médiane postérieure de la jonction occipito-temporale bilatéralement qui témoignerait d'un recours à un système de lecture principalement basé sur la mémoire visuelle (Shaywitz et al., 2007). Cette interprétation est en accord avec l'hypothèse d'une mise en place progressive du système de compensation au sein de cette région dans l'hémisphère droit (Pugh et al., 2001). Dans une tâche de catégorisation sémantique visant à évaluer la lecture de mots connus, les corrélations entre le niveau de lecture des enfants dyslexiques et normo-lecteurs confondus et les activations occipito-temporales sont positives à gauche et négatives à droite, ce qui confirme que les meilleurs lecteurs recrutent principalement la région gauche tandis que les lecteurs plus

faibles recrutent la région droite (Shaywitz et al., 2002). L'ensemble de ces données suggère, qu'en dépit d'activations globalement plus faibles dans la région occipito-temporale droite chez les enfants dyslexiques, cette région serait impliquée dans le système de compensation de la lecture basé sur la reconnaissance visuelle (Shaywitz et al., 2002).

Le recrutement des régions frontales inférieures bilatérales et temporo-pariétale droite dans le système de compensation proposé par Pugh *et al.* (2001) ne paraît pas clairement établi chez l'enfant dyslexique. Des études de jugement de rime et de reconnaissance de mot montrent une activation significativement plus importante dans le gyrus frontal inférieur gauche et la jonction temporo-pariétale droite chez des dyslexiques âgés de 8 à 17 ans par rapport aux enfants de même âge (Hoeft et al., 2007; Simos, Breier, Fletcher, Foorman et al., 2000; Temple et al., 2001). En revanche, d'autres études de jugement de rime auditive ou visuelle et de manipulation de phonème observent une activation plus faible du gyrus frontal inférieur bilatéral et de la jonction temporo-pariétale droite chez les dyslexiques de 7 à 18 ans par rapport aux normo lecteurs de même âge ou de même niveau de lecture (Cao et al., 2006; Corina et al., 2001; Georgiewa et al., 1999; Hoeft et al., 2006; Shaywitz et al., 2002).

Il a été observé que chez le normo-lecteur, l'activation du gyrus frontal inférieur gauche diminue avec l'âge et avec l'augmentation des performances, alors que chez le dyslexique l'activation du gyrus frontal inférieur bilatéral augmente avec l'âge (Hoeft et al., 2007; Shaywitz et al., 2002; Shaywitz et al., 2007). Cette évolution est en accord avec le modèle de Pugh *et al.* (2001) selon lequel le système de compensation impliquant les gyri frontaux inférieurs se développerait progressivement afin de compenser le dysfonctionnement des régions postérieures. De la même manière, le système de compensation de l'hémisphère droit étant le dernier à se mettre en place (Pugh et al., 2001), il est possible qu'il ne soit pas encore pleinement efficient chez les enfants dyslexiques.

Comme les adultes dyslexiques, les enfants présentent des activations plus faibles des jonctions temporo-pariétale et occipito-temporale gauches. En revanche, l'état actuel des connaissances ne permet pas de préciser l'implication des régions postérieures de l'hémisphère droit et des régions frontales inférieures dans le système de compensation chez l'enfant dyslexique.

3. Le réseau neuronal de la lecture dans la dysphasie

Quatre études se sont intéressées à la latéralisation du langage chez les dysphasiques entre 4 et 10 ans, notamment au moyen de tâches d'écoute dichotique, et leurs résultats ne permettent pas d'établir un dysfonctionnement spécifique de l'hémisphère

gauche (Chiron et al., 1999; Duvelleroy-Hommet et al., 1995; Pecini et al., 2005; Shafer, Schwartz, Morr, Kessler, & Kurtzberg, 2000). Seuls Weismer *et al.* (2005) ont réalisé une étude en IRM fonctionnelle auprès d'enfants dysphasiques. Cette étude portait sur une tâche d'empan complexe auditif, couplant une tâche de compréhension de phrases et de rappel du dernier mot de chaque phrase, toutes les quatre phrases. Les dysphasiques de 13-14 ans y présentaient des activations inférieures à celles des enfants de même âge dans le cortex pariétal (AB 7/40), le sillon précentral et le gyrus frontal inférieur (AB 44) gauches (Weismer, Plante, Jones, & Tomblin, 2005). Il est intéressant de souligner que dans cette étude la latéralisation des activations est comparable pour les dysphasiques et les enfants contrôles (Weismer et al., 2005).

4. Objectifs de notre étude en IRMf

Cette étude avait pour objectif de comparer les altérations du réseau neuronal de la lecture chez des enfants dyslexiques et dysphasiques phonologiques-syntaxiques. Nous avons élaboré deux paradigmes expérimentaux pour :

1) analyser les deux voies de la lecture à travers une épreuve de décision lexicale censée recruter la voie dorsale phonologique et la voie ventrale/orthographique. Une étude précédemment réalisée dans notre laboratoire a montré que les activations induites par cette tâche chez l'adulte normo-lecteur étaient fortement reproductibles (Otzenberger, Gounot, Marrer, Namer, & Metz-Lutz, 2005) et bien que différentes études aient utilisé cette tâche chez l'adulte normo-lecteur (Devlin et al., 2006; Fiebach et al., 2002; Fiebach et al., 2003; Jobard et al., 2003; Price et al., 1994; Pugh et al., 1997; Rumsey, Horwitz et al., 1997, etc.), elle a très rarement été utilisée pour étudier les réseaux neuronaux sous-tendant les troubles de la lecture.

2) comparer les activations de la voie dorsale/phonologique chez les dyslexiques et les dysphasiques dans une épreuve de décision de rime.

Compte tenu des données de la littérature et des résultats de l'étude neuropsychologique nous avons émis trois hypothèses : 1) les dyslexiques et les dysphasiques présenteraient des activations plus faibles des régions postérieures du réseau typique de la lecture, notamment de la région temporo-pariétale, et 2) une augmentation de l'activation du gyrus frontal inférieur bilatéral et des régions postérieures de l'hémisphère droit dans le but de compenser leurs difficultés. 3) Au vu des déficits de vocabulaire, de discrimination et de mémoire phonologiques des dysphasiques, leurs activations devraient toutefois se distinguer de celles des dyslexiques, notamment dans les régions impliquées dans le traitement lexical.

Chapitre 2 : Expériences

1. **Matériel et Méthode**

Nous avons souligné dans le chapitre précédent la nécessité de distinguer dans les études neuroanatomiques chez l'enfant les effets liés à un fonctionnement cérébral déviant des effets confondants de l'âge, du niveau de lecture ou des performances à la tâche d'activation. Les activations des dyslexiques et des dysphasiques ont donc été comparées à celles de deux groupes de normo-lecteurs, l'un apparié sur l'âge et l'autre sur le niveau de lecture, mais aussi sur les performances et les temps de réponse aux deux épreuves réalisées dans le scanner. Afin de réduire les appréhensions de l'enfant et de la famille face à l'examen IRM nécessitant le maintien prolongé dans une atmosphère confinée et très bruyante, les enfants ont été préparés à l'expérience en plusieurs étapes que nous décrivons dans la procédure.

1.1. Sujets

Parmi les 44 enfants ayant participé à l'étude comportementale, 43 ont accepté de participer à l'étude en IRM fonctionnelle. Pour chaque expérience, nous avons analysé les images acquises chez les enfants dont les performances n'étaient pas significativement inférieures au hasard et dont les mouvements pendant l'acquisition n'étaient pas supérieurs à la taille du voxel. Afin d'éviter un effet confondant lié aux performances, nous avons veillé à ce que le groupe d'enfants de même niveau de lecture soit également apparié aux dyslexiques et dysphasiques sur les performances et les temps de réponse à chaque expérience. Les données des ANOVAs réalisées sur ces deux variables (performances et temps de réponse) sont présentées dans la colonne « statistiques » des tableaux III.A et III.B.

Dans l'expérience de décision lexicale, nous avons analysé les données de 9 enfants dyslexiques et 7 enfants dysphasiques. Chaque groupe contrôle comprenait 7 enfants normo-lecteurs (Tableau III.A).

Tableau III.A Caractéristiques des sujets retenus pour l'analyse de l'expérience de décision lexicale

	Dyslexiques		Dysphasiques		Groupe apparié sur le niveau de lecture		Groupe apparié sur l'âge chronologique		Statistiques (ANOVAs réalisées avec le facteur groupe)	
	M	E-T	M	E-T	M	E-T	M	E-T		
N	9		7		7		7			
Age chronologique (années;mois)	11;2	2;5	12;6	1;10	8;4 ^a	0;9	12;5	1;3	F(3,26) = 8,79 p < ,001	
Age de lecture (années;mois)	7;9	0;11	8;3	1;2	8;4	0;11	11;10 ^b	1;7	F(3,26) = 19,45 p < ,0001	
Performances à la tâche de décision lexicale	%	66,2	22,7	82,0	9,7	65,9	18,5	93,1 ^c	2,8	F(3,26) = 4,95 p < ,01
	TR (ms)	1177,9	158,7	1038,8	152,1	1115,0	125,4	1004,2	119,5	F(3,26) < 1 ns
Performances à la tâche contrôle	%	91,8	5,0	94,9	4,8	87,3 ^a	6,7	97,1	1,5	(3,26) = 8,67 p < ,001
	TR (ms)	934,8	148,8	868,3	169,7	957,6	87,3	862,7	95,3	F(3,26) = 2,40 ns

^a : Valeur du groupe significativement inférieure à celle de tous les autres groupes

^b : Valeur du groupe significativement supérieure à celle de tous les autres groupes

^c : Valeur du groupe significativement supérieure à celle de tous les autres groupes excepté les dysphasiques

Dans l'expérience de jugement de rime, nous avons analysé les données de 10 enfants dyslexiques et 7 enfants dysphasiques. Chaque groupe contrôle comptait 6 enfants (Tableau III.B).

Tableau III.B Caractéristiques des sujets retenus pour l'analyse de l'expérience de jugement de rime

	Dyslexiques		Dysphasiques		Groupe apparié sur le niveau de lecture		Groupe apparié sur l'âge chronologique		Statistiques (ANOVAs réalisées avec le facteur groupe)	
	M	E-T	M	E-T	M	E-T	M	E-T		
N	10		7		6		6			
Age chronologique (années;mois)	12;0	1;6	12;7	1;8	8;9 ^a	1;1	12;7	1;0	F(3,25) = 6,85 p < ,01	
Age de lecture (années;mois)	7;10	0;10	8;1	1;4	8;7	0;8	12;7 ^b	1;2	F(3,25) = 22,63 p < ,001	
Performances à la tâche de décision de rime	%	70,1	12,9	73,0	16,1	70,1	12,3	89,8 ^b	5,5	F(3,25) = 3,61 p < ,05
	TR (ms)	1638,5	232,4	1329,6	168,8	1362,2	325,4	1773,0	710,1	F(3,25) < 1 ns
Performances à la tâche contrôle	%	83,0	10,1	82,2	21,7	79,3	16,2	91,3	5,4	F(3,25) = 2,86 ns
	TR (ms)	1464,4	85,1	1121,1	207,7	1368,9	182,8	1347,2	261,9	F(3,25) = 1,6 ns

^a : Valeur du groupe inférieure à celle de tous les autres groupes

^b : Valeur du groupe supérieure à celle de tous les autres groupes

1.2. Epreuves

Dans les deux expériences, les stimuli étaient projetés sur un écran placé derrière le scanner et que l'enfant voyait grâce à des lunettes à prisme. L'enfant devait répondre « oui » ou « non » en appuyant sur l'un des deux boutons d'une souris. Le bouton de droite servait à la réponse oui et le bouton de gauche à la réponse non. L'enfant avait pour instruction d'appuyer sur chaque bouton en utilisant le pouce correspondant, afin de contrebalancer un possible effet confondant lié à l'utilisation d'une seule main. Cette technique nous a permis de mesurer les performances et les temps de réponses (*cf.* Tableaux III.A et III.B). Les épreuves ont été réalisées au moyen du logiciel E-Prime (Psychological Software Tools, Pittsburgh, 2000). Nous avons utilisé un paradigme en bloc pour ces deux expériences. Les temps de présentation des stimuli et les intervalles inter-stimuli ont été établis à partir d'une étude pilote réalisée auprès de plusieurs enfants volontaires, hors imageur.

- **Décision lexicale**

Dans la tâche d'intérêt, l'enfant devait décider si la suite de lettres présentée correspondait à un mot réel ou non. 119 mots uni ou bisyllabiques composés de 3 à 6 lettres ont été utilisés (*e.g. lit, ballon*). Les mots sélectionnés avaient une fréquence lexicale élevée et une forme visuelle orthographique acquise avant l'âge de 6 ans (Content et al., 2005; Ferrand et al., 2003; Lete et al., 2004). Les 119 non-mots ont été créés en changeant une lettre dans chacun des 119 mots. Les chaînes de caractères ainsi formées étaient prononçables et n'étaient pas un pseudo-homophone (*e.g. tit, dallon*). Les listes de mots et de non-mots sont présentées en annexe 5a. La tâche contrôle consistait en une présentation de suites de 3 ou 4 symboles (*e.g. ⚡&∞∩⌘, ⓂⓂⓂ∩*) et l'enfant devait déterminer à chaque essai si le symbole « ∩ » était présent ou non dans la suite. Chaque tâche contenait le même nombre total de réponses oui et non. Les stimuli étaient présentés pendant une durée de 1800 ms et suivis par un écran blanc pendant 700 ms, les enfants disposaient ainsi d'un temps de réponse de 2500 ms avant l'apparition du stimulus suivant, laquelle était indépendante de la vitesse de réponse. L'épreuve durait environ 10 minutes et comprenait 10 blocs de chaque tâche présentée en alternance. Chaque bloc comprenait 12 essais (Schéma III.A).

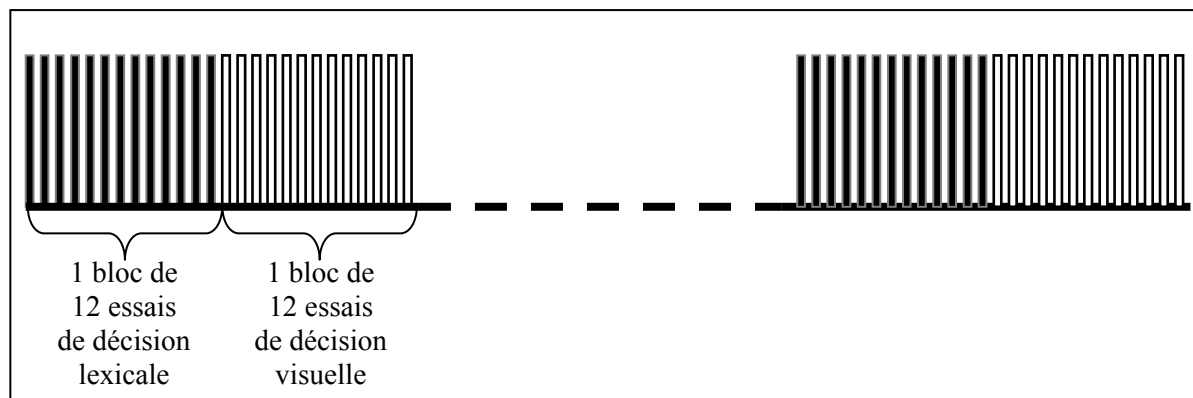


Schéma III.A : Structure générale de l'épreuve de décision lexicale : en noir les essais correspondant à la décision lexicale, en blanc ceux correspondant à la décision visuelle, chaque type de bloc (décision lexicale et décision visuelle) a été présenté 10 fois, soit un total de 20 blocs.

- **Jugement de rime**

Dans la tâche d'intérêt, l'enfant devait déterminer si les deux mots présentés rimaient ou non. Les 160 paires de mots uni ou bisyllabiques utilisés répondaient aux mêmes critères de fréquence et d'âge d'acquisition que les mots utilisés dans la tâche de décision lexicale (e.g. *pour/jour*, *moment/avant*, – *peu/chat*, *dormir/passer*) (Lete et al., 2004). Les listes complètes des stimuli sont présentées en annexe 5b. Afin de minimiser la charge en mémoire les deux mots étaient présentés simultanément l'un au dessus de l'autre. La moitié des rimes était homographe et l'autre moitié non-homographe, mais il était précisé à l'enfant qu'il devait décider si les mots rimaient sans tenir compte de leur orthographe. La tâche contrôle consistait en la présentation simultanée de deux suites de 4 à 5 consonnes (b, g, m, s, t), pour lesquelles les enfants devaient déterminer si elles étaient identiques ou différentes. Les deux suites étaient formées par les mêmes lettres mais agencées soit dans le même ordre, soit dans un ordre différent (e.g. *réponse oui* : *smgbt/smgbt* – *réponse non* : *stmb/bmts*). Chaque tâche contenait le même nombre de réponses oui et non. Les stimuli étaient présentés pendant une durée de 2800 ms et suivis d'un écran blanc de 200 ms, les enfants disposaient ainsi de 3000 ms pour répondre avant l'apparition du stimulus suivant, laquelle était indépendante de la vitesse de réponse de l'enfant. L'épreuve durait environ 12 minutes et comprenait 6 blocs de 20 essais de chaque tâche présentée en alternance, soit un total de 12 blocs (sur un modèle identique à celui présenté dans le schéma III.A).

1.3. Procédure expérimentale

- **Première visite et découverte de l'environnement IRM**

Lors de la première venue, l'enfant et ses parents visitaient le local d'acquisition et prenaient connaissance de l'IRM et de la cage Faraday et des principes de fonctionnement de l'équipement. Puis, l'enfant découvrait l'environnement de l'expérience, *i.e.* la position

allongée, le confinement ressenti dans l'antenne, le port des lunettes à prismes et du casque anti-bruit, la souris, la poire d'appel, etc. Cette première visite avait pour objectif de permettre à l'enfant et à ses parents de donner leur consentement en ayant réellement connaissance des conditions dans lesquelles l'expérience allait être réalisée.

- **Familiarisation avec les épreuves et entraînement en simulateur**

Le jour de l'expérience avant l'acquisition, l'enfant réalisa tout d'abord un entraînement aux deux expériences sur un écran d'ordinateur hors IRM. La session d'entraînement de la décision lexicale comprenait quatre blocs de chaque tâche (décision lexicale et visuelle), chacun comprenant 4 essais. La session d'entraînement du jugement de rime comprenait 2 blocs de chaque tâche (décision de rime et de jugement de suite de consonnes), comptant chacun 3 essais. Le mode et la durée de présentation des stimuli étaient identiques à ceux utilisés lors de l'acquisition des images à cela près que durant les sessions d'entraînement, l'enfant était informé, après chaque essai, de l'exactitude de sa réponse par l'affichage, durant 300 ms, du mot FAUX en rouge ou du mot JUSTE en bleu. En l'absence de réponse, le message « tu n'as pas répondu » s'affichait. L'enfant réalisait successivement les sessions d'entraînement des deux expériences jusqu'à ce que ses performances témoignent d'une bonne compréhension de la consigne.

Dans un deuxième temps, nous procédions à une simulation de l'acquisition dans un ancien imageur IRM reconditionné, dans lequel toutes les conditions de l'IRM étaient reproduites : confinement, lunettes à prismes, casque anti-bruit, souris, poire d'appel et bruit des gradients, auxquels l'enfant avait été exposé préalablement. Pour chaque expérience, il réalisait l'entraînement avec les feedbacks et sans le bruit des gradients, puis quand il se sentait prêt, il réalisait la version courte de chaque expérience (4 blocs de 8 essais) en conditions réelles avec le bruit des gradients et sans les feedbacks.

Cette procédure expérimentale, la visite du lieu de recherche, l'entraînement et la simulation ont permis d'assurer des conditions optimales pour l'acquisition des données IRM (Rosenberg et al., 1997).

- **Examen IRM**

A l'exception des réglages nécessaires à l'acquisition des images et de l'acquisition d'une image morphologique à la fin de l'examen (d'une durée d'environ 5 minutes), le déroulement de l'examen IRM était identique en tous points à la simulation : les enfants réalisaient les deux expériences successivement chaque fois précédées de l'entraînement correspondant, avec les feedbacks. L'ordre de passation des deux expériences était alterné d'un enfant à l'autre. Avant chaque expérience, les instructions rappelées sur l'écran et répétées oralement à l'enfant au travers de son casque. La durée totale de la passation en

IRM était d'environ 40-45 minutes avec les réglages, les deux tâches et l'image morphologique. Pour tranquilliser les enfants les plus jeunes, un expérimentateur restait dans la cage de Faraday durant l'acquisition.

1.4. Acquisition et prétraitement des images

Les images ont été acquises dans un IRM 2 Tesla (MRI S200 Bruker) (Bruker Medical GmbH, Ettlingen, Allemagne) équipé avec une bobine de gradient SK330. Les images ont été obtenues en imagerie écho-planar (EPI) avec une séquence d'écho-gradient pondéré en T2*. Par volume, 32 coupes étaient acquises en orientation inter-commissurale AC-PC. La taille du voxel était de 4 x 4 x 4 mm pour une matrice de 64 voxels et un temps d'écho de 43 ms. Le temps de répétition (la durée d'acquisitions d'un volume complet) était de 5 secondes pour l'expérience de décision lexicale et de 6 secondes pour l'expérience de décision de rime. Deux essais étaient donc présentés pour une acquisition. Un total de 123 volumes était acquis pour chaque expérience. Les trois premiers volumes permettaient d'obtenir l'équilibre du signal RMN et ont été supprimés des analyses. La localisation anatomique a été réalisée grâce à des images d'écho de spins rapides (Fast Spin Echo – FSE) avec une résolution de 2 x 2 x 2 mm.

Les images ont ensuite été traitées au moyen du logiciel « Statistical Parametric Mapping » 5 (SPM5, Wellcome Department of Cognitive Neurology, London, UK). Nous avons procédé aux prétraitements standards. Les images ont été recalées sur la première image acquise, puis normalisées dans l'espace stéréotaxique du Montreal Neurological Institute (MNI) (Evans, Collins, & Millner, 1992) et lissées spatialement avec un filtre gaussien de 6 mm de largeur à la moitié du pic maximum. L'utilisation d'un espace stéréotaxique adulte pour la normalisation d'images acquises chez les enfants a été validée par différentes études (Burgund et al., 2002; Kang, Burgund, Lugar, Petersen, & Schlaggar, 2003; Muzik, Chugani, Juhasz, Shen, & Chugani, 2000). Ces études ont révélé la présence de différences anatomiques minimales en comparaison de la résolution de l'IRMf et de différences négligeables dans les localisations fonctionnelles entre des enfants de 6-8 ans et des adultes. La localisation des activations se fait au moyen de coordonnées chiffrées x, y, z correspondant aux trois directions de l'espace (Figure III.C)

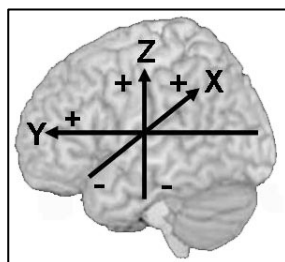


Figure III.C Schéma
représentant les axes de
coordonnées x, y z

1.5. Analyses des images

Dans une analyse de premier niveau, nous avons calculé pour chaque individu les images de contraste, c'est-à-dire la différence d'activation entre la tâche d'intérêt et la tâche contrôle au niveau du cerveau entier. Afin de minimiser le bruit lié aux mouvements, les déplacements du crâne dans les 6 directions et les dérivées de ces déplacements ont été utilisés comme vecteurs de non-interêt. Afin de supprimer le bruit lié aux mouvements oculaires dans les activations cérébrales, des régions d'intérêt ont été créées autour des yeux de chaque enfant et leurs valeurs ont été utilisées comme vecteurs de non-interêt. Deux analyses de groupe ont été réalisées, l'une en effet fixe et l'autre en effet aléatoire. L'analyse en effet fixe avait principalement pour objectif la délimitation des régions d'intérêt.

L'analyse en effet aléatoire offre l'avantage principal de permettre la généralisation des résultats obtenus à l'ensemble de la population, contrairement à l'analyse en effet fixe dont les conclusions sont limitées à l'échantillon évalué. Afin d'identifier pour chaque groupe le réseau d'activation commun, un test-t sur un échantillon utilisant les cartes de contrastes de chaque individu du groupe a été effectué. Les activations des enfants dyslexiques et dysphasiques ont ensuite été comparées à celles des deux groupes de normo-lecteurs et entre elles au moyen de tests-t sur deux échantillons. La labellisation des régions activées a été réalisée grâce à la boîte à outils MSU (MNI Space Utility) de SPM5, convertissant les coordonnées de l'atlas stéréotaxique du MNI en coordonnées de l'atlas stéréotaxique de Talairach et Tournoux (1988) afin de retrouver les régions anatomiques correspondantes (Steffener, et Pakhomo, Cognition and Brain sciences Unit, Medical Research Council, Cambridge) (Talairach & Tournoux, 1988).

Pour chaque expérience, des analyses en régions d'intérêt (ROI) ont été réalisées. Les ROIs ont été créés au moyen de la boîte à outils Marsbar de SPM (Brett, Anton, Valabregue, & Poline, 2002) sur la base de deux principes liés à nos objectifs. Les zones cérébrales sous-tendant les deux voies de la lecture ont été choisies en fonction des

données de la littérature. Afin de restreindre l'étendue de nos régions d'intérêt, non pas aux régions anatomiques, mais aux parties de ces régions impliquées dans la tâche, l'étendue des ROIs a été déterminée à partir des activations obtenues dans l'hémisphère gauche dans l'analyse en effet fixe des enfants normo-lecteurs (les deux groupes confondus). Les régions d'intérêt de l'hémisphère gauche furent ainsi définies par l'intersection des régions anatomiques de la liste Marsbar aal.02 et des activations des normo-lecteurs. Les ROIs ont été placées dans les régions postérieures de la voie dorsale à la jonction temporo-pariétale et de la voie ventrale à la jonction occipito-temporale. Dans le gyrus frontal inférieur, nous avons distingué la pars opercularis associée au traitement phonologique et à la voie dorsale et la pars triangularis sous-tendant le traitement sémantique et associée aux deux voies de lecture. Dans le but de tester l'hypothèse d'un système de compensation impliquant l'hémisphère droit, des ROIs symétriques ont été définies dans l'hémisphère controlatéral.

Pour la décision lexicale, six ROIs ont été définies (Figure III.D). En raison de l'absence d'activation significative de la jonction temporo-pariétale par les normo-lecteurs, aucune région d'intérêt n'a été définie dans cette zone. Au niveau de la voie dorsale, les ROIs localisées dans la jonction occipito-temporale avaient pour coordonnées du point central les coordonnées MNI $x = \pm 47, y = -56, z = -15$ (étendue de 2384 mm^3) et incluaient la partie postérieure latérale du gyrus fusiforme et la partie ventrale du gyrus temporal inférieur et les ROIs de la pars opercularis étaient centrées sur les coordonnées MNI $x = \pm 49, y = 10, z = 19$ (étendue : 2216 mm^3). Le point central des ROIs de la pars triangularis avait pour coordonnées MNI $x = \pm 47, y = 27, z = 12$ (étendue : 3936 mm^3).

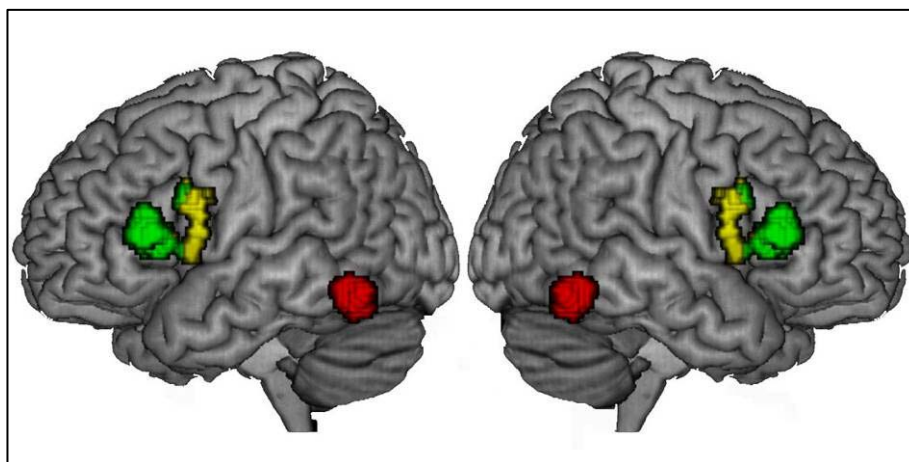


Figure III.D Régions d'intérêt définies pour la comparaison des activations de la décision lexicale, en rouge, les ROIs au niveau de la jonction occipito-temporale bilatérale situées sur la voie ventrale. En jaune, les ROIs au niveau de la pars opercularis bilatérale située dans la voie dorsale. En vert, les ROIs ciblant la pars triangularis bilatéralement pour le traitement sémantique, commun aux deux voies.

Pour la décision de rime, huit ROIs ont été définies (Figure III.E). Au niveau de la voie dorsale, les ROIs localisées dans la jonction occipito-temporale étaient centrées sur les coordonnées MNI $x = \pm 46$, $y = -54$, $z = -19$ (étendue : 3064 mm^3) et incluait une partie des gyri fusiforme et temporal inférieur et le point central des ROIs de la pars opercularis avaient pour coordonnées MNI $x = \pm 48$, $y = 10$, $z = 22$ (étendue : 2400 mm^3). Au niveau de la voie ventrale, les ROIs localisées dans la jonction temporo-pariétale étaient centrées sur les coordonnées MNI $x = \pm 31$, $y = -57$, $z = 46$ (étendue : 1984 mm^3) et incluait une partie des gyri angulaire et pariétal inférieur. Les ROIs correspondant à la pars triangularis étaient centrées sur les coordonnées MNI $x = \pm 44$, $y = 26$, $z = 21$ (étendue : 3000 mm^3).

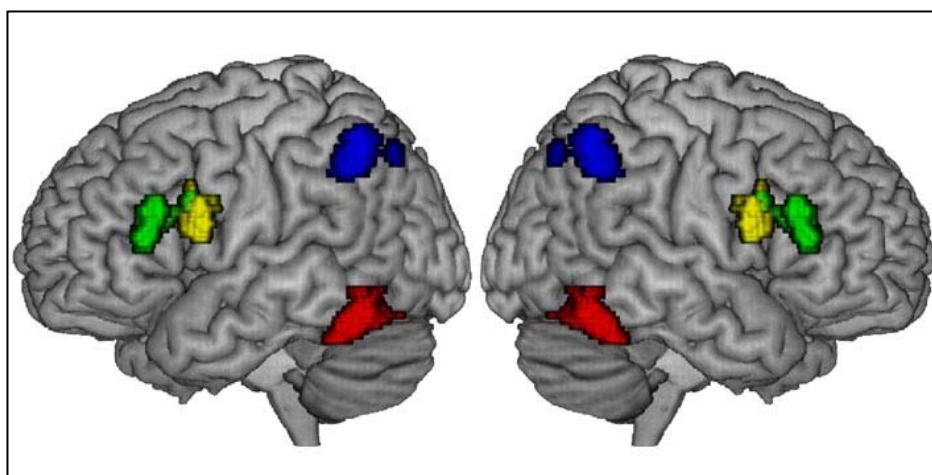


Figure III.E Régions d'intérêt définies pour la comparaison des activations de la décision de rime. En rouge, les ROIs au niveau de la jonction occipito-temporale bilatérale situées sur la voie ventrale. En jaune, les ROIs au niveau de la pars opercularis bilatérale et en bleu les ROIs correspondant à la jonction temporo-pariétale bilatérale situées dans la voie dorsale. En vert, les ROIs ciblant la pars triangularis bilatéralement pour le traitement sémantique, commun aux deux voies.

Le pourcentage de changement de signal entre la tâche d'intérêt et la tâche contrôle a été calculé pour chaque sujet dans chaque région d'intérêt au moyen de la boîte à outil MarsBar. En raison de la petite taille de nos échantillons, nous avons utilisé le test non-paramétrique U de Mann-Whitney (au moyen du logiciel Statistica 6.0 – StatSoft, France, 2001) pour comparer les pourcentages de changement de signal des différents groupes, procédant par conséquent à des comparaisons deux à deux.

2. Résultats

2.1. Décision lexicale

2.1.1. Analyses en effet aléatoire du cerveau entier, par groupe

La figure et le tableau III.1.1 présentent les régions cérébrales significativement activées par la décision lexicale par rapport à la décision de symbole (≡) dans chaque groupe étudié.

Les normo-lecteurs de même âge que les groupes pathologiques montrent des activations du gyrus frontal inférieur (AB 44 et 45, correspondant à l'aire de Broca, AB 6, 9, 13 et 10), et fusiforme (AB 37) gauches et des activations plus restreintes dans les gyri frontal inférieur et moyen droits (AB 46 et 10). Aucune activation significativement supérieure au seuil de $p < .0001$ n'est observée pour les enfants appariés sur le niveau de lecture.

Le groupe des dyslexiques activent le gyrus frontal inférieur bilatéralement (AB 45, 47 et 13) mais de manière plus importante à droite, les gyri frontal supérieur, moyen et cingulaire bilatéralement ainsi que le cuneus et le gyrus cingulaire postérieur gauche.

Le groupe des dysphasiques montre une activation bilatérale du gyrus frontal inférieur, plus étendue à gauche (AB 13/47) qu'à droite (AB 13/48), et des activations des gyri frontal moyen (AB 6) et pré/postcentral (AB 4/6) droits.

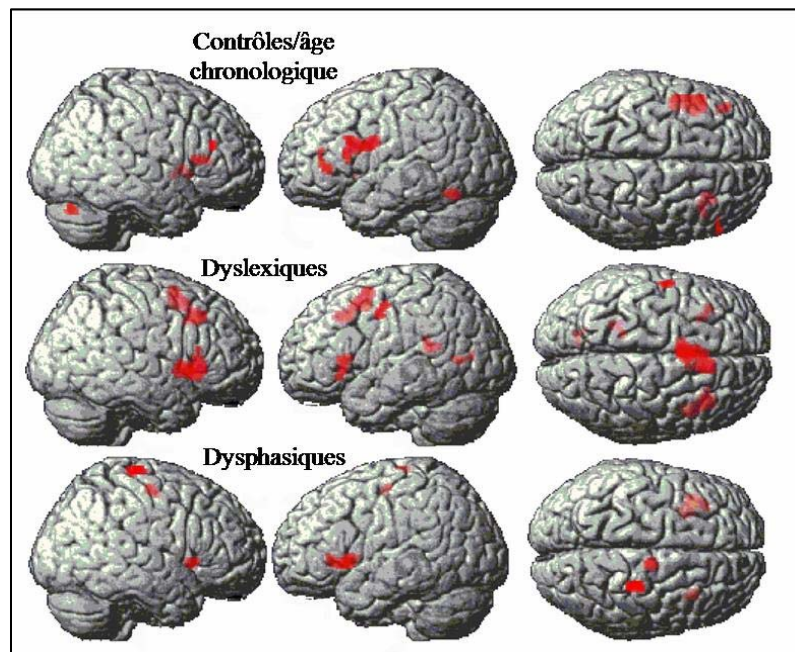


Figure III.1.1 : Régions corticales d'une étendue supérieure à 30 voxels significativement activées durant la tâche de décision lexicale pour les différents groupes, au seuil $p < .0001$ non corrigé au niveau du voxel.

Tableau III.1.1 : Régions cérébrales significativement activées par chaque groupe lors de la soustraction décision lexicale – décision visuelle (test-t sur un échantillon en effet aléatoire, activations significatives au seuil $p < .001$ non corrigé au niveau du voxel et ayant une étendue spatiale supérieure à 30 voxels)

	Groupe apparié sur l'âge chronologique				Dyslexiques				Dysphasiques			
	AB	Voxels	x y z	T	AB	Voxels	x y z	T	AB	Voxels	x y z	T
Gyri frontal inférieur / Insula G	6/9/13/ 44/45/46	339	-40 10 18	11,5	13/45/47	84	-32 24 0	5,4	13/47	195	-30 14 0	10,1
Gyri frontal inférieur / Insula D	13	70	38 20 10	11,3	13/45/47	308	36 22 4	6,5	13/48	45	34 16 -2	8,8
Gyri frontal inférieur / moyen G	10	49	-42 38 6	6,9								
Gyri frontal inférieur / moyen D	46	85	74 38 22	15,8								
Gyrus frontal moyen D									6	45	10 -18 60	12,6
Gyri frontal supérieur / moyen / cingulaire bilatéral					6/8/24/32	504	12 22 42	8,4				
Gyri pré / post central G					4/6	30	-56 -4 40	5,1				
Gyri pré / post central D									4/6	81	28 -28 72	12,8
Gyrus fusiforme G	37	38	-42 -60 -16	6,4								
Cuneus / Gyrus cingulaire G					17/18/23/30	32	-22 -64 6	6,8				
Cervelet D		38	40 -74 -30	7,2								
Corps calleux G						76	-16 -42 18	8,9				

2.1.2. Analyses comparatives des groupes

- **Analyses du cerveau entier en effet aléatoire**

Les tests-t sur deux échantillons ne montrent pas d'activation significativement plus importante chez les normo-lecteurs par rapport aux dyslexiques ou dysphasiques au seuil $p < .0001$. La figure III.1.2a et le tableau III.1.2 présentent les résultats des tests-t sur deux échantillons comparant les dyslexiques et dysphasiques aux enfants de même âge et la figure III.1.2b et le tableau III.1.3 ceux de la comparaison avec les enfants de même le niveau de lecture.

- Régions plus activées par les dyslexiques et les dysphasiques par rapport aux enfants de même âge

En comparaison des enfants de même âge, les dyslexiques activent significativement plus les gyri frontaux supérieur et moyen gauches, la partie ventrale du gyrus cingulaire antérieur gauche (AB 9/10/32), le gyrus cingulaire postérieur gauche et les parties dorsales et ventrales du gyrus cingulaire postérieur droit (AB 23/29/30), ainsi que la jonction occipito-pariétale (AB 19/39) bilatéralement.

Les dysphasiques présentent des activations significativement supérieures à celles des enfants de même âge dans les gyri pré/post central droit (AB 4/6/43) et temporal supérieur droit (AB 13/22).

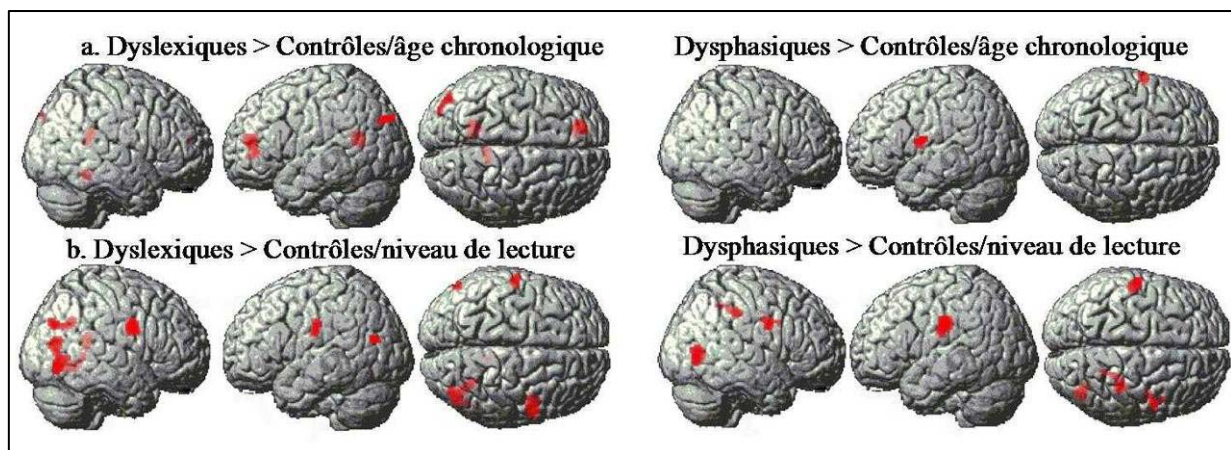


Figure III.1.2 : Régions corticales plus activées par les dyslexiques et les dysphasiques par rapport aux enfants appariés sur l'âge chronologique (a.) et par rapport aux enfants appariés sur le niveau de lecture (b.) lors de la tâche de décision lexicale.

Tableau III.1.2 : Régions cérébrales significativement plus activées par les dyslexiques et les dysphasiques par rapport aux enfants appariés sur l'âge chronologique lors de la tâche de décision lexicale (test-t sur deux échantillons en effet aléatoire, activations significatives au seuil $p < .001$ non corrigé au niveau du voxel et ayant une étendue spatiale supérieure à 50 voxels)

	Dyslexiques > Contrôles/âge chronologique					Dysphasiques > Contrôles/âge chronologiques						
	AB	Voxels	x	y	z	T	AB	Voxels	x	y	z	T
Gyri frontal supérieur / moyen / cingulaire G	9/10/32	180	-18	44	14	8,3						
Gyrus cingulaire G		151	-18	-54	18	6,4						
Gyrus cingulaire D	23/29/30	87	8	-44	18	5,0						
Gyri pré / post central D							4/6/43	64	-58	0	12	4,6
Gyri occipital supérieur / angulaire / cuneus / precuneus G	19/39	88	-42	-80	34	4,4						
Gyrus angulaire / precuneus D	19/39	34	40	-76	34	5,0						
Gyrus temporal supérieur D							13/22	31	-48	-12	4	5,1
Cervelet D		52	16	-46	-16	5,4						

- Régions plus activées par les dyslexiques et les dysphasiques par rapport aux enfants de même niveau de lecture

Par rapport aux enfants appariés sur le niveau de lecture, les dyslexiques présentent des activations significativement plus importantes dans les gyri pré/postcentraux gauches (AB 1/2/3/4), dans la partie supérieure la jonction occipito-temporale gauche (AB 13/19) ainsi que dans les gyri frontal inférieur et précentral et dans l'insula droits (AB 6/9/44) et dans les jonctions occipito-temporo-pariétale (AB 18/19/39) et occipito-temporale (AB 19/37) droites.

Les activations des dysphasiques sont significativement supérieures à celles des enfants de même niveau de lecture dans le gyrus pré/post central et l'insula gauches (AB 2/3/4) ainsi que dans les gyri frontal inférieur et précentral droits (AB 6/9), le lobe pariétal droit (AB 2/40 et AB 7) et la partie inférieure de la jonction occipito-temporale droite (AB 19/37).

Tableau III.1.3 : Régions cérébrales significativement plus activées par les dyslexiques et les dysphasiques par rapport aux enfants appariés sur le niveau de lecture lors de la tâche de décision lexicale (test-t sur deux échantillons en effet aléatoire, activations significatives au seuil $p < .001$ non corrigé au niveau du voxel et ayant une étendue spatiale supérieure à 50 voxels)

	Dyslexiques > Contrôles/niveau de lecture					Dysphasiques > Contrôles/niveau de lecture						
	AB	Voxels	x	y	z	T	AB	Voxels	x	y	z	T
Gyri frontal inférieur / précentral D	6/9/44	224	52	0	30	6,5	6/9	80	50	-2	30	5,4
Insula D		29	-28	-22	12	4,3						
Gyri pré / post central G	1/2/3/4	80	-60	-16	26	6,0						
Gyri pré / post central / Insula G							2/3/4	166	-56	-18	32	7,6
Lobule pariétal inférieur / Précuneus / Gyrus post central D							2/40	94	36	-32	40	6,4
Lobule pariétal supérieur / Précuneus D							7	30	12	-66	52	5,6
Gyrus cingulaire D		74	10	-44	16	5,8						
Gyrus temporal moyen G	13/19	53	-56	-70	18	5,4						
Gyrus temporal moyen D		33	54	-32	-8	4,5						
Gyri temporal moyen / occipital moyen G		38	-36	-72	16	4,1						
Gyri temporal inférieur / médian / occipital inférieur / médian D	19/37	288	46	-70	-6	5,5	19/37	167	40	-70	6	6,6
Gyri temporal supérieur / médian / occipital supérieur / angulaire / précuneus D	19/39	136	42	-72	30	5,0						
Gyri lingual / parahippocampique D	18/19	100	10	-64	-8	4,5						
Thalamus D		47	12	-16	-8	5,0						

○ Comparaisons des activations des dyslexiques et des dysphasiques

La comparaison des dyslexiques et des dysphasiques révèle des activations significativement plus importantes des gyri temporaux supérieur et médian gauches (AB 19/39) et du précuneus droit (AB 19) pour les dyslexiques (Figure III.1.3 et Tableau III.1.4). Les dysphasiques ne présentent pas d'activation supérieure aux dyslexiques au seuil $p < .0001$.

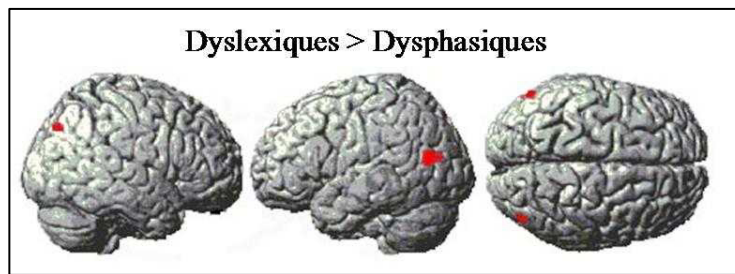


Figure III.1.3 : Régions corticales plus activées par les dyslexiques par rapport aux dysphasiques lors de la tâche de décision lexicale.

Tableau III.1.4 : Régions cérébrales significativement plus activées par les dyslexiques par rapport aux dysphasiques lors de la tâche de décision lexicale (test-t sur deux échantillons en effet aléatoire, activation significatives au seuil $p < .001$ non corrigé au niveau du voxel et ayant une étendue spatiale supérieure à 50 voxels)

	Dyslexiques > Dysphasiques			
	AB	Voxels	x y z	T
Précuneus D	19	72	48 -82 42	5,1
Gyri temporal supérieur / médian G	19/39	108	-58 -74 18	4,8

• **Analyses en régions d'intérêt**

Dans les ROIs de l'hémisphère gauche (Figure III.1.4), les tests de Mann-Whitney révèlent une diminution tendancielle de l'activation de la pars opercularis chez les dyslexiques ($p = .081$) et chez les dysphasiques ($p = .085$) par rapport aux enfants de même âge. Dans la jonction occipito-temporale, les activations des dyslexiques sont significativement plus faibles que celles des enfants de même âge ($p < .05$), alors que cette différence n'est que tendancielle chez les dysphasiques ($p = .085$). Les tests de Mann-Whitney comparant les activations des dyslexiques, dysphasiques et enfants de même niveau de lecture ne montrent aucune différence significative entre les groupes.

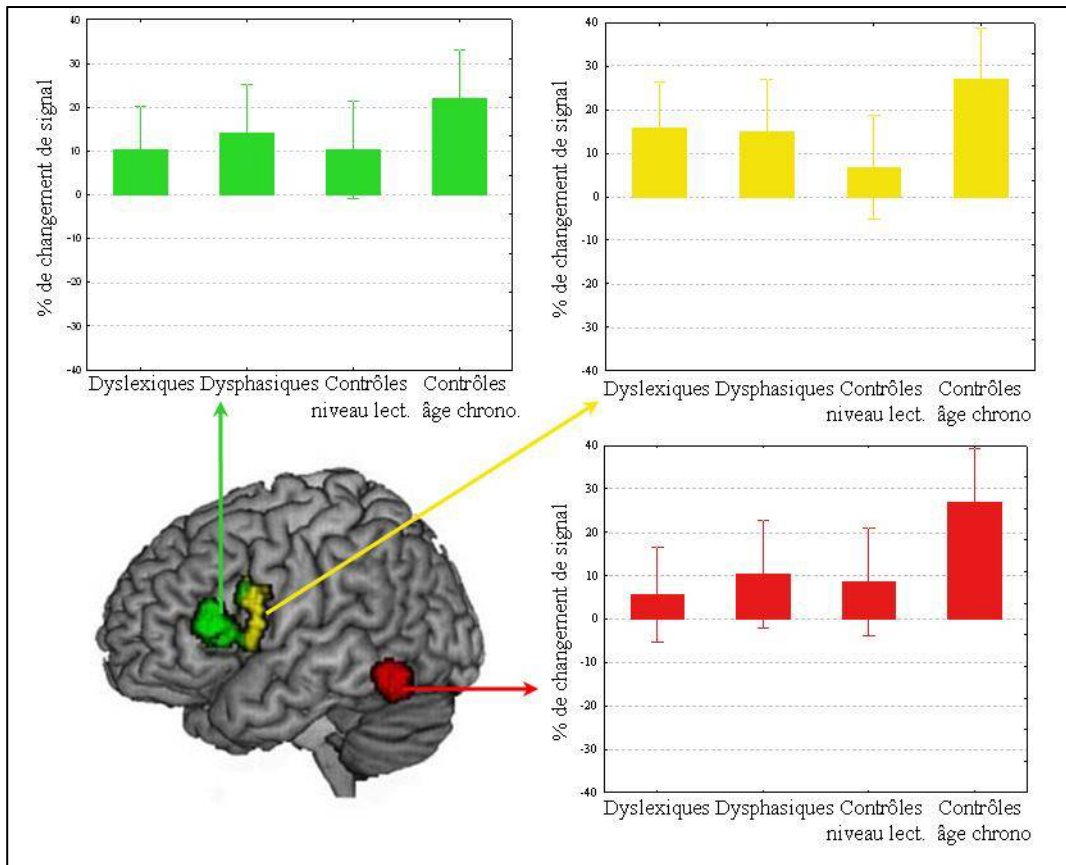


Figure III.1.4 : Variations du pourcentage de signal pour les quatre groupes dans les trois ROIs de l'hémisphère gauche (les barres d'erreurs correspondent à la déviation standard). En vert la ROI au niveau de la pars triangularis, en jaune la ROI au niveau de la pars opercularis et en rouge la ROI au niveau de la jonction occipito-temporale.

Dans les ROIs de l'hémisphère droit (Figure III.1.5), les tests de Mann-Whitney comparant les activations des dyslexiques et dysphasiques et des enfants de même âge ne révèlent qu'une diminution tendancielle de l'activation chez les dysphasiques dans la pars opercularis ($p = .064$). La comparaison avec les enfants de même niveau de lecture montre une augmentation tendancielle de l'activation dans la pars triangularis chez les dyslexiques et les dysphasiques ($p = .064$), ainsi qu'une augmentation significative de l'activation dans la pars opercularis ($p < .01$) et tendancielle dans la jonction occipito-temporale ($p = .081$) chez les dyslexiques. La comparaison des dyslexiques et des dysphasiques ne montre aucune différence significative.

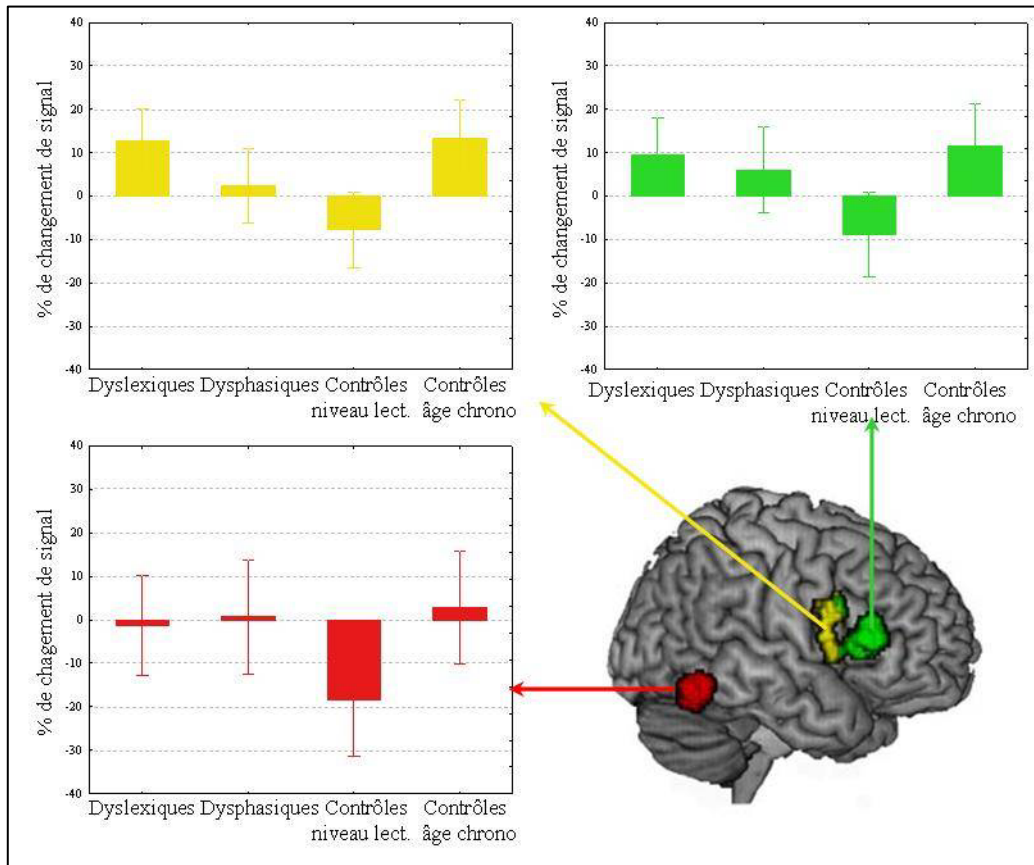


Figure III.1.5 : Variations du pourcentage de signal pour les quatre groupes dans les trois ROIs de l'hémisphère droit (les barres d'erreurs correspondent à la déviation standard). En vert la ROI au niveau de la pars triangularis, en jaune la ROI au niveau de la pars opercularis et en rouge la ROI au niveau de la jonction occipito-temporale.

2.2. Jugement de rime

2.2.1. Analyses en effet aléatoire du cerveau entier, par groupe

La figure et le tableau III.2.1 présentent les régions cérébrales significativement activées pour la décision de rime par rapport à la décision de similarité des suites de consonnes dans chaque groupe étudié.

Le test-t sur un échantillon réalisé avec le groupe contrôle de même âge montre une activation significative dans la partie postérieure du gyrus frontal inférieur gauche (AB 6/9), le gyrus parahippocampique gauche (AB 34) et le gyrus cingulaire antérieur droit et gauche (AB 32).

Le groupe contrôle de même niveau de lecture présente des activations significatives dans la jonction occipito-temporale gauche (AB 19/21/22/37).

Le groupe des dyslexiques présente des activations significatives dans les gyri frontaux supérieur, moyen et inférieur gauches (AB 6), la jonction occipito-temporale gauche

(AB 18/19) et le gyrus cingulaire postérieur bilatéral (AB 18/19). L'activation de l'aire 6 dans l'hémisphère droit s'étend au niveau des gyri frontal supérieur et moyen.

Le groupe des dysphasiques montre une activation significative, dans le gyrus fusiforme gauche (AB 20/37).

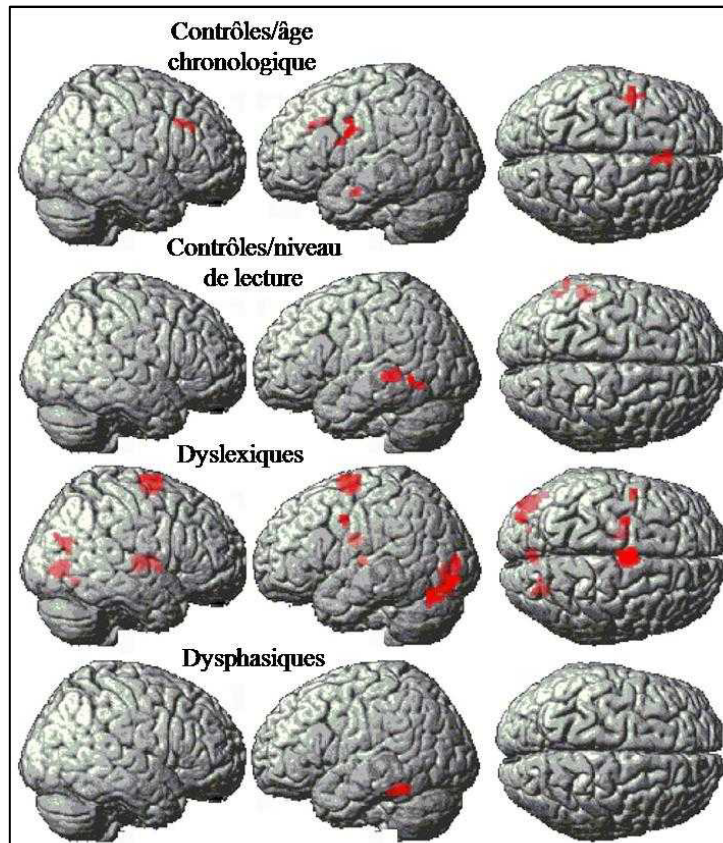


Figure III.2.1 : Régions corticales d'une étendue supérieure à 30 voxels significativement activées durant la tâche de décision de rime pour les différents groupes, au seuil $p < .0001$ non corrigé au niveau du voxel.

Tableau III.2.1 : Régions cérébrales significativement activées par chaque groupe lors de la soustraction décision de rime – décision visuelle (test-t sur un échantillon en effet aléatoire, activations significatives au seuil $p < .001$ non corrigé au niveau du voxel et ayant une étendue spatiale supérieure à 30 voxels)

	Groupe apparié sur l'âge chronologique					Groupe apparié sur le niveau de lecture				Dyslexiques				Dysphasiques					
	AB	Voxels	x	y	z	T	AB	Voxels	x	y	z	T	AB	Voxels	x	y	z	T	
Gyri frontal inférieur / précentral G	6/9	54	-44	-2	28	12,8													
Gyri frontal inférieur / moyen G												6	32	-52	0	40		5,4	
Gyri frontal supérieur / moyen G												6	34	-28	-6	64		7,4	
Gyri frontal supérieur / moyen bilatéral												6	284	0	0	72		6,0	
Gyri temporal supérieur / moyen G							21/22	105	-52	-34	-2	14,3							
Gyrus fusiforme G														20/37	70	-38	-46	-20	10
Gyri temporal inférieur / moyen /occipital moyen G							19/21/37	67	-74	-52	-2	33,4							
Gyri fusiforme / temporal moyen /occipital moyen G												18/19	333	-42	-86	-10		6,85	
Gyri fusiforme / lingual G												18/19	36	-20	-74	-12		6,4	
Gyrus occipital moyen G												18/19	77	-30	-88	8		5,6	
Précuneus D													56	26	-74	20		6,9	
Gyrus cingulaire antérieur bilatéral	32	54	2	28	34	14,5													
Gyrus cingulaire postérieur bilatéral												18/19	175	2	-78	-2		6,8	
Gyrus Parahippocampique G	34	32	-20	-6	-20	4,7													
Noyaux gris centraux D													268	16	-14	2		10,3	
Noyaux gris centraux G													60	-18	-8	24		5,7	
Thalamus G													42	-10	-14	6		6,1	

2.2.2. Analyses comparatives des groupes

• **Analyses du cerveau entier en effet aléatoire**

- Régions moins activées par les dyslexiques et les dysphasiques par rapport aux enfants normo-lecteurs

La figure et le tableau III.2.2 présentent les résultats des tests-t sur deux échantillons comparant les normo-lecteurs aux dyslexiques et dysphasiques.

La comparaison avec les enfants de même âge montre des activations plus faibles du gyrus frontal inférieur et du pôle temporal gauches (AB 47/38) chez les dyslexiques. La comparaison avec les enfants de même niveau de lecture révèle des activations inférieures des gyri temporaux supérieur et moyen gauches (AB 21/22) chez les dyslexiques et dysphasiques.

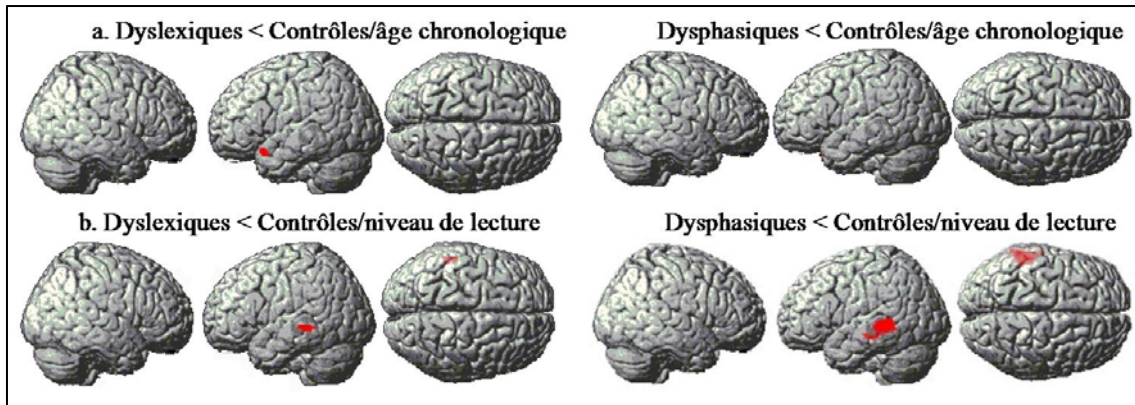


Figure III.2.2 : Régions corticales moins activées par les dyslexiques et les dysphasiques par rapport aux enfants appariés sur l'âge chronologique (a.) et par rapport aux enfants appariés sur le niveau de lecture (b.) lors de la tâche de décision de rime.

Tableau III.2.2 : Régions cérébrales significativement moins activées par les dyslexiques et les dysphasiques par rapport aux enfants appariés sur l'âge chronologique et par rapport aux enfants appariés sur le niveau de lecture lors de la tâche de décision de rime (test-t sur deux échantillons en effet aléatoire, activations significatives au seuil $p < .001$ non corrigé au niveau du voxel et ayant une étendue spatiale supérieure à 30 voxels)

	Dyslexiques < Contrôles/âge chronologique					Dysphasiques < Contrôles/âge chronologique						
	AB	Voxels	x	y	z	T	AB	Voxels	x	y	z	T
Gyri frontal inférieur / temporal supérieur / moyen G	38/47	38	-36	16	-20	5,5						
	Dyslexiques < Contrôles /niveau de lecture					Dysphasiques < Contrôles/ niveau de lecture						
	AB	Voxels	x	y	z	T	AB	Voxels	x	y	z	T
Gyri temporal supérieur / moyen G	21/22	63	-52	-32	-4	5,6	21/22	354	-54	-34	0	12.1

- Régions plus activées par les dyslexiques et les dysphasiques par rapport aux enfants de même âge

La figure III.2.3a et le tableau III.2.3 présentent les résultats des tests-t sur deux échantillons comparant les dyslexiques et dysphasiques aux enfants de même âge.

Le gyrus cingulaire droit (AB 40) est plus activé chez les dyslexiques et les dysphasiques et les noyaux gris centraux chez les dysphasiques.

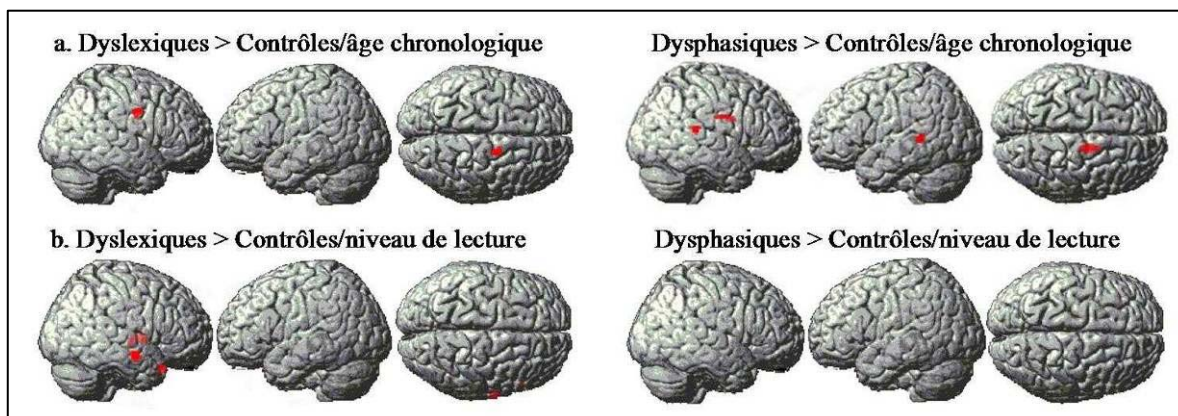


Figure III.2.3 : Régions corticales plus activées par les dyslexiques et les dysphasiques par rapport aux enfants appariés sur l'âge chronologique (a.) et par rapport aux enfants appariés sur le niveau de lecture (b.) lors de la tâche de décision de rime.

Tableau III.2.3 : Régions cérébrales significativement plus activées par les dyslexiques et les dysphasiques par rapport aux enfants appariés sur l'âge chronologique lors de la tâche de décision de rime (test-t sur deux échantillons en effet aléatoire, activations significatives au seuil $p < .001$ non corrigé au niveau du voxel et ayant une étendue spatiale supérieure à 30 voxels)

	Dyslexiques > Contrôles/âge chronologique					Dysphasiques > Contrôles/âge chronologique						
	AB	Voxels	x	y	z	T	AB	Voxels	x	y	z	T
Gyrus cingulaire D		40	18	-4	34	5,9						
Gyrus cingulaire / noyaux gris centraux D							46	16	-10	28	5,0	
Noyaux gris centraux D							43	18	-36	14	6,4	
Noyaux gris centraux G							30	-28	-40	4	4,8	

- Régions plus activées par les dyslexiques et les dysphasiques par rapport aux enfants de même niveau de lecture

La figure III.2.3b et le tableau III.2.4 présentent les résultats des tests-t sur deux échantillons comparant les dyslexiques et dysphasiques aux enfants de même niveau de lecture.

Les dyslexiques activent plus la partie antérieure du gyrus temporal supérieur droit (AB 38), le gyrus temporal moyen droit (AB 21) ainsi que les noyaux gris centraux et le thalamus. Les dysphasiques ne présentent aucune activation significativement plus importante.

Tableau III.2.4 : Régions cérébrales significativement plus activées par les dyslexiques et les dysphasiques par rapport aux enfants appariés sur le niveau de lecture lors de la tâche de décision de rime (test-t sur deux échantillons en effet aléatoire, activations significatives au seuil $p < .001$ non corrigé au niveau du voxel et ayant une étendue spatiale supérieure à 30 voxels)

	Dyslexiques > Contrôles/niveau de lecture				Dysphasiques > Contrôles/niveau de lecture				
	AB	Voxels	x	y z	T	AB	Voxels	x y z	T
Gyrus temporal supérieur D	38	45	52	20 -28	5,5				
Gyri temporal inférieur / moyen D	21	100	76	-8 -14	5,0				
Thalamus / noyaux gris centraux D		133	14	-2 4	7,2				

○ Comparaisons des activations des dyslexiques et des dysphasiques

Les tests-t sur deux échantillons comparant les dyslexiques et les dysphasiques montrent une activation significativement supérieure des dyslexiques dans le précuneus droit (Figure III.2.4 et tableau III.2.5) mais aucune activation plus importante chez les dysphasiques.

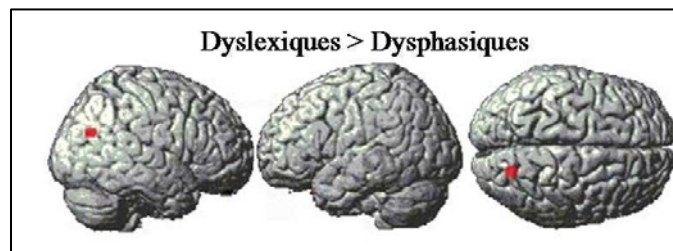


Figure III.2.4 : Régions corticales plus activées par les dyslexiques par rapport aux dysphasiques lors de la tâche de décision de rime.

Tableau III.2.5 : Régions cérébrales significativement plus activées par les dyslexiques par rapport aux dysphasiques lors de la tâche de décision de rime (test-t sur deux échantillons en effet aléatoire, activations significatives au seuil $p < .001$ non corrigé au niveau du voxel et ayant une étendue spatiale supérieure à 30 voxels)

	Dyslexiques > Dysphasiques			
	AB	Voxels	x y z	T
Précuneus D		38	22 -70 24	4,7

- **Analyses en régions d'intérêt**

Les tests de Mann-Whitney n'ont mis en évidence aucune différence significative entre les dyslexiques et dysphasiques et les deux groupes contrôles, ni entre les dyslexiques et les dysphasiques, dans les huit régions d'intérêt.

Chapitre 3 : Discussion

Notre étude en neuroimagerie fonctionnelle avait pour objectif d'identifier et comparer les dysfonctionnements dans le réseau neuroanatomique de la lecture chez les dyslexiques et les dysphasiques. Nous avons utilisé une épreuve de décision lexicale, supposée activer les deux voies de lecture, et une épreuve de décision de rime impliquant plus spécifiquement la voie dorsale.

Avant de discuter plus précisément les résultats des deux expériences, il convient de rappeler quelques limites de notre étude. Comme la plupart des études réalisées auprès d'enfants, normo-lecteurs ou dyslexiques, nous avons utilisé une statistique non corrigée pour les analyses des activations en cerveau entier (Bitan et al., 2007; Blumenfeld et al., 2006; Booth, Bebko et al., 2007; Booth, Cho, Burman, & Bitan, 2007; Cao et al., 2006; Chou, Booth, Bitan et al., 2006; Corina et al., 2001; Georgiewa et al., 2002; Hoeft et al., 2006; Hoeft et al., 2007; Wood et al., 2004). L'utilisation de cette statistique moins conservatrice permet de tenir compte des activations cérébrales plus faibles des enfants et de la plus grande variabilité dans la localisation de l'activation maximale dans une même région anatomique (Gaillard et al., 2003). Ces deux caractéristiques ont été attribuées à l'utilisation d'un espace stéréotaxique adulte qui pourrait « diluer » les activations sans pour autant compromettre la localisation anatomique (Burgund et al., 2002; Kang et al., 2003; Muzik et al., 2000). L'importante variation du signal relevée entre les sujets d'un même groupe dans les ROIs, lors de notre tâche de décision lexicale, est en accord avec cette interprétation. La faiblesse et la variabilité de la localisation des activations des enfants permettent, par ailleurs, d'expliquer le petit nombre de régions significativement activées dans nos expériences et leur étendue limitée, même avec un seuil statistique non corrigé. Cette proposition paraît étayée par les activations plus importantes et supérieures à un seuil statistique corrigé que nous avons observées dans une étude préliminaire réalisée chez des adultes normo-lecteurs en utilisant les mêmes épreuves (Nithart, 2005). D'autre part, en limitant la puissance statistique de nos analyses, le petit nombre d'enfants inclus dans chaque groupe (de 6 à 10 selon les groupes et les tâches) peut aussi avoir contribué à réduire le niveau des activations obtenues dans les deux expériences et pourrait ainsi avoir occulté certaines activations ou différences d'activations.

1. Altérations du réseau typique de la lecture chez les enfants dyslexiques et dysphasiques

La voie ventrale se développant sous l'influence de la voie dorsale et le déficit des dyslexiques affectant premièrement cette composante dorsale (Pugh et al., 2001; Schlaggar & McCandliss, 2007), nous présenterons successivement les résultats pour la voie dorsale puis pour la voie ventrale.

1.1. Altération de la voie dorsale/phonologique

Le défaut d'activation de la jonction temporo-pariétale gauche, principale composante de la voie phonologique, a été identifié comme « la signature neuronale » du déficit de lecture des dyslexiques (Eden & Zeffiro, 1998; Shaywitz et al., 1998). Il a surtout été mis en évidence au moyen de tâches de lecture exigeant l'accès aux représentations phonologiques des mots ou des lettres, comme le jugement de rime ou d'homophonie (voir par exemple : Hoefft et al., 2007; Paulesu et al., 1996; Rumsey, Nace et al., 1997; Shaywitz et al., 2002; Shaywitz & Shaywitz, 2005).

Les activations associées à l'épreuve de décision lexicale, supposée activer les deux voies de lecture, ne montre aucune activation significative de la jonction temporo-pariétale gauche chez les normo-lecteurs. Ce résultat suggère que les normo-lecteurs n'ont pas procédé au décodage des non-mots mais qu'ils ont eu recours à la reconnaissance orthographique des mots. L'utilisation d'une stratégie lexicale a pu être favorisée par l'utilisation de mots fréquents et acquis précocement dans leur forme écrite. Cette absence d'activation temporo-pariétale chez les normo-lecteurs permet d'expliquer le résultat paradoxal de la comparaison avec les dyslexiques indiquant une activation de cette région supérieure à celles des deux groupes d'enfants normo-lecteurs.

L'épreuve de décision de rime, qui requiert l'accès aux représentations phonologiques et le recrutement de la voie dorsale, montre que les dyslexiques et les dysphasiques activent moins les gyri temporaux supérieur et moyen gauches que les enfants de même niveau de lecture, ce qui indique un dysfonctionnement de la région postérieure de la voie dorsale dans ces deux groupes. Ce résultat rejoint les données de la littérature pour les enfants dyslexiques, mais n'avait jamais été mis en évidence chez les dysphasiques (Hoefft et al., 2006; Hoefft et al., 2007). En revanche, l'absence de différence entre les dyslexiques et les enfants de même âge pourrait sembler contradictoire au vu des résultats de la littérature (Cao et al., 2006; Hoefft et al., 2006; Hoefft et al., 2007; Shaywitz et al., 2002; Simos, Breier, Fletcher, Foorman et al., 2000; Temple et al., 2001). La nature de la tâche de rime que nous avons utilisée peut expliquer ce résultat. En effet, comme nous l'avons souligné lors de l'étude développementale, une tâche de détection de rime en choix forcé, comme celle de notre étude, fait appel à un niveau de conscience phonologique peu élaboré

qui est acquis avant 6 ans par les normo-lecteurs (Gombert, 1990b). Les enfants appariés sur l'âge chronologique étaient âgés en moyenne de 12 ans, l'absence d'activation significative jonction temporo-pariétale chez ces enfants pourrait donc s'expliquer par le faible niveau d'analyse phonologique requis par notre tâche¹². Le défaut de recrutement de cette région par les normo-lecteurs de même âge n'aurait pas permis de mettre en évidence une éventuelle diminution de l'activation de cette région chez les dyslexiques et les dysphasiques.

1.2. Altérations de la voie ventrale/orthographique

Dans l'épreuve de décision lexicale, les dyslexiques comme les dysphasiques présentent des activations plus faibles que celles des enfants de même âge dans la jonction occipito-temporale. Si cette diminution d'activation a été observée chez les enfants dyslexiques dans des tâches de décision de rime (Cao et al., 2006; Corina et al., 2001; Hoefft et al., 2006; Hoefft et al., 2007; Shaywitz et al., 2002) elle n'a jamais été mise en évidence chez les dysphasiques. L'absence de différence significative entre les dyslexiques et dysphasiques et les enfants de même niveau de lecture semble indiquer un lien direct entre le niveau d'activation de cette région et le niveau de lecture. Cette interprétation rejoint les données des études développementales qui ont montré que les activations occipito-temporales sont plus influencées par l'augmentation des capacités de lecture que par l'âge (Schlaggar & McCandliss, 2007).

2. Le recrutement de régions supplémentaires dans le but de compenser les difficultés de lecture chez les dyslexiques et les dysphasiques

Les activations plus importantes des régions périrolandiques (AB 1/2/3/4) et prémotrices (AB 6/9) bilatérales associées à la décision lexicale chez les dyslexiques et les dysphasiques en comparaison des enfants de même niveau de lecture sont comparables à celles de plusieurs études chez les dyslexiques adultes et enfants (Brunswick et al., 1999; Corina et al., 2001; Paulesu et al., 1996; Rumsey, Nace et al., 1997; Shaywitz et al., 2002; Temple et al., 2001). Ces régions correspondant aux aires sensori-motrices primaires, nos résultats paraissent appuyer l'hypothèse, proposée chez le dyslexique, d'un recours accru à l'articulation pour compenser l'insuffisance des représentations phonologiques (Brunswick et al., 1999; Pugh et al., 2001; Shaywitz & Shaywitz, 2005; Shaywitz et al., 1998). L'observation de fréquentes répétitions des items par les dyslexiques et les dysphasiques, lors de la simulation, conforte cette interprétation. L'absence de ces activations dans la tâche de rime

¹² Rappelons que la soustraction cognitive utilisée pour définir les zones cérébrales activées en IRMf ne met en fait pas en évidence les régions activées mais les régions significativement plus activées par la tâche cible que par la tâche contrôle.

s'expliquerait par l'utilisation, dans la tâche contrôle, de suites de lettres qui pouvaient être épelées, contrairement aux suites de symboles de la tâche contrôle de l'épreuve de décision lexicale.

Quant aux activations plus importantes du gyrus cingulaire relevées chez les dyslexiques et les dysphasiques par rapport aux enfants de même âge dans nos deux épreuves, elles semblent liées à la difficulté de la tâche. En effet, il a été montré que les activations du gyrus cingulaire augmentaient avec l'incertitude de la réponse (voir pour une revue (Doya, 2008; Rushworth & Behrens, 2008) et qu'elles diminuaient avec l'âge chez les enfants dyslexiques (Shaywitz et al., 2007). De plus, dans nos deux épreuves, alors que des performances inférieures à celles des normo-lecteurs de même âge sont associées à une activation plus importante du gyrus cingulaire, aucune différence n'apparaît dans la comparaison avec les enfants de même niveau de lecture également appariés pour les performances à la tâche.

2.1. Recrutement de la jonction temporo-pariétale droite

La comparaison des cartes d'activation de la décision lexicale révèle une activation plus importante de la jonction temporo-pariétale droite chez les dyslexiques et les dysphasiques par rapport aux deux groupes d'enfants normo-lecteurs. Dans l'épreuve de décision de rime, une différence n'apparaît que dans la comparaison des dyslexiques avec les enfants de même niveau de lecture. Ces résultats confirment les données d'études comparant les activations d'adultes et d'enfants dyslexiques avec des contrôles de même âge (Shaywitz & Shaywitz, 2005; Shaywitz et al., 2003; Shaywitz et al., 1998).

L'hypothèse formulée en 1925 par Orton, d'une latéralisation hémisphérique gauche progressive, en lien avec le développement des habiletés de lecture, a été confirmée par plusieurs études d'imagerie fonctionnelle du développement de la lecture (Orton, 1925; Schlaggar et al., 2002; Shaywitz et al., 2007; Simos et al., 2001; Turkeltaub et al., 2003). Selon cette hypothèse, les activations plus importantes de la jonction temporo-pariétale droite que nous observons chez les dyslexiques et les dysphasiques pourraient être interprétées comme la manifestation d'un retard de développement des capacités de lecture. Cependant, l'activation plus importante de cette région chez les dyslexiques et les dysphasiques par rapport aux enfants de même niveau de lecture exclut une telle interprétation. Nos résultats plaident plutôt en faveur de l'hypothèse du recrutement des régions droites dans le but de compenser les difficultés de lecture (Pugh et al., 2001).

2.2. Recrutement de la jonction occipito-temporale droite

La comparaison des cartes d'activation de la décision lexicale montre une activation plus importante de la jonction occipito-temporale droite chez les dyslexiques et les

dysphasiques par rapport aux enfants de même niveau de lecture, même si les analyses en ROI ne confirment cette augmentation de l'activation que chez les dyslexiques. Nos résultats répliquent les activations plus importantes des dyslexiques par rapport aux enfants de même niveau de lecture mises en évidence dans l'étude de Hoeft *et al.* (2007). Toutefois, les variations du signal au sein de la ROI suggèrent toutefois que cette différence serait, en fait, due à une diminution du signal chez les enfants de même niveau de lecture, traduisant une activation plus importante de cette région durant la tâche contrôle. Les régions occipito-temporales droites étant impliquées dans le traitement des formes visuelles (cf. par exemple : Shaywitz *et al.*, 2003), il ne peut être exclu que notre tâche de décision visuelle servant de tâche contrôle ait activé cette région chez les enfants les plus jeunes. Ces résultats ne nous permettent pas de conclure quant à l'implication de la jonction occipito-temporale droite dans le système de compensation chez les enfants dyslexiques et dysphasiques. Ils tendent, néanmoins, à confirmer que les activations plus importantes observées dans l'hémisphère droit ne sont pas liées à un retard de lecture, auquel cas elles auraient été identiques pour les dyslexiques et dysphasiques et les enfants de même niveau de lecture.

Selon Shaywitz *et al.* (2007) et Pugh *et al.* (2001), les activations de l'hémisphère droit augmenteraient progressivement chez les dyslexiques avec la mise en place progressive d'un système basé sur la reconnaissance des entités visuelles. Les résultats que nous avons mis en évidence dans l'hémisphère droit suggèrent que le recrutement de la jonction temporo-pariétale par les dyslexiques et les dysphasiques est plus précoce et/ou plus important que le recrutement de la région occipito-temporale.

3. L'implication du gyrus frontal inférieur lors de la lecture dans la dyslexie et la dysphasie

Le gyrus frontal inférieur gauche est une composante de la voie phonologique (Jobard *et al.*, 2003; Joubert *et al.*, 2004; Schlaggar & McCandliss, 2007), mais il est aussi impliqué dans le traitement sémantique (Fiez, 1997; McDermott *et al.*, 2003; Poldrack *et al.*, 1999; Price, 2000). Il pourrait de fait être activé par les deux voies de lecture (Jobard *et al.*, 2003). Selon le modèle de Pugh *et al.* (2001), le recrutement du gyrus frontal inférieur droit et gauche par les dyslexiques servirait à compenser leurs difficultés de lecture.

Les résultats de nos deux expériences suggèrent que le gyrus frontal inférieur est recruté de manière différente en fonction de la tâche. L'analyse en ROI des activations de l'épreuve de décision lexicale révèle une activation plus faible de la pars opercularis gauche (AB 44) chez les enfants dyslexiques et dysphasiques par rapport aux enfants de même âge,

alors que cette différence n'est pas significative dans l'épreuve de décision de rime. La mise en perspective des résultats de ces deux épreuves suggère que les enfants dyslexiques et dysphasiques ont un défaut d'activation automatique des représentations phonologiques et qu'ils n'activent la partie postérieure du gyrus frontal inférieur associée au traitement phonologique que lorsque la tâche exige ce traitement. Ces résultats semblent en accord avec l'existence d'un trouble phonologique chez les dyslexiques et les dysphasiques.

La décision lexicale qui requiert un accès au lexique interne, induit chez les dyslexiques et les dysphasiques l'activation de la partie antérieure ventrale du gyrus frontal inférieur gauche (AB 47), impliquée dans le traitement sémantique, alors que les enfants de même âge, quant à eux, activent la partie dorsale postérieure (AB 44/45), impliquée dans le traitement phonologique (Fiez, 1997; McDermott et al., 2003; Poldrack et al., 1999; Price, 2000). Ces résultats semblent appuyer l'hypothèse de Shaywitz *et al* (2007) selon laquelle lors de la lecture de mots les enfants dyslexiques auraient recours aux informations lexicales plutôt qu'aux informations phonologiques. Nos données suggèrent que cette stratégie serait également mise en œuvre par les dysphasiques. L'activation plus faible de l'aire 47 et du pôle temporal chez les dyslexiques par rapport aux enfants de même âge, dans la tâche de décision de rime, tend à confirmer le défaut d'activation automatique des représentations lexicales sémantiques préalablement évoqué chez les dyslexiques (Cao et al., 2006; Corina et al., 2001; Trauzettel-Klosinski, Durrwachter, Klosinski, & Braun, 2006). Les résultats à nos deux épreuves suggèrent ainsi que la stratégie lexicale, privilégiée par les dyslexiques, ne serait pas encore automatisée mais qu'elle peut être induite par la tâche de lecture utilisée.

L'analyse des activations du gyrus frontal inférieur gauche dans la décision lexicale et le jugement de rime ne nous permet pas de confirmer son implication dans le système de compensation chez les enfants dyslexiques et dysphasiques, comme l'ont suggéré Pugh *et al.* (2001). Toutefois, les études développementales ont révélé qu'à l'inverse des normo-lecteurs qui avec l'âge et avec l'augmentation des performances activent moins le gyrus frontal inférieur gauche, chez les dyslexiques l'activation du gyrus frontal inférieur bilatéral augmente avec l'âge (Hoeft et al., 2007; Shaywitz et al., 2002; Shaywitz et al., 2007). Nos résultats indiqueraient donc que cette composante du système de compensation ne serait pas encore efficiente chez les enfants dyslexiques et dysphasiques ayant un âge moyen de 11-12 ans et un âge de lecture de 8 ans. Concernant le gyrus frontal inférieur droit, la tâche de décision lexicale révèle une activation plus importante de la pars opercularis droite chez les dyslexiques et de la pars triangularis droite chez les dyslexiques et les dysphasiques par rapport aux enfants de même niveau de lecture. Bien qu'apparemment dus à une diminution du signal chez les enfants appariés pour le niveau de lecture, ces résultats semblent

toutefois appuyer l'hypothèse du développement progressif du système de compensation (Pugh et al., 2001).

L'ensemble de nos résultats nous incite à nuancer la séquence développementale proposée par Pugh *et al.* (2001), selon laquelle le système de compensation impliquant le gyrus frontal inférieur bilatéral se développerait avant le système impliquant les régions postérieures de l'hémisphère droit. En effet, les résultats des tâches de décision de rime et de décision lexicale suggèrent que les dyslexiques et les dysphasiques recrutent les aires postérieures de l'hémisphère droit, du moins la jonction temporo-pariétale, alors que le recrutement du gyrus frontal bilatéral ne semble pas encore efficient. Notons cependant que l'activation des régions potentiellement impliquées dans le système de compensation paraît dépendre des exigences de la tâche.

4. Comparaison du patron d'activation des dyslexiques et dysphasiques

En plus des différences que nous avons relevées entre les dyslexiques et les dysphasiques dans la comparaison de leurs activations avec celles des normo-lecteurs – telles que, par exemple, l'augmentation de l'activation de la pars opercularis droite dans la tâche de décision lexicale et de la jonction temporo-pariétale droite dans la tâche de jugement de rime uniquement chez les dyslexiques – la comparaison des cartes d'activation des dyslexiques et des dysphasiques dans nos deux tâches met en évidence des régions différemment activées par ces deux groupes. Les dyslexiques présentent des activations plus importantes que les dysphasiques dans la partie postérieure des gyri temporaux supérieur et médian gauches pour la décision lexicale et dans le précuneus droit pour les deux tâches. Or, la partie postérieure du cortex temporal gauche est impliquée dans le traitement verbal : dans la mise en relation des représentations acoustiques et lexicales au niveau du gyrus médian et dans la mise en relation des représentations phonologiques et visuelles orthographiques au niveau du gyrus supérieur (Hickok & Poeppel, 2004; Schlaggar & McCandliss, 2007). Quant au précuneus, il est associé à la récupération des informations en mémoire à long terme verbale et une étude récente suggère qu'il serait spécifiquement activé par les items signifiants (Halsband, 2006; Raettig & Kotz, 2008). Les activations plus importantes observées chez les dyslexiques pourraient donc refléter un recrutement plus important des régions associées au traitement lexical, sémantique et orthographique, dans le but de pallier le déficit de la voie dorsale. Ces résultats corroborent l'hypothèse de Shaywitz *et al.* (2007) d'une stratégie de lecture basée sur la mémorisation visuelle des mots et la récupération lexicale chez les dyslexiques. Chez les dysphasiques, en revanche, l'existence de déficits supplémentaires, affectant notamment le lexique, pourrait gêner le recours aux représentations lexicales.

Les troubles de la lecture des enfants dyslexiques et dysphasiques sont associés à une moindre activation des régions postérieures gauches du réseau typique de la lecture. L'activation des régions du gyrus frontal inférieur gauche impliquées dans le traitement phonologique et sémantique ne serait pas automatique et devrait être induite par la tâche. Cette interprétation rejoint l'hypothèse d'un défaut d'automatisation des procédures de lecture à l'origine des difficultés non seulement des dyslexiques, mais aussi des dysphasiques. Les dyslexiques et les dysphasiques semblent recruter la jonction temporo-pariétale droite, mais aussi les régions cingulaires et périrolandiques dans le but de compenser leurs difficultés de lecture. En revanche le recrutement de la jonction occipito-temporale et du gyrus frontal inférieur droits ne semble pas encore totalement efficient. Par ailleurs, les dyslexiques présentent des activations plus importantes que les dysphasiques dans des régions associées au traitement lexical.

DISCUSSION GENERALE

A/ Conclusions de nos études

Aa/ Phonologie et apprentissage de la lecture

Notre travail s'est inscrit dans le cadre de la théorie phonologique proposée pour expliquer les difficultés d'apprentissage de la lecture des dyslexiques et des dysphasiques (Mackie & Dockrell, 2004; Ramus, 2001). Le déficit phonologique pouvant impliquer différents niveaux de traitement, l'objectif de ce travail était de répondre à la question récemment posée par Ramus et Szenkovits (2008) : « *Quel déficit phonologique ?* » que nous formulerions : « Quels déficits phonologiques à l'origine des troubles de la lecture dans la dyslexie et la dysphasie ? ». Nous avons tenté de répondre à cette question en alliant trois approches complémentaires. Afin de déterminer dans quelle mesure l'atteinte du traitement phonologique pouvait influencer les troubles de la lecture, nous avons tout d'abord essayé de préciser le développement des différents niveaux de traitement phonologique, *i.e.* la discrimination phonologique, la conscience phonologique et différentes composantes de la mémoire phonologique, ainsi que leur contribution aux premières étapes de l'apprentissage de la lecture chez le normo-lecteur. Nous avons ensuite étudié chez les dyslexiques phonologiques et les dysphasiques phonologiques-syntaxiques le(s) niveau(x) de traitement phonologique déficitaire(s). Nous avons complété ces deux études par une étude du réseau neuronal sous-tendant la lecture dans la dyslexie et la dysphasie. Dans ces trois études, comportementales et anatomo-fonctionnelles, notre démarche expérimentale s'est inscrite dans le cadre théorique du modèle à deux voies de la lecture de Morton (1969), qui propose l'utilisation simultanée de la voie phonologique principalement associée à la lecture des pseudo-mots et des mots inconnus et de la voie orthographique privilégiée pour la lecture des mots connus et irréguliers. Ce modèle a été adapté au réseau neuronal de la lecture, la voie phonologique étant associée à la voie dorsale et la voie orthographique à la voie ventrale. (Jobard et al., 2003). D'un point de vue développemental, ces deux voies se développent en interaction chez l'apprenti-lecteur, la voie orthographique/ventrale se développe sous l'influence de la voie phonologique/dorsale (Frith, 1985; Schlaggar & McCandliss, 2007).

Les données de nos études développementale et neuropsychologique sont en accord avec les conclusions de la littérature mettant en évidence une relation bidirectionnelle entre le développement des capacités phonologiques et l'apprentissage de la lecture chez le normo-lecteur (Demont & Gombert, 2007; Gombert, 1990b) et attestant l'existence d'un déficit phonologique chez les dyslexiques et les dysphasiques (Ramus, 2001; Snowling et al., 2000). L'étude développementale a permis d'affiner notre connaissance de la contribution des compétences phonologiques au développement de la lecture en révélant une évolution dans le rôle des différents niveaux de traitement phonologique durant la

première année d'enseignement formel de la lecture. Les analyses de régression ont montré que la conscience phonologique en grande section de maternelle est le meilleur prédicteur des capacités de lecture en CP. Cette contribution est indépendante de l'influence de la discrimination phonologique et de la mémoire phonologique. Avec l'enseignement de la lecture, il apparaît que l'influence de la conscience phonologique diminue et, qu'en fin de CP, différentes composantes de la mémoire phonologique constituent les meilleurs prédicteurs des compétences dans les deux procédures de lecture. La mémoire de l'ordre apparaît jouer un rôle déterminant dans le développement des capacités de décodage et influencer ainsi la lecture par la procédure phonologique. La lecture par la procédure orthographique, évaluée dans notre étude au moyen d'une épreuve de reconnaissance de mots, paraît, quant à elle, influencée par les connaissances phonologiques en mémoire à long terme. La contribution de ces deux composantes de la mémoire phonologique est indépendante des capacités de discrimination et de conscience phonologique.

La séquence développementale ainsi mise en lumière est en accord avec les différents processus nécessaires à la lecture d'un mot lors des premiers stades de la lecture. En effet, la lecture par la voie phonologique requiert tout d'abord que l'enfant identifie consciemment les différentes unités phonologiques présentes dans le mot, la conscience phonologique apparaît donc comme un prérequis à l'apprentissage de la lecture. Lorsque les phonèmes sont identifiés, l'enfant doit les maintenir en mémoire à court terme en une séquence ordonnée afin de les assembler, ce qui implique la mémoire de l'ordre. Une fois la chaîne phonémique reconstituée, il pourra alors la confronter aux représentations phonologiques en mémoire à long terme et ainsi accéder à la prononciation et au sens du mot. Si les connaissances phonologiques en mémoire à long terme sont fortement impliquées dans la lecture par assemblage, elles sont également cruciales pour la lecture par adressage nécessitant une mise en relation directe de la représentation orthographique avec les représentations phonologiques et sémantiques correspondantes. L'évolution d'une contribution prédominante de la conscience phonologique supplantée par la contribution de la mémoire phonologique est en accord avec le modèle proposé Dufva *et al.* (2001) pour rendre compte de l'influence de la mémoire phonologique sur le développement des habiletés de lecture. Ce modèle propose une contribution indirecte de la mémoire phonologique à la lecture *via* la conscience phonologique en début d'apprentissage et l'émergence d'une contribution directe au bout de la première année d'enseignement.

Si l'on se réfère aux résultats de l'étude développementale et en accord avec les données de la littérature (Conti-Ramsden & Durkin, 2007; Manis *et al.*, 1993; Snowling, 1995; Snowling *et al.*, 2000), le déficit de conscience phonologique des dyslexiques et des dysphasiques, mis en évidence dans l'étude neuropsychologique, permet d'expliquer les

difficultés de lecture précoce de ces enfants. Les dyslexiques et les dysphasiques présentent en effet des difficultés dès la première étape de l'apprentissage de la lecture, *i.e.* la mise en place des correspondances grapho-phonémiques (Ramus, 2001; Snowling et al., 2000). L'observation dans l'étude anatomo-fonctionnelle chez les dyslexiques et les dysphasiques d'activations plus faibles dans les régions postérieures de la voie dorsale, associées au traitement phonologique et notamment à la conversion grapho-phonologique, corrobore la relation entre le déficit phonologique et les difficultés de lecture dans la dyslexie et la dysphasie.

Le déficit de la lecture par la voie phonologique chez les dyslexiques et les dysphasiques peut également être mis en relation avec le déficit de la mémoire de l'ordre observé dans notre étude neuropsychologique, une composante que l'étude développementale désigne comme le meilleur prédicteur des capacités de décodage en fin de CP, après la conscience phonologique. Le déficit de la mémoire de l'ordre avait été observé dans une étude chez les enfants dysphasiques (van Weerdenburg et al., 2006), mais seules des épreuves de jugement de l'ordre temporel lors d'évaluation des capacités perceptives suggéraient ce trouble dans la dyslexie (De Martino et al., 2001; Rey et al., 2002).

Il apparaît ainsi que le manque d'efficacité de la voie phonologique des dyslexiques et les dysphasiques est liée à deux déficits du traitement phonologique. Les difficultés de lecture dans la dyslexie et la dysphasie sont, dans un premier temps, liées au déficit de conscience phonologique et renforcées, dans un deuxième temps, par le déficit de la mémoire de l'ordre.

L'étude neuropsychologique indique que, chez les dyslexiques et les dysphasiques, le déficit de reconnaissance de mots s'ajoute aux difficultés de décodage. Ce déficit peut être mis en relation avec l'observation dans notre étude anatomo-fonctionnelle d'activations plus faibles de la région postérieure de la voie dorsale/orthographique chez les dyslexiques et les dysphasiques. Selon les modèles du développement des deux voies de lecture (Ehri, 1995; Frith, 1985), le déficit de la voie orthographique pourrait être secondaire au manque d'efficacité de la voie phonologique. De même, au niveau anatomo-fonctionnel les faibles activations de la voie ventrale pourraient être liées au déficit d'activation de la voie dorsale (Pugh et al., 2001; Schlaggar & McCandliss, 2007). Par ailleurs, notre étude développementale a révélé que les représentations phonologiques en mémoire à long terme en fin de CP sont les meilleurs prédicteurs de la reconnaissance des mots. Les difficultés au niveau de la voie orthographique des dyslexiques et des dysphasiques peuvent donc, non seulement être une conséquence du déficit de la voie phonologique, mais aussi être liées au manque de précision de leurs représentations phonologiques sublexicales, également

observé dans l'étude neuropsychologique. Le déficit comparable de la voie orthographique chez les dyslexiques et les dysphasiques pourrait paraître paradoxal au vu des représentations sublexicales plus déficitaires des dysphasiques. Toutefois, il ne peut être exclu que, dans l'épreuve de reconnaissance des mots utilisée (épreuve de Khomsi, 1990), les mots étaient trop fréquents pour permettre de révéler un déficit plus marqué de reconnaissance chez les dysphasiques. Par ailleurs, nos études n'ont évalué qu'un aspect de la lecture, le déchiffrage du code, aucunes de nos épreuves de lecture ne testant les capacités de compréhension. Dans des tâches de compréhension de phrases ou de textes, nous pouvons supposer que les dyslexiques seraient avantagés par le contexte sémantique, contrairement aux dysphasiques notamment en raison de leur déficit de vocabulaire. En plus de limiter le recours à l'information contextuelle comme aide au déchiffrage, la difficulté lexicale augmenterait la charge en mémoire à court terme dont la capacité est plus limitée chez les dysphasiques, comme l'a révélé l'étude neuropsychologique.

A.b/ Dyslexie et dysphasie

Dans notre étude neuropsychologique, les dysphasiques se différencient des dyslexiques par la sévérité du déficit de la conscience phonologique et le manque de précision des représentations phonologiques sublexicales en mémoire à long terme, mais aussi par leurs déficits de discrimination phonologique, de la capacité de la mémoire phonologique et de vocabulaire. Or, l'étude développementale a montré que ces différentes composantes sont corrélées. Les données de la littérature indiquent que les déficits de discrimination phonologique et de vocabulaire limitent l'émergence de la conscience phonologique. Les représentations phonologiques sublexicales se développent avec l'apprentissage de la langue, le déficit de discrimination phonologique des dysphasiques paraît ainsi susceptible de restreindre la mise en place de représentations précises (Joanisse & Seidenberg, 1998). Par ailleurs, les enfants ayant souffert de troubles auditifs transitoires suite à des otites chroniques présentent un déficit de conscience phonologique (Majerus et al., 2005). Selon l'hypothèse de restructuration lexicale, l'accroissement précoce rapide du vocabulaire contribue à l'affinement des représentations phonologiques sublexicales (Goswami, 1999) ; chez les dysphasiques le déficit de vocabulaire limite donc la précision de leurs représentations phonologiques sublexicales et le développement de leur conscience phonologique (Maillart et al., 2004). D'autre part, le déficit de mémoire phonologique des dysphasiques semble contribuer à leur faible stock lexical. En effet, ces deux compétences sont corrélées dans notre étude développementale et il a précédemment été établi que la capacité de la mémoire phonologique influençait le développement du vocabulaire (Gathercole et al., 1992).

L'étude longitudinale a montré que la lecture n'est pas liée au vocabulaire durant le CP et que la relation entre la lecture et la discrimination phonologique n'est pas indépendante de la contribution de la conscience phonologique. Les difficultés de lecture des dysphasiques ne sont pas directement liées à leurs déficits de discrimination phonologique et de vocabulaire, mais nous pouvons supposer que ces déficits y contribuent indirectement en gênant le développement de la conscience phonologique.

La principale différence relevée entre les dyslexiques et les dysphasiques dans notre étude anatomo-fonctionnelle, concerne les moindres activations des régions associées au traitement lexical, sémantique et orthographique, chez les dysphasiques. Ce résultat peut être mis en relation avec le déficit de vocabulaire des dysphasiques. Selon l'hypothèse défendue par Shaywitz *et al.* (2002, 2005, 2007, 2008), les dyslexiques auraient recours à une lecture basée sur la forme visuelle des mots et la récupération lexicale. En revanche, chez les dysphasiques le déficit de vocabulaire, caractéristique de ce trouble et confirmé par les données de l'étude neuropsychologique, générerait le recours à cette stratégie lexicale.

Concernant les différentes hypothèses sur la relation entre dyslexie et dysphasie, les déficits spécifiques des dysphasiques affectant le vocabulaire, la discrimination phonologique et la capacité de mémoire phonologique, observés dans notre étude neuropsychologique, ne plaident pas en faveur de l'hypothèse d'un continuum de sévérité entre ces deux troubles développementaux proposée par Kamhi et Catts (1986). De même, les relations entre le déficit de mémoire et le déficit de vocabulaire, les déficits de vocabulaire et de discrimination phonologique et les troubles de la conscience et des représentations phonologiques, eux-mêmes liés aux difficultés de lecture, ne nous paraissent pas non plus étayer l'hypothèse de la co-morbidité entre dyslexie et dysphasie défendue par Catts *et al.* (2005). Nos résultats nous incitent à émettre une hypothèse combinant celle de Joanisse *et al.* (2000), selon laquelle la dyslexie se différencie de la dysphasie par le niveau de traitement phonologique déficitaire, et celle soutenue par Bishop, Snowling et Stothard (2000, 2004), selon laquelle la dyslexie et la dysphasie se différencient uniquement par la présence de déficits supplémentaires dans la dysphasie. La dyslexie et la dysphasie constituent deux troubles développementaux distincts dont les difficultés de lecture présentent des similarités en raison de l'influence centrale du déficit de conscience phonologique. Toutefois, ce déficit phonologique « commun » a des origines différentes. D'une part, le déficit phonologique des dysphasiques est lié à un trouble affectant des niveaux plus précoces du traitement phonologique, telle que la discrimination perceptive. D'autre part, ce déficit est influencé par la limitation du lexique entravant le développement de la conscience et des représentations phonologiques chez les dysphasiques. Les

dyslexiques, quant à eux, présentent un déficit limité à la conscience phonologique et aux représentations phonologiques sublexicales. Les différences observées dans les altérations du réseau neuroanatomique de la lecture des dyslexiques et des dysphasiques, impliquant notamment les régions associées au traitement lexical, étayent notre hypothèse.

B/ Perspectives

Les résultats de l'étude comparative des dyslexiques et dysphasiques concernent un nombre limité d'enfants et doivent donc être confirmés par l'étude de populations plus nombreuses. Néanmoins, ils soulèvent de nouvelles questions qui ouvrent autant de perspective de recherche.

B.a/ Etudes comportementales

1. Notre étude neuropsychologique a montré que le déficit phonologique des dysphasiques affectait les niveaux les plus précoces de traitement de la parole. Les analyses de corrélations de notre étude longitudinale et les données de la littérature portant sur les enfants ayant de difficultés de langage (Joanisse & Seidenberg, 1998; Majerus et al., 2005), nous ont conduit à nous interroger sur le rôle du déficit de la perception phonologique sur les déficits de la conscience phonologique et le manque de précision des représentations phonologiques sublexicales des dysphasiques. Une étude du développement des habiletés de discrimination perceptive et de conscience phonologique, utilisant notamment des analyses de corrélations et de régressions chez des enfants plus jeunes, permettrait de confirmer l'influence des premières étapes du traitement de la parole sur le développement de compétences phonologiques plus élaborées.

2. Notre étude développementale a révélé l'influence de la mémoire de l'ordre sur le développement de la voie phonologique nous conduisant à suggérer une relation entre les déficits de ces deux compétences chez les dyslexiques et les dysphasiques dans notre étude neuropsychologique. Bien que les praticiens reconnaissent l'importance de cette composante de la mémoire phonologique sur les premières étapes d'apprentissage du langage écrit, la mémoire de l'ordre est encore peu étudiée chez les enfants normo-lecteurs ou en difficultés. La notion de mémoire de l'ordre a été proposée par Gupta et McWhinney (1997) et Burgess et Hitch (1999) dans le cadre de la mémoire verbale ; toutefois nous pouvons nous interroger quant à la spécificité de ce déficit aux stimuli verbaux auditifs. Le déficit de la mémoire de l'ordre pourrait également affecter d'autres types de stimuli et d'autres entrées perceptives, par exemple visuelle et tactile. Cette question se justifie d'autant plus du fait de la prévalence importante des troubles sensori-moteurs et de la perception temporelle dans la dyslexie (Habib, 2004). Ces troubles pourraient en effet être

influencés par un déficit général de la mémoire de l'ordre qui ne serait pas spécifique au domaine verbal.

Par ailleurs, l'observation dans l'étude neuropsychologique de déficits affectant à la fois la mémoire de l'ordre et la discrimination phonologique chez les dysphasiques et les corrélations relevées entre ces deux habiletés dans l'étude développementale posent la question des relations entre ces deux compétences. Chez l'enfant pré-lecteur, une étude de ces habiletés incluant des analyses de corrélation et de régression permettrait de préciser le sens de la relation entre mémoire de l'ordre et discrimination phonologique. Une étude similaire réalisée auprès d'enfants dysphasiques pourrait permettre d'établir l'indépendance ou l'interrelation de ces déficits.

Des études longitudinales seraient particulièrement utiles pour déceler une éventuelle période critique durant laquelle l'éducation et la rééducation de la discrimination phonologique et de la mémoire de l'ordre seraient les plus favorables.

B.b/ Etudes neuro-anatomiques

1. Dans l'étude réalisée dans le cadre de cette thèse, nous avons opté pour un paradigme d'activation en bloc, mais l'utilisation d'un protocole événementiel aurait eu plusieurs avantages.

Notre épreuve de décision lexicale ne nous permet pas de différencier les activations suscitées par la lecture des mots de celles de la lecture des pseudo-mots et donc de préciser les activations inhérentes à chaque procédure de lecture. Or les dyslexiques et les dysphasiques ont à la fois des difficultés de décodage et de reconnaissance des mots, ce qui laisse supposer une atteinte des deux procédures de lecture. L'utilisation d'un paradigme événementiel nous permettrait de vérifier cette supposition au niveau anatomo-fonctionnel en précisant les altérations des activations associées à chaque type de stimulus. Par ailleurs, l'hypothèse de l'utilisation par les normo-lecteurs d'une stratégie basée sur la reconnaissance des mots associée à la voie orthographique/ventrale au détriment du décodage assuré par la voie phonologique/dorsale, dont nous avons discuté dans l'étude anatomo-fonctionnelle, pourrait être vérifiée au moyen de ce type de protocole.

Dans notre épreuve de jugement de rime en IRMf, nous avons contrôlé l'homographie sans étudier les différentes activations pouvant être induites par ce facteur. Or dans l'étude neuropsychologique, nous avons observé une influence des représentations orthographiques des mots sur les performances des dyslexiques et des dysphasiques aux épreuves de conscience phonologique. Une épreuve de jugement de rime en IRMf événementielle permettrait de vérifier si les rimes homographes et non homographes entraînent des activations différentes chez les dyslexiques, les dysphasiques et les normo-lecteurs. Les dyslexiques et les dysphasiques ayant davantage recours aux représentations

visuelles que les normo-lecteurs, nous pouvons supposer que pour les rimes homographes l'augmentation de l'activation de la jonction occipito-temporale, associée aux représentations orthographiques, serait plus importante chez les dyslexiques et les dysphasiques. En revanche, compte tenu du déficit de traitement phonologique associé à une moindre activation temporo-pariétale chez ces enfants, les rimes non-homographes pourraient provoquer une augmentation plus importante de l'activation des gyri supramarginalis et angulaire, impliqués dans la conversion grapho-phonologique, chez les normo-lecteurs.

L'utilisation d'un protocole événementiel aurait aussi l'avantage de permettre une analyse de la connectivité fonctionnelle que ne permet pas notre paradigme en bloc.

L'étude la connectivité permettrait de préciser la dynamique de l'activation des régions postérieures des deux voies de la lecture dans la dyslexie et la dysphasie et de vérifier la proposition du modèle de Pugh *et al.* (2001), selon laquelle le déficit phonologique affectant la voie dorsale gêne le développement de la voie ventrale chez les dyslexiques.

D'autre part, elles permettraient de vérifier l'hypothèse d'une déconnexion des régions postérieures de la lecture dans la dyslexie, impliquant notamment le gyrus angulaire, suggérée par différents auteurs (Horwitz *et al.*, 1998; Pugh, Mencl, Shaywitz *et al.*, 2000; Rumsey *et al.*, 1999; Shaywitz *et al.*, 2002; Shaywitz *et al.*, 1998).

2. Les cartes d'activation des 18 enfants contrôles, âgés de 7 à 14 ans, ayant participé à notre étude anatomo-fonctionnelle nous fournissent l'opportunité de réaliser une étude développementale du réseau neuro-anatomique de la lecture. Cette étude nous permettrait de vérifier le développement progressif de la voie ventrale/orthographique à partir de la voie dorsale/phonologique, comme l'ont proposé Schlaggar et McCandliss (2007) et de révéler au niveau anatomo-fonctionnel le passage à une utilisation prédominante de la voie orthographique/ventrale à partir de 12 ans (Martin *et al.*, 2003). L'utilisation successive de l'âge et du niveau de lecture comme vecteurs d'intérêt nous permettrait de distinguer les effets liés à chacun de ces facteurs. Finalement, les données comportementales que nous avons recueillies lors de l'étude neuropsychologique nous donnent la possibilité de réaliser des corrélations entre les niveaux d'activations des différentes régions cérébrales et les performances obtenues aux différentes tâches de conscience et de mémoire phonologiques et ainsi d'étudier la relation entre ces différents facteurs.

B.c/ Perspectives pour le dépistage et la rééducation.

Il nous paraît primordial de conclure notre travail en revenant aux enfants, normo-lecteurs, mais surtout dyslexiques et dysphasiques. Les résultats de ce travail de thèse, nous permettent d'envisager de nouvelles pistes d'étude pour le dépistage et éventuellement

la rééducation. Avant d'approfondir cette question, il convient de souligner la différence entre diagnostic et dépistage. Nous n'envisageons en aucun cas de proposer de nouveaux outils permettant un diagnostic plus précoce des troubles, mais simplement des indices pour identifier des enfants présentant certaines fragilités afin de leur offrir un suivi plus vigilant et pourquoi pas, dans la mesure du possible, un accompagnement préventif. Le trouble de la lecture ne peut évidemment pas être diagnostiqué avant l'apprentissage de la lecture. Toutefois, les résultats de nos études suggèrent qu'une évaluation précoce, dès l'école maternelle, de la conscience phonologique mais aussi de la discrimination phonologique et de la mémoire de l'ordre pourrait s'avérer informative. Dans cette perspective, il serait intéressant de déterminer si le déficit de la mémoire de l'ordre concerne l'ensemble de la population dysphasique ou s'il est spécifiquement associé aux troubles de la lecture. Le cas échéant, l'évaluation de cette compétence permettrait de cibler les dysphasiques sujets aux difficultés de lecture avant même l'apparition de leurs difficultés.

La conscience phonologique doit rester l'élément crucial de la préparation à l'apprentissage de la lecture et de la prise en charge des difficultés dans la dyslexie phonologique et la dysphasie phonologique-syntaxique. Un travail sur la mémoire de l'ordre, au niveau de l'éducation ou de la rééducation, pourrait également profiter aux enfants, particulièrement à ceux susceptibles de développer des difficultés de lecture, dyslexiques, dysphasiques mais aussi faibles lecteurs. Une intervention ciblant cette compétence nous semble particulièrement intéressante dans la mesure où elle pourrait intervenir précocement, avant l'apparition des difficultés de lecture. Néanmoins, l'importance de cette composante de la mémoire phonologique doit être confirmée et l'intérêt de son entraînement à titre préventif ou thérapeutique reste à évaluer.

Pour finir, il convient de rappeler que ce travail est dédié aux enfants en difficultés. L'amélioration de la compréhension des déficits à la base des difficultés d'apprentissage de la lecture et du dépistage précoce dans la pratique clinique vise essentiellement à éviter aux enfants des situations d'échec préjudiciables non seulement pour leurs apprentissages scolaires mais aussi pour leur développement personnel.

BIBLIOGRAPHIE

- Alario, F. X., & Ferrand, L. (1999). A set of 400 pictures standardized for French: norms for name agreement, image agreement, familiarity, visual complexity, image variability, and age of acquisition. *Behav Res Methods Instrum Comput*, 31(3), 531-552.
- Alegria, J., & Morais, J. (1979). Le developpement de l'habilete d'analyse phonetique consciente de la parole et l'apprentissage de la lecture / The development of the ability of conscious phonetic analysis of speech and the learning of reading. *Archives de psychologies*, 47(183), 251-270.
- Alloway, T. P., Gathercole, S. E., Willis, C., & Adams, A. M. (2004). A structural analysis of working memory and related cognitive skills in young children. *J Exp Child Psychol*, 87(2), 85-106.
- Alt, M., & Plante, E. (2006). Factors that influence lexical and semantic fast mapping of young children with specific language impairment. *J Speech Lang Hear Res*, 49(5), 941-954.
- Ans, B., Carbonnel, S., & Valdois, S. (1998). A connectionist multiple-trace memory model for polysyllabic word reading. *Psychol Rev*, 105(4), 678-723.
- Anthony, J. L., & Lonigan, C. J. (2004). The Nature of Phonological Awareness: Converging Evidence From Four Studies of Preschool and Early Grade School Children. *Journal of Educational Psychology*, 96(1), 43-55.
- Anthony, J. L., Lonigan, C. J., Burgess, S. R., Driscoll, K., Phillips, B. M., & Cantor, B. G. (2002). Structure of preschool phonological sensitivity: overlapping sensitivity to rhyme, words, syllables, and phonemes. *J Exp Child Psychol.*, 82(1), 65-92.
- Aram, D. M., Ekelman, B. L., & Nation, J. E. (1984). Preschoolers with language disorders: 10 years later. *J Speech Hear Res.*, 27(2), 232-244.
- Aram, D. M., Morris, R., & Hall, N. E. (1993). Clinical and research congruence in identifying children with specific language impairment. *J Speech Hear Res.*, 36(3), 580-591.
- Baddeley, A. (1986). *Working Memory*. Oxford.
- Baddeley, A. (2000). The episodic buffer: a new component of working memory? *Trends Cogn Sci*, 4(11), 417-423.
- Baddeley, A. (2003). Working memory and language: an overview. *J Commun Disord.*, 36(3), 189-208.
- Baddeley, A., Gathercole, S., & Papagno, C. (1998). The phonological loop as a language learning device. *Psychol Rev.*, 105(1), 158-173.
- Balsamo, L. M., Xu, B., & Gaillard, W. D. (2006). Language lateralization and the role of the fusiform gyrus in semantic processing in young children. *Neuroimage*, 31(3), 1306-1314.

- Beitchman, J. H., & Young, A. R. (1997). Learning disorders with a special emphasis on reading disorders: a review of the past 10 years. *J Am Acad Child Adolesc Psychiatry.*, 36(8), 1020-1032.
- Bertelson, P., de Gelder, B., & van Zon, M. (1997). Explicit speech segmentation and syllabic onset structure: developmental trends. *Psychol Res*, 60(3), 183-191.
- Billard, C., Duvelleroy-Hommet, C., de Becque, B., & Gillet, P. (1996). [Developmental dysphasia]. *Arch Pediatr*, 3(6), 580-587.
- Binder, J. R., Frost, J. A., Hammeke, T. A., Cox, R. W., Rao, S. M., & Prieto, T. (1997). Human brain language areas identified by functional magnetic resonance imaging. *J Neurosci*, 17(1), 353-362.
- Binder, J. R., Medler, D. A., Desai, R., Conant, L. L., & Liebenthal, E. (2005). Some neurophysiological constraints on models of word naming. *Neuroimage.*, 27(3), 677-693.
- Bird, J., Bishop, D. V., & Freeman, N. H. (1995). Phonological awareness and literacy development in children with expressive phonological impairments. *J Speech Hear Res.*, 38(2), 446-462.
- Bishop, D. M. (2006). What Causes Specific Language Impairment in Children? *Current directions in psychological science*, 15(5), 217-221.
- Bishop, D. V., & Clarkson, B. (2003). Written language as a window into residual language deficits: a study of children with persistent and residual speech and language impairments. *Cortex.*, 39(2), 215-237.
- Bishop, D. V., & Edmundson, A. (1987). Language-impaired 4-year-olds: distinguishing transient from persistent impairment. *J Speech Hear Disord.*, 52(2), 156-173.
- Bishop, D. V., North, T., & Donlan, C. (1996). Nonword repetition as a behavioural marker for inherited language impairment: evidence from a twin study. *J Child Psychol Psychiatry*, 37(4), 391-403.
- Bishop, D. V. M., & Snowling, M. J. (2004). Developmental Dyslexia and Specific Language Impairment: Same or Different? *Psychological Bulletin*, 130(6), 858-886.
- Bitan, T., Burman, D. D., Chou, T. L., Lu, D., Cone, N. E., Cao, F., et al. (2007). The interaction between orthographic and phonological information in children: An fMRI study. *Human brain mapping*, 28(9), 880-891.
- Blaiklock, K. E. (2004). The importance of letter knowledge in the relationship between phonological awareness and reading. *journal of research in reading*, 27(1), 36-57.
- Blumenfeld, H. K., Booth, J. R., & Burman, D. D. (2006). Differential prefrontal-temporal neural correlates of semantic processing in children. *Brain Lang*, 99(3), 226-235.
- Boada, R., & Pennington, B. F. (2006). Deficient implicit phonological representations in children with dyslexia. *J Exp Child Psychol.*, 95(3), 153-193. Epub 2006 Aug 2002.

- Boets, B., Wouters, J., van Wieringen, A., & Ghesquiere, P. (2007). Auditory processing, speech perception and phonological ability in pre-school children at high-risk for dyslexia: A longitudinal study of the auditory temporal processing theory. *Neuropsychologia*, *45*(8), 1608-1620.
- Booth, J. R., Bebko, G., Burman, D. D., & Bitan, T. (2007). Children with reading disorder show modality independent brain abnormalities during semantic tasks. *Neuropsychologia*, *45*(4), 775-783. Epub 2006 Sep 2028.
- Booth, J. R., Burman, D. D., Meyer, J. R., Gitelman, D. R., Parrish, T. B., & Mesulam, M. M. (2002a). Functional anatomy of intra- and cross-modal lexical tasks. *Neuroimage*, *16*(1), 7-22.
- Booth, J. R., Burman, D. D., Meyer, J. R., Gitelman, D. R., Parrish, T. B., & Mesulam, M. M. (2002b). Modality independence of word comprehension. *Hum Brain Mapp.*, *16*(4), 251-261.
- Booth, J. R., Burman, D. D., Meyer, J. R., Gitelman, D. R., Parrish, T. B., & Mesulam, M. M. (2003). Relation between brain activation and lexical performance. *Hum Brain Mapp.*, *19*(3), 155-169.
- Booth, J. R., Burman, D. D., Meyer, J. R., Gitelman, D. R., Parrish, T. B., & Mesulam, M. M. (2004). Development of brain mechanisms for processing orthographic and phonologic representations. *J Cogn Neurosci.*, *16*(7), 1234-1249.
- Booth, J. R., Cho, S., Burman, D. D., & Bitan, T. (2007). Neural correlates of mapping from phonology to orthography in children performing an auditory spelling task. *Dev Sci*, *10*(4), 441-451.
- Bosman, A. M., & de Groot, A. M. (1996). Phonologic mediation is fundamental to reading: evidence from beginning readers. *Q J Exp Psychol A.*, *49*(3), 715-744.
- Bosse, M. L., & Valdois, S. (2003). Patterns of developmental dyslexia according to a multi-trace memory model of reading [Electronic Version]. *Current Psychology Letters*, *1* from <http://cpl.revues.org/document92.html>.
- Brett, M., Anton, J. L., Valabregue, R., & Poline, J. B. (2002). *Region of interest analysis using an SPM toolbox*. Sendai, Japan: 8th International Conference on Functional Mapping of the Human Brain.
- Briscoe, J., Bishop, D. V., & Norbury, C. F. (2001). Phonological processing, language, and literacy: a comparison of children with mild-to-moderate sensorineural hearing loss and those with specific language impairment. *J Child Psychol Psychiatry*, *42*(3), 329-340.
- Brodmann, K. (1909). *Vergleichende Lokalisationslehre der Grosshirnrinde in ihren Prinzipien dargestellt auf Grund des Zellenbaues*. Leipzig: Barth JA.

- Brown, G. D. (1997). Connectionism, phonology, reading, and regularity in developmental dyslexia. *Brain Lang.*, 59(2), 207-235.
- Bruck, M. (1992). Persistence of dyslexics' phonological deficits. *Developmental-Psychology*, 28(5), 874-886.
- Brunswick, N., McCrory, E., Price, C. J., Frith, C. D., & Frith, U. (1999). Explicit and implicit processing of words and pseudowords by adult developmental dyslexics: A search for Wernicke's Wortschatz? *Brain*, 122(Pt 10), 1901-1917.
- Bryant, P., MacLean, M., Bradley, L. L., & Crossland, J. (1990). Rhyme and alliteration, phoneme detection, and learning to read. *Developmental psychology*, 26(3), 429-438.
- Burgess, S. R., & Hitch, G. J. (1999). Memory for serial order: A network model of the phonological loop and its timing. *Psychological Review*, 106(3), 551-581.
- Burgess, S. R., & Lonigan, C. J. (1998). Bidirectional relations of phonological sensitivity and prereading abilities: evidence from a preschool sample. *J Exp Child Psychol.*, 70(2), 117-141.
- Burgund, E. D., Kang, H. C., Kelly, J. E., Buckner, R. L., Snyder, A. Z., Petersen, S. E., et al. (2002). The feasibility of a common stereotactic space for children and adults in fMRI studies of development. *Neuroimage*, 17(1), 184-200.
- Burton, M. W., Small, S. L., & Blumstein, S. E. (2000). The role of segmentation in phonological processing: an fMRI investigation. *J Cogn Neurosci*, 12(4), 679-690.
- Bus, A. G., & Van IJzendoorn, M. H. (1999). Phonological awareness and early reading: A meta-analysis of experimental training studies. *Journal of Educational Psychology*, 91(3), 403-414.
- Cao, F., Bitan, T., Chou, T. L., Burman, D. D., & Booth, J. R. (2006). Deficient orthographic and phonological representations in children with dyslexia revealed by brain activation patterns. *J Child Psychol Psychiatry.*, 47(10), 1041-1050.
- Carroll, J. M., Snowling, M., Stevenson, J., & Hulme, C. (2003). The development of phonological awareness in preschool children. *Dev Psychol.*, 39(5), 913-923.
- Carroll, J. M., & Snowling, M. J. (2004). Language and phonological skills in children at high risk of reading difficulties. *J Child Psychol Psychiatry.*, 45(3), 631-640.
- Castles, A., & Coltheart, M. (1993). Varieties of developmental dyslexia. *Cognition*, 47(2), 149-180.
- Castles, A., & Coltheart, M. (2004). Is there a causal link from phonological awareness to success in learning to read? *Cognition.*, 91(1), 77-111.
- Catts, H. W. (1993). The relationship between speech-language impairments and reading disabilities. *J Speech Hear Res.*, 36(5), 948-958.

- Catts, H. W., Adlof, S. M., Hogan, T. P., & Weismer, S. E. (2005). Are specific language impairment and dyslexia distinct disorders? *J Speech Lang Hear Res*, *48*(6), 1378-1396.
- Catts, H. W., Fey, M. E., Tomblin, J. B., & Zhang, X. (2002). A longitudinal investigation of reading outcomes in children with language impairments. *J Speech Lang Hear Res.*, *45*(6), 1142-1157.
- Chainay, H., Rosenthal, V., & Goldbun, M. C. (1988). Normes de dénomination de 315 images en couleur et en noir et blanc. *Revue de neuropsychologie*, *8*(2), 179-206.
- Chiron, C., Pinton, F., Masure, M. C., Duvelleroy-Hommet, C., Leon, F., & Billard, C. (1999). Hemispheric specialization using SPECT and stimulation tasks in children with dysphasia and dystrophia. *Dev Med Child Neurol*, *41*(8), 512-520.
- Chou, T. L., Booth, J. R., Bitan, T., Burman, D. D., Bigio, J. D., Cone, N. E., et al. (2006). Developmental and skill effects on the neural correlates of semantic processing to visually presented words. *Hum Brain Mapp*, *27*(11), 915-924.
- Chou, T. L., Booth, J. R., Burman, D. D., Bitan, T., Bigio, J. D., Lu, D., et al. (2006). Developmental changes in the neural correlates of semantic processing. *Neuroimage*, *29*(4), 1141-1149.
- Coady, J. A., Kluender, K. R., & Evans, J. L. (2005). Categorical perception of speech by children with specific language impairments. *J Speech Lang Hear Res*, *48*(4), 944-959.
- Cohen, L., Dehaene, S., Naccache, L., Lehericy, S., Dehaene-Lambertz, G., Henaff, M. A., et al. (2000). The visual word form area: spatial and temporal characterization of an initial stage of reading in normal subjects and posterior split-brain patients. *Brain*, *123*(Pt 2), 291-307.
- Cohen, L., Jobert, A., Le Bihan, D., & Dehaene, S. (2004). Distinct unimodal and multimodal regions for word processing in the left temporal cortex. *Neuroimage.*, *23*(4), 1256-1270.
- Cohen, L., Lehericy, S., Chochon, F., Lemer, C., Rivaud, S., & Dehaene, S. (2002). Language-specific tuning of visual cortex? Functional properties of the Visual Word Form Area. *Brain*, *125*(Pt 5), 1054-1069.
- Coltheart, M., Curtis, B., Atkins, P., & Haller, M. (1993). Models of Reading Aloud: Dual-Route and Parallel-Distributed-Processing Approaches. *Psychological Review*, *100*(4), 589-608.
- Content, A., Mousty, P., & Radeau, M. (2005). Brulex, une base de données lexicales informatisée pour le français écrit et parlé.
- Conti-Ramsden, G., & Botting, N. (1999). Classification of children with specific language impairment: longitudinal considerations. *J Speech Lang Hear Res.*, *42*(5), 1195-1204.

- Conti-Ramsden, G., Crutchley, A., & Botting, N. (1997). The extent to which psychometric tests differentiate subgroups of children with SLI. *J Speech Lang Hear Res.*, *40*(4), 765-777.
- Conti-Ramsden, G., & Durkin, K. (2007). Phonological short-term memory, language and literacy: developmental relationships in early adolescence in young people with SLI. *J Child Psychol Psychiatry*, *48*(2), 147-156.
- Corina, D. P., Richards, T. L., Serafini, S., Richards, A. L., Steury, K., Abbott, R. D., et al. (2001). fMRI auditory language differences between dyslexic and able reading children. *Neuroreport*, *12*(6), 1195-1201.
- Crosson, B., Rao, S. M., Woodley, S. J., Rosen, A. C., Bobholz, J. A., Mayer, A., et al. (1999). Mapping of semantic, phonological, and orthographic verbal working memory in normal adults with functional magnetic resonance imaging. *Neuropsychology*, *13*(2), 171-187.
- Cutler, A., Mehler, J., Norris, D., & Segui, J. (1983). A language-specific comprehension strategy. *Nature*, *304*(5922), 159-160.
- De Agostini, M. (1992). Le développement de la spécialisation hémisphérique. In H. Kremin & M. Leclercq (Eds.), *Approche neuropsychologique de l'enfant* (pp. 43-59). Paris: Société de Neuropsychologie de Langue Française.
- de Jong, P. F., & Olson, R. K. (2004). Early predictors of letter knowledge. *J Exp Child Psychol.*, *88*(3), 254-273.
- De Jong, P. F., & Van der Leij, A. (1999). Specific contributions of phonological abilities to early reading acquisition: Results from a Dutch latent variable longitudinal study. *J Exp Child Psychol*, *91*(3), 150-176.
- de Loureiro C, S., Braga, L. W., Souza Ldo, N., Nunes Filho, G., Queiroz, E., & Dellatolas, G. (2004). Degree of illiteracy and phonological and metaphonological skills in unschooled adults. *Brain Lang.*, *89*(3), 499-502.
- De Martino, S., Espesser, R., Rey, V., & Habib, M. (2001). The "temporal processing deficit" hypothesis in dyslexia: new experimental evidence. *Brain Cogn*, *46*(1-2), 104-108.
- Dehaene, S., Cohen, L., Sigman, M., & Vinckier, F. (2005). The neural code for written words: a proposal. *Trends Cogn Sci.*, *9*(7), 335-341.
- Déjerine. (1892). Contribution à l'étude anatomo-pahtologique et clinique des différentes variétés de cécité verbale. *Mem Soc Biol²*, *4*, 61-90.
- Demonet, J. F., Fiez, J. A., Paulesu, E., Petersen, S. E., & Zatorre, R. J. (1996). PET Studies of Phonological Processing: A Critical Reply to Poeppel. *Brain Lang*, *55*(3), 352-379.
- Demonet, J. F., & Habib, M. (2001). [Developmental dyslexia: contribution of modern neuropsychology]. *Rev Neurol (Paris)*, *157*(8-9 Pt 1), 847-853.

- Demonet, J. F., Taylor, M. J., & Chaix, Y. (2004). Developmental dyslexia. *Lancet*, 363(9419), 1451-1460.
- Demont, E., & Gombert, J. E. (2007). Relations conscience phonologique et apprentissage de la lecture : peut-on sortir de la relation circulaire ? In E. Demont & M. N. Metz-Lutz (Eds.), *L'acquisition du langage et ses troubles* (pp. 47-79). Marseille: Solal.
- Devlin, J. T., Jamison, H. L., Gonnerman, L. M., & Matthews, P. M. (2006). The role of the posterior fusiform gyrus in reading. *J Cogn Neurosci.*, 18(6), 911-922.
- Dollaghan, C., Biber, M., & Campbell, T. (1993). Constituent syllable effects in a nonsense-word repetition task. *J Speech Hear Res*, 36(5), 1051-1054.
- Dollaghan, C., & Campbell, T. F. (1998). Nonword repetition and child language impairment. *J Speech Lang Hear Res*, 41(5), 1136-1146.
- Doya, K. (2008). Modulators of decision making. *Nat Neurosci*, 11(4), 410-416.
- Dufva, M., Niemi, P., & Voeten, M. J. M. (2001). The role of phonological memory, word recognition, and comprehension skills in reading development: From preschool to grade 2. *Reading and writing : an interdisciplinary journal*, 14(1-2), 91-117.
- Duncan, L. G., Seymour, P. H., & Hill, S. (1997). How important are rhyme and analogy in beginning reading? *Cognition.*, 63(2), 171-208.
- Dunn, L. M., Thériault-Whalen, C. M., & Dunn, L. M. (1993). *Echelle de vocabulaire en images Peabody. Adaptation française du Peabody Picture Vocabulary Test Revised*. Richmond Hill: Psycan.
- Duvelleroy-Hommet, C., Gillet, P., Billard, C., Loisel, M. L., Barthez, M. A., Santini, J. J., et al. (1995). Study of unilateral hemisphere performance in children with developmental dysphasia. *Neuropsychologia*, 33(7), 823-834.
- Eden, G. F., & Zeffiro, T. A. (1998). Neural systems affected in developmental dyslexia revealed by functional neuroimaging. *Neuron*, 21(2), 279-282.
- Ehri, L. C. (1995). Phases of development in learning to read words by sight. *Journal of research in reading*, 18(2), 116-125.
- Eisenmajer, N., Ross, N., & Pratt, C. (2005). Specificity and characteristics of learning disabilities. *J Child Psychol Psychiatry.*, 46(10), 1108-1115.
- Elbro, C., & Jensen, M. N. (2005). Quality of phonological representations, verbal learning, and phoneme awareness in dyslexic and normal readers. *Scand J Psychol.*, 46(4), 375-384.
- Ellis, A. W., Burani, C., Izura, C., Bromiley, A., & Venneri, A. (2006). Traces of vocabulary acquisition in the brain: Evidence from covert object naming. *Neuroimage.*, 33(3), 958-968. Epub 2006 Sep 2020.
- Ellis, N. (1990). Reading, phonological skills and short-term memory: Interactive tributaries of development. *journal of research in reading*, 13(2), 107-122.

- Evans, A. C., Collins, D. L., & Millner, B. (1992). *An MRI-based stereotactic atlas from 250 young normal subjects*. Paper presented at the Society of Neurosciences.
- Evans, M. A., Bell, M., Shaw, D., Moretti, S., & Page, J. (2006). Letter names, letter sounds and phonological awareness: an examination of kindergarten children across letters and of letters across children. *Reading and writing : an interdisciplinary journal*, 19(9), 959-989.
- Expertise Collective. (2007). *Dyslexie, Dysorthographe, Dyscalculie : Bilan des données scientifiques*. Paris: INSERM.
- Fazio, B. B. (1999). Arithmetic calculation, short-term memory, and language performance in children with specific language impairment: a 5-year follow-up. *J Speech Lang Hear Res*, 42(2), 420-431.
- Ferrand, L., Grainger, J., & New, B. (2003). Normes d'âge d'acquisition pour 400 mots monosyllabiques. *l'année psychologique*, 103(3), 445-467.
- Fiebach, C. J., Friederici, A. D., Muller, K., & von Cramon, D. Y. (2002). fMRI evidence for dual routes to the mental lexicon in visual word recognition. *J Cogn Neurosci*, 14(1), 11-23.
- Fiebach, C. J., Friederici, A. D., Muller, K., von Cramon, D. Y., & Hernandez, A. E. (2003). Distinct brain representations for early and late learned words. *Neuroimage*, 19(4), 1627-1637.
- Fiez, J. A. (1997). Phonology, semantics, and the role of the left inferior prefrontal cortex. *Hum Brain Mapp*, 5(2), 79-83.
- Fiez, J. A., Balota, D. A., Raichle, M. E., & Petersen, S. E. (1999). Effects of lexicality, frequency, and spelling-to-sound consistency on the functional anatomy of reading. *Neuron*, 24(1), 205-218.
- Fiez, J. A., & Petersen, S. E. (1998). Neuroimaging studies of word reading. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 95(3), 914-921.
- Flax, J. F., Realpe-Bonilla, T., Hirsch, L. S., Brzustowicz, L. M., Bartlett, C. W., & Tallal, P. (2003). Specific language impairment in families: evidence for co-occurrence with reading impairments. *J Speech Lang Hear Res.*, 46(3), 530-543.
- Foorman, B. R., Anthony, J., Seals, L., & Mouzaki, A. (2002). Language development and emergent literacy in preschool. *Semin Pediatr Neurol.*, 9(3), 173-184.
- Frith, U. (1985). Beneath the surface of developmental dyslexia. In K. E. Patterson, J. C. Marshall & M. Coltheart (Eds.), *Surface dyslexia : neuropsychological and cognitive studies of phonological reading* (pp. 301-330). London: Elbraum.
- Gaillard, W. D., Balsamo, L. M., Ibrahim, Z., Sachs, B. C., & Xu, B. (2003). fMRI identifies regional specialization of neural networks for reading in young children. *Neurology*, 60(1), 94-100.

- Gaillard, W. D., Pugliese, M., Grandin, C. B., Braniecki, S. H., Kondapaneni, P., Hunter, K., et al. (2001). Cortical localization of reading in normal children: an fMRI language study. *Neurology*, 57(1), 47-54.
- Gallagher, A., Frith, U., & Snowling, M. J. (2000). Precursors of literacy delay among children at genetic risk of dyslexia. *J Child Psychol Psychiatry*, 41(2), 203-213.
- Gathercole, S., & Adams, A. M. (1993). Phonological working memory in very young children. *Dev Psychol*, 29(4), 770-778.
- Gathercole, S., & Adams, A. M. (1994). Children's phonological working memory: Contributions of long-term knowledge and rehearsal. *Journal of memory and language*, 33(5), 672-688.
- Gathercole, S., & Baddeley, A. (1989). Evaluation of the role of phonological STM in the development of vocabulary in children: A longitudinal study. *Journal of memory and language*, 28(2), 200-213.
- Gathercole, S., & Baddeley, A. (1990). Phonological memory deficits in language disordered children: Is there a causal connection? *Journal of memory and language*, 29(3), 336-360.
- Gathercole, S., & Baddeley, A. (1993). *Working memory and language*. Hove: Lawrence Erlbaum Associates.
- Gathercole, S., Service, E., Hitch, G. J., Adams, A. M., & Martin, A. J. (1999). Phonological short-term memory and vocabulary development: Further evidence on the nature of the relationship. *Applied cognitive psychology*, 13(1), 65-77.
- Gathercole, S., Willis, C. S., Emslie, H., & Baddeley, A. (1992). Phonological memory and vocabulary development during the early school years: A longitudinal study. *Developmental psychology*, 28(5), 887-898.
- Gathercole, S. E. (1995). Is nonword repetition a test of phonological memory or long-term knowledge? It all depends on the nonwords. *Mem Cognit.*, 23(1), 83-94.
- Gathercole, S. E. (1998). The development of memory. *J Child Psychol Psychiatry*, 39(1), 3-27.
- Gathercole, S. E. (1999). Cognitive approaches to the development of short-term memory. *Trends Cogn Sci*, 3(11), 410-419.
- Gathercole, S. E., Alloway, T. P., Willis, C., & Adams, A. M. (2006). Working memory in children with reading disabilities. *J Exp Child Psychol.*, 93(3), 265-281. Epub 2005 Nov 2015.
- Gathercole, S. E., Frankish, C. R., Pickering, S. J., & Peaker, S. (1999). Phonotactic influences on short-term memory. *J Exp Psychol Learn Mem Cogn.*, 25(1), 84-95.
- Gathercole, S. E., Hitch, G. J., Service, E., & Martin, A. J. (1997). Phonological short-term memory and new word learning in children. *Dev Psychol.*, 33(6), 966-979.

- Gathercole, S. E., Pickering, S. J., Ambridge, B., & Wearing, H. (2004). The structure of working memory from 4 to 15 years of age. *Dev Psychol*, *40*(2), 177-190.
- Gathercole, S. E., Tiffany, C., Briscoe, J., & Thorn, A. (2005). Developmental consequences of poor phonological short-term memory function in childhood: a longitudinal study. *J Child Psychol Psychiatry*, *46*(6), 598-611.
- Georgiewa, P., Rzanny, R., Gaser, C., Gerhard, U. J., Vieweg, U., Freesmeyer, D., et al. (2002). Phonological processing in dyslexic children: a study combining functional imaging and event related potentials. *Neurosci Lett.*, *318*(1), 5-8.
- Georgiewa, P., Rzanny, R., Hopf, J. M., Knab, R., Glauche, V., Kaiser, W. A., et al. (1999). fMRI during word processing in dyslexic and normal reading children. *Neuroreport.*, *10*(16), 3459-3465.
- Gillam, R. B., Cowan, N., & Marler, J. A. (1998). Information processing by school-age children with specific language impairment: evidence from a modality effect paradigm. *J Speech Lang Hear Res.*, *41*(4), 913-926.
- Goldrick, M., & Larson, M. (2008). Phonotactic probability influence speech production. *Cognition*, ...(...), ...
- Gombert, J. (1990a). Développement métalinguistique et langage écrit. In PUF (Ed.), *Le développement métalinguistique* (pp. 197-225). Paris.
- Gombert, J. (1990b). *Le développement métalinguistique*. Paris.
- Gombert, J. (1990c). Le développement métaphonologique. In PUF (Ed.), *Le développement métalinguistique* (pp. 29-58). Paris: Gombert.
- Gombert, J. (1992). *Metalinguistic development*: Hemel Hempstead : Harvester Wheatsheaf.
- Gombert, J. E., Bonjour, E., & Marec-Breton, N. (2004). Processus implicites et traitements intentionnels dans l'apprentissage de la lecture. In M. N. Metz-Lutz, E. Demont, C. Seegmuller, M. de Agostini & N. Bruneau (Eds.), *Développement cognitif et troubles des apprentissages : évaluer, comprendre, rééduquer et prendre en charge* (pp. 175-192). Marseille: Solal.
- Goswami, U. (1999). Causal connections in beginning reading : the importance of rhyme. *Journal of research in reading*, *22*(3), 217-240.
- Goswami, U. (2000). Phonological representations, reading development and dyslexia: towards a cross-linguistic theoretical framework. *Dyslexia*, *6*(2), 133-151.
- Graf Estes, K., Evans, J. L., & Else-Quest, N. M. (2007). Differences in the nonword repetition performance of children with and without specific language impairment: a meta-analysis. *J Speech Lang Hear Res*, *50*(1), 177-195.
- Gray, A., & McCutchen, D. (2006). Young readers' use of phonological information: phonological awareness, memory, and comprehension. *J Learn Disabil.*, *39*(4), 325-333.

- Gray, S. (2004). Word learning by preschoolers with specific language impairment: predictors and poor learners. *J Speech Lang Hear Res.*, 47(5), 1117-1132.
- Gray, S. (2006). The relationship between phonological memory, receptive vocabulary, and fast mapping in young children with specific language impairment. *J Speech Lang Hear Res.*, 49(5), 955-969.
- Griffiths, Y. M., & Snowling, M. (2002). Predictors of exception word and nonword reading in dyslexic children: The severity hypothesis. *Journal-of-Educational-Psychology*, 94(1), 34-43.
- Grossi, G., Coch, D., Coffey-Corina, S., Holcomb, P. J., & Neville, H. J. (2001). Phonological processing in visual rhyming: a developmental erp study. *J Cogn Neurosci*, 13(5), 610-625.
- Gupta, P. (2003). Examining the relationship between word learning, nonword repetition, and immediate serial recall in adults. *Q J Exp Psychol A*, 56(7), 1213-1236.
- Gupta, P., & MacWhinney, B. (1997). Vocabulary acquisition and verbal short-term memory: computational and neural bases. *Brain Lang.*, 59(2), 267-333.
- Habib, M. (1997). *Dyslexie : le cerveau singulier*. Solal.
- Habib, M. (2000). The neurological basis of developmental dyslexia: an overview and working hypothesis. *Brain*, 123 Pt 12, 2373-2399.
- Habib, M. (2004). Bases neurobiologiques de la dyslexie. In Solal (Ed.), *Développement cognitif et troubles des apprentissages : évaluer, comprendre, rééduquer et prendre en charge* (pp. 219-244). Marseille: Marie-Noëlle Metz-Lutz.
- Halsband, U. (2006). Bilingual and multilingual language processing. *J Physiol Paris*, 99(4-6), 355-369.
- Hammill, D. D., Mather, N., Allen, E. A., & Roberts, R. (2002). Using semantics, grammar, phonology, and rapid naming tasks to predict word identification. *J Learn Disabil.*, 35(2), 121-136.
- Harm, M. W., & Seidenberg, M. S. (1999). Phonology, reading acquisition, and dyslexia: insights from connectionist models. *Psychol Rev.*, 106(3), 491-528.
- Helenius, P., Tarkiainen, A., Cornelissen, P., Hansen, P. C., & Salmelin, R. (1999). Dissociation of normal feature analysis and deficient processing of letter-strings in dyslexic adults. *Cereb Cortex*, 9(5), 476-483.
- Herbster, A. N., Mintun, M. A., Nebes, R. D., & Becker, J. T. (1997). Regional cerebral blood flow during word and nonword reading. *Hum Brain Mapp*, 5(2), 84-92.
- Hickok, G., & Poeppel, D. (2004). Dorsal and ventral streams: a framework for understanding aspects of the functional anatomy of language. *Cognition*, 92(1-2), 67-99.

- Hoefl, F., Hernandez, A., McMillon, G., Taylor-Hill, H., Martindale, J. L., Meyler, A., et al. (2006). Neural basis of dyslexia: a comparison between dyslexic and nondyslexic children equated for reading ability. *J Neurosci.*, 26(42), 10700-10708.
- Hoefl, F., Meyler, A., Hernandez, A., Juel, C., Taylor-Hill, H., Martindale, J. L., et al. (2007). Functional and morphometric brain dissociation between dyslexia and reading ability. *Proc Natl Acad Sci U S A.*, 104(10), 4234-4239. Epub 2007 Feb 4223.
- Horwitz, B., Rumsey, J. M., & Donohue, B. C. (1998). Functional connectivity of the angular gyrus in normal reading and dyslexia. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 95(15), 8939-8944.
- Houdé, O., Mazoyer, B., & Tzourio-Mazoyer, N. (2002). *Cerveau et Psychologie* (1 ed.). Paris: PUF.
- Hulme, C. (2002). Phonemes, rimes, and the mechanisms of early reading development. *Journal of experimental child psychology*, 82(1), 58-64.
- Hulme, C., Caravolas, M., Malkova, G., & Brigstocke, S. (2005). Phoneme isolation ability is not simply a consequence of letter-sound knowledge. *Cognition.*, 97(1), B1-11. Epub 2005 Apr 2008.
- Hulme, C., Goetz, K., Gooch, D., Adams, J., & Snowling, M. J. (2007). Paired-associate learning, phoneme awareness, and learning to read. *J Exp Child Psychol.*, 96(2), 150-166. Epub 2006 Dec 2004.
- Hulme, C., Hatcher, P. J., Nation, K., Brown, A., Adams, J., & Stuart, G. (2002). Phoneme awareness is a better predictor of early reading skill than onset-rime awareness. *J Exp Child Psychol.*, 82(1), 2-28.
- Hulme, C., Roodenrys, S., Brown, G., & Mercer, R. (1995). The role of long-term memory mechanisms in memory span. *British journal of psychology*, 86, 527-536.
- Hurford, D. P., & Sanders, R. E. (1990). Assessment and remediation of a phonemic discrimination deficit in reading disabled second and fourth graders. *Journal of experimental child psychology*, 50(3), 396-415.
- Inserm, e. c. (2007). *Dyslexie, Dysorthographie, Dyscalculie : Bilan des données scientifiques*. Paris: INSERM.
- Ionescu, S., Jourdan-Ionescu, C., Alain, M., Rousseau, J., & Inostroza, J. (1992). PM47: Analyse des resultats de 768 enfants quebecois de 6 a 11 ans / The Raven Coloured Progressive Matrices (PM47): Analysis of results from 768 6-11-yr-old children from Quebec. *Revue Francophone de la Deficience Intellectuelle*, 31(1), 25-38.
- Jessen, F., Erb, M., Klose, U., Lotze, M., Grodd, W., & Heun, R. (1999). Activation of human language processing brain regions after the presentation of random letter strings demonstrated with event-related functional magnetic resonance imaging. *Neurosci Lett*, 270(1), 13-16.

- Joanisse, M. F., Manis, F. R., Keating, P., & Seidenberg, M. S. (2000). Language deficits in dyslexic children: speech perception, phonology, and morphology. *J Exp Child Psychol.*, 77(1), 30-60.
- Joanisse, M. F., & Seidenberg, M. S. (1998). Specific language impairment: A deficit in grammar or processing? *Trends Cogn Sci*, 2(7), 240-247.
- Joanisse, M. F., & Seidenberg, M. S. (2003). Phonology and syntax in specific language impairment: evidence from a connectionist model. *Brain Lang.*, 86(1), 40-56.
- Jobard, G., Crivello, F., & Tzourio-Mazoyer, N. (2003). Evaluation of the dual route theory of reading: a metaanalysis of 35 neuroimaging studies. *Neuroimage*, 20(2), 693-712.
- Johnston, R. S., Rugg, M. D., & Scott, T. (1987). Phonological similarity effects, memory span and developmental reading disorders: the nature of the relationship. *Br J Psychol.*, 78(Pt 2), 205-211.
- Jorm, A. F. (1983). Specific reading retardation and working memory: a review. *Br J Psychol.*, 74(Pt 3), 311-342.
- Joubert, S., Beauregard, M., Walter, N., Bourgouin, P., Beaudoin, G., Leroux, J. M., et al. (2004). Neural correlates of lexical and sublexical processes in reading. *Brain Lang*, 89(1), 9-20.
- Kamhi, A. G., & Catts, H. W. (1986). Toward an understanding of developmental language and reading disorders. *J Speech Hear Disord.*, 51(4), 337-347.
- Kang, H. C., Burgund, E. D., Lugar, H. M., Petersen, S. E., & Schlaggar, B. L. (2003). Comparison of functional activation foci in children and adults using a common stereotactic space. *Neuroimage*, 19(1), 16-28.
- Karlsen, P. J., Imenes, A. G., Johannessen, K., Endestad, T., & Lian, A. (2007). Why does the phonological similarity effect reverse with nonwords? *Psychol Res*, 71(4), 448-457.
- Katz, R. B. (1986). Phonological deficiencies in children with reading disability: evidence from an object-naming task. *Cognition.*, 22(3), 225-257.
- Katzir, T., Misra, M., & Poldrack, R. A. (2005). Imaging phonology without print: assessing the neural correlates of phonemic awareness using fMRI. *Neuroimage.*, 27(1), 106-115.
- Khomsy, A. (1990). *Epreuve d'évaluation de la compétence en lecture : lecture de mot et compréhension*. Paris: ECPA.
- Kirchner, D. M., & Klatzky, R. L. (1985). Verbal rehearsal and memory in language-disordered children. *J Speech Hear Res.*, 28(4), 556-565.
- Korkman, M., Kirk, U., & Kemp, S. (2003). *NEPSY: Bilan neuropsychologique de l'enfant*. Paris: Les Editions du Centre de Psychologie Appliquée.

- Kramer, J. H., Knee, K., & Delis, D. C. (2000). Verbal memory impairments in dyslexia. *Arch Clin Neuropsychol.*, 15(1), 83-93.
- Ladefoged, p. (1958). Syllable and Stress. *Miscellanea Phonetics*, 3, 1-15.
- Leather, C. V., & Henry, L. A. (1994). Working memory span and phonological awareness tasks as predictors of early reading ability. *J Exp Child Psychol.*, 58(1), 88-111.
- Lecocq, P. (1996). *E.CO.S.SE : Epreuve de Compréhension Syntaxico-Sémantique*. Lille: Presses universitaires du Septentrion.
- Lefavrais, P. (1967). *Alouette*. Paris: ECPA.
- Lete, B., Sprenger-Charolles, L., & Cole, P. (2004). MANULEX: a grade-level lexical database from French elementary school readers. *Behav Res Methods Instrum Comput*, 36(1), 156-166.
- Levin, I., Shatil-Carmon, S., & Asif-Rave, O. (2006). Learning of letter names and sounds and their contribution to word recognition. *J Exp Child Psychol.*, 93(2), 139-165. Epub 2005 Oct 2024.
- Lieberman, A. M. (1970). Some characteristics of perception in the speech mode. *Res Publ Assoc Res Nerv Ment Dis*, 48, 238-254.
- Lieberman, A. M., Cooper, F. S., Shankweiler, D. P., & Studdert-Kennedy, M. (1967). Perception of the speech code. *Psychol Rev*, 74(6), 431-461.
- Lieberman, A. M., & Mattingly, I. G. (1985). The motor theory of speech perception revised. *Cognition*, 21(1), 1-36.
- Lieberman, I. Y., Shankweiler, D., Fischer, F. W., & Carter, B. (1974). Explicit syllable and phoneme segmentation in the young child. *Journal of experimental child psychology*, 18(2), 201-212.
- Locke, J. L. (1997). A theory of neurolinguistic development. *Brain Lang*, 58(2), 265-326.
- Locke, J. L., Bekken, K. E., McMinn-Larson, L., & Wein, D. (1995). Emergent control of manual and vocal-motor activity in relation to the development of speech. *Brain Lang*, 51(3), 498-508.
- Lonigan, C. J., Burgess, S. R., & Anthony, J. L. (2000). Development of emergent literacy and early reading skills in preschool children: evidence from a latent-variable longitudinal study. *Dev Psychol.*, 36(5), 596-613.
- Lonigan, C. J., Burgess, S. R., Anthony, J. L., & Barker, T. A. (1998). Development of phonological sensitivity in 2- to 5-year-old children. *Journal of Educational Psychology*, 90(2), 294-311.
- Lundberg, I. (2002). The child's route into reading and what can go wrong. *Dyslexia.*, 8(1), 1-13.
- Mackie, C., & Dockrell, J. E. (2004). The nature of written language deficits in children with SLI. *J Speech Lang Hear Res*, 47(6), 1469-1483.

- Maillart, C., Schelstraete, M. A., & Hupet, M. (2004). Phonological representations in children with SLI: a study of French. *J Speech Lang Hear Res.*, 47(1), 187-198.
- Majerus, S., Amand, P., Boniver, V., Demanez, J. P., Demanez, L., & Van der Linden, M. (2005). A quantitative and qualitative assessment of verbal short-term memory and phonological processing in 8-year-olds with a history of repetitive otitis media. *J Commun Disord*, 38(6), 473-498.
- Majerus, S., & Poncelet, M. (2004). Mémoire à court terme verbale : cause ou conséquence du développement du langage ? In D. Metz-Lutz M.N., E., Seegmuller, C., De Agostini, M., Bruneau, N. (Ed.), *Développement cognitif et troubles des apprentissages : évaluer, comprendre, rééduquer et prendre en charge* (pp. 151-174). Marseille: Solal.
- Majerus, S., Poncelet, M., Elsen, B., & van der Linden, M. (2006). Exploring the relationship between new word learning and short-term memory for serial order recall, item recall, and item recognition. *European Journal of cognitive psychology*, 18(6), 848-873.
- Majerus, S., Poncelet, M., Greffe, C., & Van der Linden, M. (2006). Relations between vocabulary development and verbal short-term memory: The relative importance of short-term memory for serial order and item information. *J Exp Child Psychol.*, 93(2), 95-119. Epub 2005 Sep 2009.
- Majerus, S., Poncelet, M., Van der Linden, M., & Weekes, B. S. (2008). Lexical learning in bilingual adults: The relative importance of short-term memory for serial order and phonological knowledge. *Cognition*.
- Majerus, S., & Van der Linden, M. (2003). Long-term memory effects on verbal short-term memory: A replication study. *Br J Psychol.*, 21(2), 303-310.
- Majerus, S., Vrancken, G., & Van der Linden, M. (2003). Perception and short-term memory for verbal information in children with specific language impairment: Further evidence for impaired short-term memory capacities. *Brain and Language*, 87, 160-161.
- Manis, F. R., Custodio, R., & Szeszulski, P. A. (1993). Development of phonological and orthographic skill: a 2-year longitudinal study of dyslexic children. *J Exp Child Psychol.*, 56(1), 64-86.
- Manis, F. R., McBride-Chang, C., Seidenberg, M. S., Keating, P., Doi, L. M., Munson, B., et al. (1997). Are speech perception deficits associated with developmental dyslexia? *J Exp Child Psychol.*, 66(2), 211-235.
- Manis, F. R., Seidenberg, M. S., Doi, L. M., McBride-Chang, C., & Petersen, A. (1996). On the bases of two subtypes of developmental [corrected] dyslexia. *Cognition*, 58(2), 157-195.

- Martin, F., Claydon, E., Morton, A., Binns, S., & Pratt, C. (2003). The development of orthographic and phonological strategies for the decoding of words in children. *Journal of research in reading*, 26(2), 191-204.
- Marton, K., & Schwartz, R. G. (2003). Working memory capacity and language processes in children with specific language impairment. *J Speech Lang Hear Res.*, 46(5), 1138-1153.
- Mazoyer, B. (2001). *L'imagerie cérébrale fonctionnelle* (1 ed.). Paris: PUF.
- McCandliss, B. D., Cohen, L., & Dehaene, S. (2003). The visual word form area: expertise for reading in the fusiform gyrus. *Trends Cogn Sci*, 7(7), 293-299.
- McDermott, K. B., Petersen, S. E., Watson, J. M., & Ojemann, J. G. (2003). A procedure for identifying regions preferentially activated by attention to semantic and phonological relations using functional magnetic resonance imaging. *Neuropsychologia*, 41, 293-303.
- McDougall, S., & Donohoe, R. (2002). Reading ability and memory span: Long-term memory contributions to span for good and poor readers. *Reading and writing : an interdisciplinary journal*, 15(3-4), 359-387.
- McDougall, S., Hulme, C., Ellis, A., & Monk, A. (1994). Learning to read: the role of short-term memory and phonological skills. *J Exp Child Psychol.*, 58(1), 112-133.
- McGregor, K. K., Newman, R. M., Reilly, R. M., & Capone, N. C. (2002). Semantic representation and naming in children with specific language impairment. *J Speech Lang Hear Res.*, 45(5), 998-1014.
- Mechelli, A., Josephs, O., Lambon Ralph, M. A., McClelland, J. L., & Price, C. J. (2007). Dissociating stimulus-driven semantic and phonological effect during reading and naming. *Hum Brain Mapp*, 28(3), 205-217.
- Metsala, J. L. (1999). Young children's phonological awareness and nonword repetition as a function of vocabulary development. *Journal of Educational Psychology*, 91(1), 3-19.
- Milner, B. (1971). Interhemispheric differences in the localization of psychological processes in man. *British Medical Bulletin*, 27, 272-277.
- Mody, M. (2003). Phonological basis in reading disability : a review and analysis of the evidence. *Reading and writing : an interdisciplinary journal*, 16, 21-39.
- Mody, M., Studdert-Kennedy, M., & Brady, S. (1997). Speech perception deficits in poor readers: auditory processing or phonological coding? *J Exp Child Psychol.*, 64(2), 199-231.
- Montgomery, J. W. (1995). Sentence comprehension in children with specific language impairment: the role of phonological working memory. *J Speech Hear Res*, 38(1), 187-199.

- Morais, J. (2003). Levels of phonological representation in skilled reading and in learning to read. *Reading and writing : an interdisciplinary journal*, 16, 123-151.
- Morais, J., Bertelson, P., Cary, L., & Alegria, J. (1986). Literacy training and speech segmentation. *Cognition*, 24(1-2), 45-64.
- Morton, J. (1969). Interaction of information in word recognition. *Psychol Rev*, 165-178.
- Munson, B., Kurtz, B. A., & Windsor, J. (2005). The influence of vocabulary size, phonotactic probability, and wordlikeness on nonword repetitions of children with and without specific language impairment. *J Speech Lang Hear Res*, 48(5), 1033-1047.
- Muter, V., Hulme, C., Snowling, M., & Taylor, S. (1998). Segmentation, not rhyming, predicts early progress in learning to read. *J Exp Child Psychol.*, 71(1), 3-27.
- Muter, V., Hulme, C., Snowling, M. J., & Stevenson, J. (2004). Phonemes, rimes, vocabulary, and grammatical skills as foundations of early reading development: evidence from a longitudinal study. *Dev Psychol.*, 40(5), 665-681.
- Muzik, O., Chugani, D. C., Juhasz, C., Shen, C., & Chugani, H. T. (2000). Statistical parametric mapping: assessment of application in children. *Neuroimage*, 12(5), 538-549.
- Nagarajan, S., Mahncke, H., Salz, T., Tallal, P., Roberts, T., & Merzenich, M. M. (1999). Cortical auditory signal processing in poor readers. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 96(11), 6483-6488.
- Naslund, J. C., & Schneider, W. (1996). Kindergarten letter knowledge, phonological skills, and memory processes: relative effects on early literacy. *J Exp Child Psychol.*, 62(1), 30-59.
- Nation, K., & Snowling, M. (2004). Beyond phonological skills: Broader language skills contribute to the development of reading. *Journal of research in reading*, 27(4), 342-356.
- Nelson, H. E., & Warrington, E. K. (1980). An investigation of memory functions in dyslexic children. *Br J Psychol.*, 71(Pt 4), 487-503.
- Newbury, D. F., Bishop, D. V., & Monaco, A. P. (2005). Genetic influences on language impairment and phonological short-term memory. *Trends Cogn Sci*, 9(11), 528-534.
- Nicolson, R., Fawcett, A. J., & Dean, P. (2001). Dyslexia, development and the cerebellum. *Trends Neurosci*, 24(9), 515-516.
- Nicolson, R. I., Fawcett, A. J., & Dean, P. (2001). Developmental dyslexia: the cerebellar deficit hypothesis. *Trends Neurosci*, 24(9), 508-511.
- Nithart, C. (2005). Anatomie fonctionnelle de la conscience phonologique : Mise au point d'un protocole d'activation pour l'apprenti lecteur dyslexique. Unpublished Mémoire de Master 2 Recherche - Neuropsychologie. Université Paul Sabatier - Toulouse.

- Nobre, A. C., Allison, T., & McCarthy, G. (1994). Word recognition in the human inferior temporal lobe. *Nature*, 372(6503), 260-263.
- Olson, R. K., Davidson, B. J., Kliegl, R., & Davies, S. E. (1984). Development of phonetic memory in disabled and normal readers. *J Exp Child Psychol.*, 37(1), 187-206.
- Orton, S. T. (1925). Word blindness in school children. *Arch. Neurol. Psychia.*, 14, 581-615.
- Otzenberger, H., Gounot, D., Marrer, C., Namer, I. J., & Metz-Lutz, M. N. (2005). Reliability of individual functional MRI brain mapping of language. *Neuropsychology.*, 19(4), 484-493.
- Passenger, T., Stuart, M., & Terrell, C. (2000). Phonological processing and early literacy. *journal of research in reading*, 23(1), 55-66.
- Paulesu, E., Demonet, J. F., Fazio, F., McCrory, E., Chanoine, V., Brunswick, N., et al. (2001). Dyslexia: cultural diversity and biological unity. *Science.*, 291(5511), 2165-2167.
- Paulesu, E., Frith, C. D., & Frackowiak, R. S. (1993). The neural correlates of the verbal component of working memory. *Nature*, 362(6418), 342-345.
- Paulesu, E., Frith, U., Snowling, M., Gallagher, A., Morton, J., Frackowiak, R. S., et al. (1996). Is developmental dyslexia a disconnection syndrome? Evidence from PET scanning. *Brain*, 119(Pt 1), 143-157.
- Pecini, C., Casalini, C., Brizzolara, D., Cipriani, P., Pfanner, L., & Chilosi, A. (2005). Hemispheric specialization for language in children with different types of specific language impairment. *Cortex*, 41(2), 157-167.
- Pennington, B. F., & Lefly, D. L. (2001). Early reading development in children at family risk for dyslexia. *Child Dev.*, 72(3), 816-833.
- Plaza, M., & Cohen, H. (2003). The interaction between phonological processing, syntactic awareness, and naming speed in the reading and spelling performance of first-grade children. *Brain Cogn.*, 53(2), 287-292.
- Plaza, M., & Cohen, H. (2006). The contribution of phonological awareness and visual attention in early reading and spelling. *Dyslexia*, 13(1), 67-76.
- Poepfel, D. (1996). A critical review of PET studies of phonological processing. *Brain Lang*, 55(3), 317-351; discussion 352-385.
- Poldrack, R. A., Temple, E., Protopapas, A., Nagarajan, S., Tallal, P., Merzenich, M., et al. (2001). Relations between the neural bases of dynamic auditory processing and phonological processing: evidence from fMRI. *J Cogn Neurosci*, 13(5), 687-697.
- Poldrack, R. A., Wagner, A. D., Prull, M. W., Desmond, J. E., Glover, G. H., & Gabrieli, J. D. (1999). Functional specialization for semantic and phonological processing in the left inferior prefrontal cortex. *Neuroimage*, 10(1), 15-35.

- Poncelet, M., Majerus, S., & Van der Linden, M. (2001). Troubles de la rétention à court terme d'informations auditivo-verbales : évaluation et prise en charge. *Rééducation orthophonique*, 208, 121-137.
- Price, C. J. (2000). The anatomy of language: contributions from functional neuroimaging. *J Anat*, 197 Pt 3, 335-359.
- Price, C. J., & Devlin, J. T. (2003). The myth of the visual word form area. *Neuroimage*, 19(3), 473-481.
- Price, C. J., Devlin, J. T., Moore, C. J., Morton, C., & Laird, A. R. (2005). Meta-analyses of object naming: effect of baseline. *Hum Brain Mapp.*, 25(1), 70-82.
- Price, C. J., McCrory, E., Noppeney, U., Mechelli, A., Moore, C. J., Biggio, N., et al. (2006). How reading differs from object naming at the neuronal level. *Neuroimage*, 29(2), 643-648.
- Price, C. J., Wise, R. J., & Frackowiak, R. S. (1996). Demonstrating the implicit processing of visually presented words and pseudowords. *Cereb Cortex*, 6(1), 62-70.
- Price, C. J., Wise, R. J., Watson, J. D., Patterson, K., Howard, D., & Frackowiak, R. S. (1994). Brain activity during reading. The effects of exposure duration and task. *Brain*, 117(Pt 6), 1255-1269.
- Pugh, K. R., Mencl, W. E., Jenner, A. R., Katz, L., Frost, S. J., Lee, J. R., et al. (2000). Functional neuroimaging studies of reading and reading disability (developmental dyslexia). *Ment Retard Dev Disabil Res Rev*, 6(3), 207-213.
- Pugh, K. R., Mencl, W. E., Jenner, A. R., Katz, L., Frost, S. J., Lee, J. R., et al. (2001). Neurobiological studies of reading and reading disability. *J Commun Disord*, 34(6), 479-492.
- Pugh, K. R., Mencl, W. E., Shaywitz, B. A., Shaywitz, S. E., Fulbright, R. K., Constable, R. T., et al. (2000). The angular gyrus in developmental dyslexia: task-specific differences in functional connectivity within posterior cortex. *Psychol Sci*, 11(1), 51-56.
- Pugh, K. R., Shaywitz, B. A., Shaywitz, S. E., Constable, R. T., Skudlarski, P., Fulbright, R. K., et al. (1996). Cerebral organization of component processes in reading. *Brain*, 119 (Pt 4), 1221-1238.
- Pugh, K. R., Shaywitz, B. A., Shaywitz, S. E., Shankweiler, D. P., Katz, L., Fletcher, J. M., et al. (1997). Predicting reading performance from neuroimaging profiles: the cerebral basis of phonological effects in printed word identification. *J Exp Psychol Hum Percept Perform*, 23(2), 299-318.
- Raettig, T., & Kotz, S. A. (2008). Auditory processing of different types of pseudo-words: an event-related fMRI study. *Neuroimage*, 39(3), 1420-1428.
- Ramus, F. (2001). Outstanding questions about phonological processing in dyslexia. *Dyslexia.*, 7(4), 197-216.

- Ramus, F. (2003). Developmental dyslexia: specific phonological deficit or general sensorimotor dysfunction? *Curr Opin Neurobiol*, 13(2), 212-218.
- Ramus, F. (2004). Neurobiology of dyslexia: a reinterpretation of the data. *Trends Neurosci*, 27(12), 720-726.
- Ramus, F., Rosen, S., Dakin, S. C., Day, B. L., Castellote, J. M., White, S., et al. (2003). Theories of developmental dyslexia: insights from a multiple case study of dyslexic adults. *Brain*, 126(Pt 4), 841-865.
- Ramus, F., & Szenkovits, G. (2008). What phonological deficit? *Q J Exp Psychol (Colchester)*, 61(1), 129-141.
- Rapin, I. (1996). Practitioner review: developmental language disorders: a clinical update. *J Child Psychol Psychiatry*, 37(6), 643-655.
- Rapin, I., Allen, D. A., & Dunn, M. A. (1992). Developmental language disorders. In S. J. Segalowitz & I. Rapin (Eds.), *Handbook of neuropsychology* (Vol. 7, pp. 111-137). Amsterdam, London, New York, Tokyo: Elsevier.
- Raven, J. C. (1956). *Coloured progressive matrices PM47*. Oxford: OPP.
- Raven, J. C. (1981). *Manual for Raven's progressive matrices and vocabulary scales. Research supplement no.1: The 1979 British standardisation of the Standard Progressive Matrices and Mill Hill Vocabulary scales, together with comparative data from earlier studies in the UK, US, Canada, Germany and Ireland*. Oxford, England: Oxford psychologists press/ San Antonion, TX : The psychological Corporation.
- Rey, V., De Martino, S., Espesser, R., & Habib, M. (2002). Temporal processing and phonological impairment in dyslexia: effect of phoneme lengthening on order judgment of two consonants. *Brain Lang*, 80(3), 576-591.
- Richardson, U., Thomson, J. M., Scott, S. K., & Goswami, U. (2004). Auditory processing skills and phonological representation in dyslexic children. *Dyslexia*, 10(3), 215-233.
- Roberts, L., & McDougall, S. (2003). What do children do in the rime-analogy task? An examination of the skills and strategies used by early readers. *J Exp Child Psychol.*, 84(4), 310-337.
- Rohl, M., & Pratt, C. (1995). Phonological awareness, verbal working memory and the acquisition of literacy. *Reading and writing : an interdisciplinary journal*, 7(4), 327-360.
- Roodenrys, S., Hulme, C., & Brown, G. (1993). The development of short-term memory span: separable effects of speech rate and long-term memory. *J Exp Child Psychol.*, 56(3), 431-442.
- Roodenrys, S., & Stokes, J. (2001). Serial recall and non word repetition in reading disabled children. *Reading and writing : an interdisciplinary journal*, 14(5-6), 379-394.

- Rosen, S., & Manganari, E. (2001). Is there a relationship between speech and nonspeech auditory processing in children with dyslexia? *J Speech Lang Hear Res*, 44(4), 720-736.
- Rosenberg, D. R., Sweeney, J. A., Gillen, J. S., Kim, J., Varanelli, M. J., O'Hearn, K. M., et al. (1997). Magnetic resonance imaging of children without sedation: preparation with simulation. *J Am Acad Child Adolesc Psychiatry*, 36(6), 853-859.
- Rumsey, J. M., Horwitz, B., Donohue, B. C., Nace, K., Maisog, J. M., & Andreason, P. (1997). Phonological and orthographic components of word recognition. A PET-rCBF study. *Brain*, 120 (Pt 5), 739-759.
- Rumsey, J. M., Horwitz, B., Donohue, B. C., Nace, K. L., Maisog, J. M., & Andreason, P. (1999). A functional lesion in developmental dyslexia: left angular gyral blood flow predicts severity. *Brain Lang*, 70(2), 187-204.
- Rumsey, J. M., Nace, K., Donohue, B., Wise, D., Maisog, J. M., & Andreason, P. (1997). A positron emission tomographic study of impaired word recognition and phonological processing in dyslexic men. *Arch Neurol*, 54(5), 562-573.
- Rushworth, M. F., & Behrens, T. E. (2008). Choice, uncertainty and value in prefrontal and cingulate cortex. *Nat Neurosci*, 11(4), 389-397.
- Sarkari, S., Simos, P. G., Fletcher, J. M., Castillo, E. M., Breier, J. I., & Papanicolaou, A. C. (2002). Contributions of magnetic source imaging to the understanding of dyslexia. *Semin Pediatr Neurol*, 9(3), 229-238.
- Savage, R., Blair, R., & Rvachew, S. (2006). Rimes are not necessarily favored by prereaders: evidence from meta- and epilinguistic phonological tasks. *J Exp Child Psychol.*, 94(3), 183-205. Epub 2006 May 2003.
- Savage, R., & Carless, S. (2004). Predicting growth of nonword reading and letter-sound knowledge following rime- and phoneme-based teaching. *Journal of research in reading*, 27(3), 195-211.
- Savage, R. S., Frederickson, N., Goodwin, R., Patni, U., Smith, N., & Tuersley, L. (2005). Relationships among rapid digit naming, phonological processing, motor automaticity, and speech perception in poor, average, and good readers and spellers. *J Learn Disabil.*, 38(1), 12-28.
- Scarborough, H. S. (1989). Prediction of reading disability from familial and individual differences. *Journal of Educational Psychology*, 81(1), 101-108.
- Scarborough, H. S., & Dobrich, W. (1990). Development of children with early language delay. *J Speech Hear Res.*, 33(1), 70-83.
- Schatschneider, C., Fletcher, J. M., Francis, D. J., Carlson, C. D., & Foorman, B. R. (2004). Kindergarten Prediction of Reading Skills: A Longitudinal Comparative Analysis. *Journal of Educational Psychology*, 96(2), 265-282.

- Schlaggar, B. L., Brown, T. T., Lugar, H. M., Visscher, K. M., Miezin, F. M., & Petersen, S. E. (2002). Functional neuroanatomical differences between adults and school-age children in the processing of single words. *Science.*, 296(5572), 1476-1479.
- Schlaggar, B. L., & McCandliss, B. D. (2007). Development of Neural Systems for Reading. *Annu Rev Neurosci.*, 30, 475-503.
- Segui, J. (1984). The syllable : a basic perceptual unit in speech processing ? In D. G. Hillsdale (Ed.), *Attention and performance* (Vol. 10, pp. 165-181). New-Jersey: Erlbaum.
- Seidenberg, M. S., & McClelland, J. L. (1989). A distributed, developmental model of word recognition and naming. *Psychol Rev*, 96(4), 523-568.
- Serniclaes, W., & Sprenger-Charolles, L. (2003). Categorical perception of speech sounds and dyslexia. *Current Psychology Letters*, 10(1), On line.
- Serniclaes, W., Sprenger-Charolles, L., Carre, R., & Demonet, J. F. (2001). Perceptual discrimination of speech sounds in developmental dyslexia. *J Speech Lang Hear Res.*, 44(2), 384-399.
- Serniclaes, W., Van Heghe, S., Mousty, P., Carre, R., & Sprenger-Charolles, L. (2004). Allophonic mode of speech perception in dyslexia. *J Exp Child Psychol*, 87(4), 336-361.
- Shafer, V. L., Schwartz, R. G., Morr, M. L., Kessler, K. L., & Kurtzberg, D. (2000). Deviant neurophysiological asymmetry in children with language impairment. *Neuroreport*, 11(17), 3715-3718.
- Shankweiler, D., & Crain, S. (1986). Language mechanisms and reading disorder: a modular approach. *Cognition.*, 24(1-2), 139-168.
- Share, D. L. (2004). Knowing letter names and learning letter sounds: a causal connection. *J Exp Child Psychol.*, 88(3), 213-233.
- Shatil, E., & Share, D. L. (2003). Cognitive antecedents of early reading ability: a test of the modularity hypothesis. *J Exp Child Psychol.*, 86(1), 1-31.
- Shaywitz, B. A., Shaywitz, S. E., Blachman, B. A., Pugh, K. R., Fulbright, R. K., Skudlarski, P., et al. (2004). Development of left occipitotemporal systems for skilled reading in children after a phonologically- based intervention. *Biol Psychiatry*, 55(9), 926-933.
- Shaywitz, B. A., Shaywitz, S. E., Pugh, K. R., Mencl, W. E., Fulbright, R. K., Skudlarski, P., et al. (2002). Disruption of posterior brain systems for reading in children with developmental dyslexia. *Biol Psychiatry*, 52(2), 101-110.
- Shaywitz, B. A., Skudlarski, P., Holahan, J. M., Marchione, K. E., Constable, R. T., Fulbright, R. K., et al. (2007). Age-related changes in reading systems of dyslexic children. *Ann Neurol.*, 61(4), 363-370.

- Shaywitz, S. E., Morris, R., & Shaywitz, B. A. (2008). The education of dyslexic children from childhood to young adulthood. *Annu Rev Psychol*, *59*, 451-475.
- Shaywitz, S. E., & Shaywitz, B. A. (2005). Dyslexia (specific reading disability). *Biol Psychiatry*, *57*(11), 1301-1309.
- Shaywitz, S. E., Shaywitz, B. A., Fulbright, R. K., Skudlarski, P., Mencl, W. E., Constable, R. T., et al. (2003). Neural systems for compensation and persistence: young adult outcome of childhood reading disability. *Biol Psychiatry*, *54*(1), 25-33.
- Shaywitz, S. E., Shaywitz, B. A., Pugh, K. R., Fulbright, R. K., Constable, R. T., Mencl, W. E., et al. (1998). Functional disruption in the organization of the brain for reading in dyslexia. *Proc Natl Acad Sci U S A*, *95*(5), 2636-2641.
- Siegel, L. S., & Linder, B. A. (1984). Short-term memory processes in children with reading and arithmetic learning disabilities. *Dev Psychol*, *20*(2), 200-2007.
- Simos, P. G., Breier, J. I., Fletcher, J. M., Bergman, E., & Papanicolaou, A. C. (2000). Cerebral mechanisms involved in word reading in dyslexic children: a magnetic source imaging approach. *Cereb Cortex*, *10*(8), 809-816.
- Simos, P. G., Breier, J. I., Fletcher, J. M., Foorman, B. R., Bergman, E., Fishbeck, K., et al. (2000). Brain activation profiles in dyslexic children during non-word reading: a magnetic source imaging study. *Neurosci Lett*, *290*(1), 61-65.
- Simos, P. G., Breier, J. I., Fletcher, J. M., Foorman, B. R., Castillo, E. M., & Papanicolaou, A. C. (2002). Brain mechanisms for reading words and pseudowords: an integrated approach. *Cereb Cortex*, *12*(3), 297-305.
- Simos, P. G., Breier, J. I., Fletcher, J. M., Foorman, B. R., Mouzaki, A., & Papanicolaou, A. C. (2001). Age-related changes in regional brain activation during phonological decoding and printed word recognition. *Dev Neuropsychol*, *19*(2), 191-210.
- Sivan, A. B. (1992). *Benton Visual Retention Test* (Fifth Edition ed.). San Antonio: Psychological Corporation.
- Snowling. (1981). Phonemic deficits in developmental dyslexia. *Psychol Res*, *43*(2), 219-234.
- Snowling. (1995). Phonological processing and developmental dyslexia. *journal of research in reading*, *18*(2), 132-138.
- Snowling. (2001). From language to reading and dyslexia. *Dyslexia*, *7*(1), 37-46.
- Snowling, Bishop, D. V., & Stothard, S. E. (2000). Is preschool language impairment a risk factor for dyslexia in adolescence? *J Child Psychol Psychiatry*, *41*(5), 587-600.
- Snowling, Gallagher, A., & Frith, U. (2003). Family risk of dyslexia is continuous: individual differences in the precursors of reading skill. *Child Dev*, *74*(2), 358-373.
- Snowling, Goulandris, N., Bowlby, M., & Howell, P. (1986). Segmentation and speech perception in relation to reading skill: a developmental analysis. *J Exp Child Psychol*, *41*(3), 489-507.

- Snowling, van Wagendonk, B., & Stafford, C. (1988). Object-naming deficits in developmental dyslexia. *Journal of research in reading*, 11(2), 67-85.
- Sprenger-Charolles, L., & Colé, P. (2003). *Lecture et dyslexie - approche cognitive*.
- Sprenger-Charolles, L., Cole, P., Lacert, P., & Serniclaes, W. (2000). On subtypes of developmental dyslexia: evidence from processing time and accuracy scores. *Can J Exp Psychol.*, 54(2), 87-104.
- Sprenger-Charolles, L., & Serniclaes, W. (2003). Reliability of Phonological and Surface Subtypes in Developmental Dyslexia: A Review of Five Multiple Cases Studies. *Current Psychology Letters*, 10(1), On line.
- Sprugevica, I., & Høien, T. (2003). Early phonological skills as a predictor of reading acquisition: a follow-up study from kindergarten to the middle of grade 2. *Scand J Psychol.*, 44(2), 119-124.
- Stainthorp, R., & Hughes, D. (1998). Phonological sensitivity and reading: Evidence from precocious readers. *Journal of research in reading*, 21(1), 53-68.
- Stanovitch, K. E. (1992). Speculations on the causes and consequences of individual differences in early reading acquisition. In P. B. Gough, L. C. Ehri & R. Treiman (Eds.), *Reading acquisition* (pp. 307-342). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Stark, R. E., & Tallal, P. (1981). Selection of children with specific language deficits. *J Speech Hear Disord.*, 46(2), 114-122.
- Stein, J., & Walsh, V. (1997). To see but not to read; the magnocellular theory of dyslexia. *Trends Neurosci*, 20(4), 147-152.
- Stothard, S. E., Snowling, M. J., Bishop, D. V., Chipchase, B. B., & Kaplan, C. A. (1998). Language-impaired preschoolers: a follow-up into adolescence. *J Speech Lang Hear Res.*, 41(2), 407-418.
- Swan, D., & Goswami, U. (1997). Phonological awareness deficits in developmental dyslexia and the phonological representations hypothesis. *J Exp Child Psychol*, 66(1), 18-41.
- Swanson, H. L., & Alexander, J. E. (1997). Cognitive processes as predictors of word recognition and reading comprehension in learning-disabled and skilled readers: Revisiting the specificity hypothesis. *Journal of Educational Psychology*, 89(1), 128-158.
- Swanson, H. L., & Jerman, O. (2007). The influence of working memory on reading growth in subgroups of children with reading disabilities. *J Exp Child Psychol.*, 96(4), 249-283.
- Szenkovits, G., & Ramus, F. (2005). Exploring dyslexics' phonological deficit I: lexical vs sub-lexical and input vs output processes. *Dyslexia.*, 11(4), 253-268.
- Talairach, J., & Tournoux, P. (1988). *Co-planar-stereotaxic atlas of the human brain 3-dimensional-proportional system : an approach to cerebral imaging*. Stuttgart: George Thieme Verlag.

- Tallal, P., Merzenich, M. M., Miller, S., & Jenkins, W. (1998). Language learning impairments: integrating basic science, technology, and remediation. *Exp Brain Res*, 123(1-2), 210-219.
- Tallal, P., & Piercy, M. (1973). Developmental aphasia: impaired rate of non-verbal processing as a function of sensory modality. *Neuropsychologia*, 11(4), 389-398.
- Tallal, P., & Piercy, M. (1974). Developmental aphasia: rate of auditory processing and selective impairment of consonant perception. *Neuropsychologia*, 12(1), 83-93.
- Tallal, P., & Piercy, M. (1975). Developmental aphasia: the perception of brief vowels and extended stop consonants. *Neuropsychologia*, 13(1), 69-74.
- Temple, E. (2002). Brain mechanisms in normal and dyslexic readers. *Curr Opin Neurobiol*, 12(2), 178-183.
- Temple, E., Poldrack, R. A., Salidis, J., Deutsch, G. K., Tallal, P., Merzenich, M. M., et al. (2001). Disrupted neural responses to phonological and orthographic processing in dyslexic children: an fMRI study. *Neuroreport*, 12(2), 299-307.
- Thal, D. J., Miller, S., Carlson, J., & Vega, M. M. (2005). Nonword repetition and language development in 4-year-old children with and without a history of early language delay. *J Speech Lang Hear Res*, 48(6), 1481-1495.
- Tijjms, J. (2004). Verbal memory and phonological processing in dyslexia. *Journal of research in reading*, 27(3), 300-310.
- Tomblin, J. B., Records, N. L., Buckwalter, P., Zhang, X., Smith, E., & O'Brien, M. (1997). Prevalence of specific language impairment in kindergarten children. *J Speech Lang Hear Res*, 40(6), 1245-1260.
- Tomblin, J. B., Zhang, X., Buckwalter, P., & Catts, H. (2000). The association of reading disability, behavioral disorders, and language impairment among second-grade children. *J Child Psychol Psychiatry*, 41(4), 473-482.
- Trauzettel-Klosinski, S., Durrwachter, U., Klosinski, G., & Braun, C. (2006). Cortical activation during word reading and picture naming in dyslexic and non-reading-impaired children. *Clin Neurophysiol*, 117(5), 1085-1097. Epub 2006 Mar 1023.
- Treiman, R., & Rodriguez, K. (1999). Young children use letter names in learning to read words. *Psychological Science*, 10(4), 334-338.
- Treiman, R., Sotak, L., & Bowman, M. (2001). The roles of letter names and letter sounds in connecting print and speech. *Mem Cognit*, 29(6), 860-873.
- Treiman, R., Tincoff, R., & D., R.-W. E. (1996). Letter names help children to connect print and speech. *Dev Psychol*, 32(3), 505-514.
- Tubach, J. L., & Boë, L., J. (Eds.). (1990). *Un corpus de transcription phonétique*. Moulins: France: Telecom.

- Turkeltaub, P. E., Eden, G. F., Jones, K. M., & Zeffiro, T. A. (2002). Meta-analysis of the functional neuroanatomy of single-word reading: method and validation. *Neuroimage.*, *16*(3 Pt 1), 765-780.
- Turkeltaub, P. E., Gareau, L., Flowers, D. L., Zeffiro, T. A., & Eden, G. F. (2003). Development of neural mechanisms for reading. *Nat Neurosci*, *6*(7), 767-773.
- Valdois, S., Bosse, M. L., & Tainturier, M. J. (2004). The cognitive deficits responsible for developmental dyslexia: review of evidence for a selective visual attentional disorder. *Dyslexia*, *10*(4), 339-363.
- Van Atteveldt, N., Formisano, E., Goebel, R., & Blomert, L. (2004). Integration of letters and speech sounds in the human brain. *Neuron*, *43*(2), 271-282.
- van Daal, J., Verhoeven, L., & van Balkom, H. (2007). Behaviour problems in children with language impairment. *J Child Psychol Psychiatry*, *48*(11), 1139-1147.
- van der Lely, H. K., & Howard, D. (1993). Children with specific language impairment: linguistic impairment or short-term memory deficit? *J Speech Hear Res.*, *36*(6), 1193-1207.
- Van Reybroeck, M. (2003). Elaboration d'une batterie d'épreuves évaluant les compétences phonologiques. Unpublished Unpublished Master in Psychological and Education Sciences. Brussels Free University.
- van Weerdenburg, M., Verhoeven, L., & van Balkom, H. (2006). Towards a typology of specific language impairment. *J Child Psychol Psychiatry.*, *47*(2), 176-189.
- Vandenberghe, R., Price, C., Wise, R., Josephs, O., & Frackowiak, R. S. (1996). Functional anatomy of a common semantic system for words and pictures. *Nature*, *383*(6597), 254-256.
- Vellutino, F. R., Scanlon, D. M., & Spearing, D. (1995). Semantic and phonological coding in poor and normal readers. *J Exp Child Psychol.*, *59*(1), 76-123.
- Vellutino, F. R., Steger, J. A., Harding, C. J., & Phillips, F. (1975). Verbal vs non-verbal paired-associates learning in poor and normal readers. *Neuropsychologia.*, *13*(1), 75-82.
- Wagner, R. K., & Torgesen, J. K. (1987). The nature of phonological processing and its causal role in the acquisition of reading skills. *Psychological bulletin*, *101*(2), 192-212.
- Wagner, R. K., Torgesen, J. K., Laughon, P., Simmons, K., & Rashotte, C. A. (1993). Development of young readers' phonological processing abilities. *Journal of Educational Psychology*, *85*(1), 83-103.
- Wagner, R. K., Torgesen, J. K., & Rashotte, C. A. (1994). Development of reading-related phonological processing abilities : new evidence of bidirectional causality from latent variable longitudinal study. *Dev Psychol.*, *30*(1), 73-87.

- Wagner, R. K., Torgesen, J. K., Rashotte, C. A., Hecht, S. A., Barker, T. A., Burgess, S. R., et al. (1997). Changing relations between phonological processing abilities and word-level reading as children develop from beginning to skilled readers: A 5-year longitudinal study. *Dev Psychol.*, *33*(3), 468-479.
- Wechsler, D. (1991). *WISC-III Echelle d'intelligence de Wechsler pour enfants, Troisième édition*. Paris: ECPA.
- Wechsler, D. (2005). *Wisc IV Echelle d'intelligence de WECHSLER pour enfants et adolescents, Quatrième édition*. Paris: ECPA.
- Weismer, S. E., Plante, E., Jones, M., & Tomblin, J. B. (2005). A functional magnetic resonance imaging investigation of verbal working memory in adolescents with specific language impairment. *J Speech Lang Hear Res*, *48*(2), 405-425.
- Weismer, S. E., Tomblin, J. B., Zhang, X., Buckwalter, P., Chynoweth, J. G., & Jones, M. (2000). Nonword repetition performance in school-age children with and without language impairment. *J Speech Lang Hear Res*, *43*(4), 865-878.
- Werker, J. F., & Tees, R. C. (1984). Cross-language speech perception: Evidence for perceptual reorganization during the first year of life. *Infant-Behavior and Development*, *7*, 49-63.
- Windfuhr, K. L., & Snowling, M. (2001). The relationship between paired associate learning and phonological skills in normally developing readers. *Journal of experimental child psychology*, *80*(2), 160-173.
- Windsor, J., & Hwang, M. (1999). Testing the generalized slowing hypothesis in specific language impairment. *J Speech Lang Hear Res.*, *42*(5), 1205-1218.
- Wolf, M., & Bowers, P. G. (1999). The double-deficit hypothesis for the developmental dyslexias. *Journal of Educational Psychology*, *91*(3), 415-438.
- Wolf, M., Bowers, P. G., & Biddle, K. (2000). Naming-speed processes, timing, and reading: a conceptual review. *J Learn Disabil.*, *33*(4), 387-407.
- Wolf, M., & Obregon, M. (1992). Early naming deficits, developmental dyslexia, and a specific deficit hypothesis. *Brain Lang.*, *42*(3), 219-247.
- Wood, A. G., Harvey, A. S., Wellard, R. M., Abbott, D. F., Anderson, V., Kean, M., et al. (2004). Language cortex activation in normal children. *Neurology*, *63*(6), 1035-1044.
- Wright, B. A., Lombardino, L. J., King, W. M., Puranik, C. S., Leonard, C. M., & Merzenich, M. M. (1997). Deficits in auditory temporal and spectral resolution in language-impaired children. *Nature.*, *387*(6629), 176-178.
- Xu, B., Grafman, J., Gaillard, W. D., Ishii, K., Vega-Bermudez, F., Pietrini, P., et al. (2001). Conjoint and extended neural networks for the computation of speech codes: the neural basis of selective impairment in reading words and pseudowords. *Cereb Cortex*, *11*(3), 267-277.

- Zatorre, R. J., Meyer, E., Gjedde, A., & Evans, A. C. (1996). PET studies of phonetic processing of speech: review, replication, and reanalysis. *Cereb Cortex*, 6(1), 21-30.
- Ziegler, J. C., & Goswami, U. (2005). Reading acquisition, developmental dyslexia, and skilled reading across languages: a psycholinguistic grain size theory. *Psychol Bull.*, 131(1), 3-29.

ANNEXES

Annexe 1 : Stimuli utilisés dans les épreuves phonologiques

A/ Discrimination phonologique

DISCRIMINATION DE PAIRES MINIMALES															
Van Reybroeck, M., Content, A., Alegria, J., Leybaert, J. & Mousty, P															
Partie 1							Partie 2								
da	ba	tra	dra	ba	ba	ja	cha	ba	ba	va	za	sa	ja	va	va
dra	dra	ba	ba	fra	fra	ga	ga	sa	sa	gla	kla	va	va	ja	sa
pa	pa	psa	tsa	cha	sa	chna	chna	pla	bla	dra	pra	bra	bra	tra	tra
ka	ga	ma	na	ja	ja	pra	dra	tsa	psa	za	za	ja	ja	ma	ma
za	ja	fla	fla	bra	dra	bla	pla	za	za	ba	pa	da	ta	fla	fra
pra	pra	bla	bra	chna	jna	fa	fa	da	da	dra	dra	bla	bla	va	fa
sma	sna	pla	pla	kla	kla	sa	cha	ta	ba	spa	sta	pa	ba	tra	tra
gra	gra	sna	sma	psa	psa			ja	ja	gla	gla	dra	tra		
Partie 3							Partie 4								
va	va	fra	fra	sta	spa	vra	fra	bla	bla	ba	da	ta	ta	pa	da
ja	za	dra	bra	cha	cha	kra	gra	va	ja	pra	pra	pa	pa	tsa	tsa
bra	pra	ta	ta	da	pa	za	za	kra	kra	ja	va	na	ma	kla	gla
dra	dra	tra	pra	pra	tra	pa	pa	sa	sa	sa	sa	bra	bra	bra	bla
jna	chna	ba	ta	na	na	pra	bra	ta	da	gra	kra	cha	cha	ka	ka
pra	pra	sta	sta	ta	ta	sa	za	sma	sma	da	da	za	sa	za	va
spa	spa	vra	vra	fra	fla	da	da	ga	ka	fra	vra	bra	bra	sna	sna
ta	pa	pa	ta	jna	jna			cha	ja	ja	ja	fa	va		

<u>Réponses correctes sur les paires dissemblables</u>					
	Voisement		Lieu articulation		TOTAL
	Simple	Gr. Cons.	Simple	Gr. Cons.	
Occlusives	..... /6 p-b; t-d; k-g	..... /10 br-pr; tr-dr; kr-gr; pl-bl; kl-gl	..... /8 t-p; b-d; p-d; t-b	..... /10 tr-pr; br-dr; st-sp; ts-ps; pr-dr	..... /34 %
Fricatives	..... /6 f-v; s-z; j-ch	..... /4 fr-vr; jn-chn	..... /10 z-j; ch-s; v-z; s-j; v-j		..... /20 %
Liqu/nasales			..... /2 m-n	..... /6 sm-sn; fr-fl; bl-br	..... /8 %
TOTAL	..... /12 ..... %	..... /14 ..... %	..... /20 ..... %	..... /16 ..... %	..... /62 %

B/ Conscience phonologique

Jugement de la rime commune		Jugement de la syllabe commune	
Entraînement	NICHE / BICHE NICHE / BALLON BOUTON / GUITARE MOUTON / BOUTON	Entraînement	POUSSIN / POULET POUSSIN / CHAPEAU COLLANT / LANDAU COLLANT / POISSON
Orthographe identique	TARTE / CARTE LAPIN / SAPIN MOUCHE / LOUCHE BATEAU / RATEAU PAIN / TRAIN CHAISE / FRAISE	1 ^{ère} syllabe	RATEAU / RADIS POIREAU / POISSON CISEAU / CITRON MOUCHOIR / MOUTON COCHON / COLLIER SERVIETTE / SERPENT
Orthographe différente	LOUP / CHOU FLEUR / BEURRE GLACE / TASSE COQ / PHOQUE FEU / NŒUD DOIGT / CROIX	Mixte	PINCEAU / SAPIN TARTINE / GUITARE TOMATE / MOTO HIBOU / BOUTEILLE PINGOUIN / SAPIN TONDEUSE / MOUTON
Complètement différents	PAIN / BEURRE GATEAU / BONBON GIRAFE / MOUTON NOIX / FEU	Complètement différents	CAMION / CISEAU CEINTURE / MARTEAU CAROTTE / SUCETTE BALLON / CHEVAL SERPENT / CAROTTE POUPEE / RAISIN
Voyelle identique	CUBE / PULLL VACHE / TABLE RUCHE / LUNE REGLE / ZEBRE		Similitude 1 ^{ère} syllabe	CHAPEAU / GIRAFE BOUTEILLE / POULET MOUTON / POUCKETTE
Coda identique	LAMPE / JUPE TARTE / PORTE CHAISE / ROSE NICHE / VACHE	Similitude mixte	CHAPEAU / BONNET CHEVAL / COCHON CHAMEAU / BOUTON

Jugement du phonème commun		Supression du phonème initial	
Entraînement	CARTE / CUBE PAIN / COQ BOL / VERRE TIGRE / BOTTE	Entraînement	CHOUX / HOUX VACHE / TABLE DRAP / RAT PAIN / BEURRE
1 ^{er} phonème – orthographe identique	CHAT / CHAISE BOL / BEURRE TIGRE / TABLE CAGE / QUILLE PHOQUE / FEU CERF / SEAU	Suppression	CLOU / LOUP PNEU / NŒUD BRAS / RAT FEUILLE / ŒIL DOIGT / OIE VACHE / HACHE ROUE / HOUX CANNE / ANE PAIN / UN NOIX / OIE NEUF / ŒUF REGLE / AIGLE
Mixte – orthographe identique	CHIEN / VACHE POIRE / LAMPE BOTTE / CUBE		
Mixte – orthographe différente	CANNE / PHOQUE JAMBE / LUGE JUPE / CAGE		
Complètement différents	NID / COQ CHAISE / CARTE LION / VERRE LAMPE / CHAISE	Complètement différents	ROBE / ANE FRAISE / CHIEN LIVRE / AIGLE FEUILLE / HACHE RAT / HOUX GRUE / PAIN
Similitude labiale 1 ^{er} phonème	JUPE / CHIEN BOL / POIRE VERRE / FIL NID / TASSE		DOIGT / BRAS LOUP / ROUE CROIX / NOIX
Similitude labiale mixte	PULL / ROBE DOIGT / CANNE FRAISE / CHIEN CHAISE / LUGE	Rime commune	CHAT / RAT CLOU / CHOUX LOUCHE / HOUX

C/ Mémoire phonologique**C1/ Répétition de non-mots**

Unisyllabes		Bisyllabes	
Fréquence phonotactique		Fréquence phonotactique	
Elevée	Faible	Elevée	Faible
ban	bǎn	badmaf	bəvzɑɲ
dap	dɛ̃b	ʃamʃaʒ	ʃubtug
ʒyk	ʒof	dildɔʒ	dɛ̃ʃlœt
fat	fub	fɛktim	fyʒnyv
fyl	føn	fitsiz	fummyv
fol	fyʒ	komʒɑR	kœ̃gʒɔn
ʃob	ʃub	kəbʃiz	kɛpbub
gef	guf	kɔ̃sgul	kɛ̃pbø̃g
gon	gyʃ	lǎmdəb	lofbɛ̃b
kub	kog	ləpdap	lɛ̃gfø̃ʃ
mam	mub	mamtiz	miʒɲob
sɛʒ	son	pokmet	pogkø̃ʒ
tɔ̃f	tø̃f	rɛmsǎt	rɛ̃ʃgyʃ
pab	pyg	rɛRnit	ryvvɔv
rɔ̃f	rɛ̃v	zasRɔR	zɛʒgob

C2/ Rappel sériel immédiat

	Mots		Nonmots FE		Nonmots FF	
	Essai 1	Essai 2	Essai 1	Essai 2	Essai 1	Essai 2
Longueur 1	cave	four	nal	dur	tœv	zœg
Longueur 2	vite	vol	zit	vɔn	vʏz	vøk
	rêve	rouge	rez	ruk	rœg	rɔb
Longueur 3	linge	mec	lɛn	zas	lœt	møg
	mangue	rame	māb	res	myʒ	pɔz
	neige	passe	neʃ	sam	nov	run
Longueur 4	faire	longue	fɛl	mag	goʒ	løg
	gamme	mâche	gap	nɔb	fib	moʒ
	gêne	moche	ʒez	lɔʃ	ʒɔz	zuk
	lac	nord	lep	mɔz	ʒom	nyʃ
Longueur 5	dune	tige	dys	tib	dum	soʃ
	cygne	route	siʒ	ruz	syg	zuf
	chef	veuve	ʃɛʃ	vœt	fãʃ	vɔv
	chœur	riche	kœm	rig	kyf	ryv
	tête	zèle	tit	zɛk	tɔʀ	røk
Longueur 6	pêche	bombe	peb	bɔf	pig	bɛb
	loupe	pouce	luz	pud	løn	køt
	pâle	cause	sad	zot	pug	pāb
	gosse	soupe	nep	sus	søʃ	fœz
	nuque	fête	sɛl	fɛm	zœz	ruf
	singe	râle	nyp	lab	gug	fãp

NB : FE : Fréquence phonotactique élevée – FF : Fréquence phonotactique faible

C3/ Reconnaissance de non-mots

	Essai 1			Essai 2			Essai 3			Essai 4		
	Liste cible	Liste test	Fréq. Phono.	Liste cible	Liste test	Fréq. Phono.	Liste cible	Liste test	Fréq. Phono.	Liste cible	Liste test	Fréq. Phono.
Longueur 2	tœv	zœg	89	bām	bām	41	bœz	əœz	55	suf	suf	156
	zoeg	tœv	322	fid	fid	84	fum	fum	31	kāv	kāv	484
		foeg	101		gām	25		foez	107		duf	72
		rœv	167		gid	12		lum	63		nāv	428
Longueur 3	ruv	ruv	341	pɔʒ	pɔʒ	492	kyf	kyf	419	sēv	sēv	256
	nog	nog	158	ɲob	ɲob	2	som	som	63	vyf	vyf	143
	ʒeb	ʒeb	135	tun	tun	1164	pār	pār	314	tøm	tøm	9
		nuv	517		sɔʒ	522		zyf	322		mēv	266
		log	208		ʒob	27		ʒom	27		pyf	138
		déb	241		vun	1399		vār	289		ʒøm	13
Longueur 4	bēf	bēf	47	faf	faf	119	fuʒ	fuʒ	2	vɔʃ	vɔʃ	161
	føf	føf	8	nɔz	nɔz	308	vøl	vøl	115	zuk	zuk	80
	vɔz	vɔz	161	zor	zor	157	mœt	mœt	40	byp	byp	126
	mug	mug	60	vøn	vøn	115	niv	niv	767	rəl	rəl	136
		fēf	14		faf	356		luʒ	63		nɔʃ	308
		løf	19		mɔz	254		røl	83		muk	60
		bɔz	168		lor	308		vœt	2		vyp	143
		lug	63		rvn	83		ziv	421		fəl	142
Longueur 5	ziʒ	ziʒ	421	møg	møg	8	roʃ	roʃ	302	rēb	rēb	135
	bab	bab	176	bāl	bāl	41	ʒef	ʒef	135	fɔv	fɔv	297
	kof	kof	142	piʃ	piʃ	182	dub	dub	72	nom	nom	158
	fœf	fœf	101	dop	dop	124	bāʃ	bāʃ	41	bug	bug	127
	sēm	sēm	256	syg	syg	648	gig	gig	12	kœv	kœv	121
		viʒ	566		føg	8		boʃ	253		zēb	138
		gab	271		gāl	25		zef	243		nɔv	308
		tof	201		ʒiʃ	262		mub	60		nom	2
		bœf	55		zop	157		fāʃ	82		dug	72
		lēm	207		lyg	866		ʃig	84		zœv	150

NB : Fréq. Phono. : Fréquence Phonotactique

C4/ Reconnaissance de l'ordre sériel de chiffres

Longueur 2	1 2	2 1
	1 2	1 2
	3 1	3 1
	2 3	2 3
	2 3	3 2
	2 1	2 1
Longueur 3	1 3 2	3 1 2
	2 3 1	2 3 1
	3 2 1	1 3 2
	3 1 2	3 1 2
	1 3 2	3 1 2
	2 1 3	1 2 3
Longueur 4	3 1 2 4	3 2 1 4
	2 3 1 4	2 3 4 1
	2 1 4 3	2 4 1 3
	4 2 3 1	4 2 3 1
	3 4 2 1	4 3 2 1
	1 4 3 2	1 4 3 2
Longueur 5	2 4 1 3 5	2 4 1 3 5
	3 2 5 1 4	3 2 1 5 4
	1 3 4 5 2	3 1 4 5 2
	5 2 4 3 1	5 2 4 1 3
	1 3 4 2 5	1 3 4 2 5
	4 3 5 2 1	4 5 3 2 1
Longueur 6	2 6 1 3 4 5	2 6 3 1 4 5
	5 2 6 1 3 4	5 2 6 1 3 4
	6 5 1 3 2 4	6 5 1 3 2 4
	4 6 1 5 3 2	4 6 1 5 2 3
	3 1 5 6 4 2	1 3 5 6 4 2
	1 6 2 4 5 3	1 6 2 5 4 3

**Annexe 2 : Fréquences phonotactique des items
de l'épreuve de répétition de non-mots**

Fréquences phonotactiques moyennes pour les diphones des non-mots de l'épreuve de répétition de non-mots

Chaîne phonologique		Fréquence phonotactique (occurrence par millier)		Test-t	
CVC	CV	FE FF	648 58	t(28) = 2.48	p < .01
	VC	FE FF	475 75	t(28) = 2.87	p < .01
CVCCVC	C ₁ V ₁	FE FF	786 207	t(28) = 4.16	p < .001
	V ₁ C ₂	FE FF	1121 113	t(28) = 4.51	p < .001
	C ₃ V ₂	FE FF	706 200	t(28) = 2.96	p < .001
	V ₂ C ₄	FE FF	1112 102	t(28) = 4.55	p < .001

NB : C : consonnes – V : voyelles – FE : fréquence phonotactique élevée – FF : fréquence phonotactique faible

<u>Annexe 3 : Protocoles de passation</u>
--

A/ Blocs d'épreuves administrés lors de l'étude longitudinale en grande section de maternelle et en fin de CP

Passation en petits groupes

Test de reconnaissance des mots de Khomsi (en fin de CP uniquement)

PM47 (en GSM uniquement)

Bloc 1

Echelle de vocabulaire en image Peabody

Paires minimales

Jugement de rime

Répétition de non mots unisyllabiques - bisyllabiques

Bloc 2

Reconnaissance de l'ordre sériel de chiffre

Paires minimales

Test de l'Alouette (en fin de CP uniquement)

Jugement du phonème commun

Rappel sériel immédiat de mots

Bloc 3

Dénomination d'images

Paires minimales

Jugement de la syllabe commune

Rappel sériel immédiat de non-mots de fréquence phonotactique faible

Dénomination de lettres

Bloc 4

Reconnaissance de non-mots

Paires minimales

Suppression du phonème initial

Rappel sériel immédiat de non-mots de fréquence phonotactique élevée

B/ Blocs d'épreuves administrés lors de l'étude longitudinale en début de CP

Bloc 1

Paires minimales (bloc 1)

Jugement de rime

Répétition de non mots unisyllabiques - bisyllabiques

Dénomination de lettres

Jugement du phonème commun

Paires minimales (bloc 2)

Bloc 2

Paires minimales (bloc 3)

Jugement de syllabe commune

Test de l'Alouette

Suppression du phonème initial

Paires minimales (bloc 4)

C/ Blocs d'épreuves administrés lors des études transversale et neuropsychologique

Bloc 1

PM47 (pour les enfants normo-lecteurs uniquement)
Echelle de vocabulaire en image Peabody
Paires minimales
Jugement de rime
Répétition de non mots unisyllabiques - bisyllabiques

Bloc 2

Reconnaissance de l'ordre sériel de chiffre
Paires minimales
Test de l'Alouette
Jugement du phonème commun
Rappel sériel immédiat de mots

Bloc 3

Dénomination d'images
Paires minimales
Jugement de la syllabe commune
Test de reconnaissance des mots de Khomsi
Rappel sériel immédiat de non-mots de fréquence phonotactique faible

Bloc 4

Reconnaissance de non-mots
Paires minimales
Suppression du phonème initial
Rappel sériel immédiat de non-mots de fréquence phonotactique élevée

Annexe 4 : Données complémentaires de l'étude neuropsychologique

A/ Analyses des performances de discrimination phonologique sans le groupe de même âge.

Analyse 1 réalisée avec les facteurs inter-sujets groupes et trait articulatoire :

- groupe ($F(2,30) = 5.53, p < .01$)
- trait articulatoire ($F(1,30) = 58.83, p < 0.00001$)
- interaction groupe x trait articulatoire ($F(2,30) = 8.59, p < .01$) ;

Analyse 2 réalisée avec les facteurs inter-sujets groupes et mode d'articulation :

- groupe ($F(2,30) = 3.91, p < .05$)
- mode d'articulation ($F(2,60) = 9.78, p < .001$)
- interaction groupe x mode d'articulation ($F(4,60) = 1.23, ns$)

B/ Performances obtenues par les quatre groupes d'enfants pour la tâche de rappel sériel immédiat avec les deux cotations

.Les performances pour les trois types d'items (mots, non-mots de fréquence phonotactique élevée et faible) sont moyennées.

Type de cotation	Longueur	Dyslexiques		Dysphasiques		Contrôles appariés sur le niveau de lecture		Contrôles appariés sur l'âge chronologique	
		M	E-T	M	E-T	M	E-T	M	E-T
Cotation par liste	1 item	96,4	13,4	100,0	0,0	80,0	42,2	100,0	0,0
	2 items	96,4	13,4	85,0	33,7	75,0	42,5	90,0	21,1
	3 items	42,9	38,5	35,0	41,2	40,0	39,4	55,0	43,8
	4 items	3,6	13,4	10,0	21,1	20,0	25,8	25,0	35,4
	5 items	0,0	0,0	0,0	0,0	5,0	15,8	15,0	24,2
	6 items	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Cotation par item	1 item	92,9	18,2	93,3	16,1	98,3	5,3	100,0	0,0
	2 items	83,9	19,2	80,8	18,9	94,2	7,9	91,7	12,4
	3 items	56,7	24,9	36,1	16,4	62,2	14,1	73,3	19,6
	4 items	28,6	11,4	20,8	9,6	34,2	12,7	47,9	18,0
	5 items	20,0	12,5	14,0	6,4	19,7	10,5	31,7	14,4
	6 items	13,1	7,6	10,8	6,2	12,5	8,9	20,3	9,9

Annexe 5 : Stimuli utilisés dans les expériences en IMRf

A/ Stimuli utilisés dans l'épreuve de décision lexicale

Monosyllabes				Bisyllabes			
Mots	Pseudo-mots	Mots	Pseudo-mots	Mots	Pseudo-mots	Mots	Pseudo-mots
nez	ned	jambe	jampe	vélo	gélo	mouton	monton
lit	tit	fleur	gleur	moto	mato	tomate	tomute
bol	dol	pomme	pomne	lapin	lapif	étoile	étuille
feu	fed	poule	noule	stylo	stalo	cochon	coclon
coq	cod	livre	linre	poire	poare	bouton	bouron
âne	one	porte	porle	avion	asion	canard	casard
nid	nif	vache	viche	balai	batai	citron	gitron
rat	raf	boîte	roîte	piano	piabo	tortue	torfue
main	mait	nuage	nauge	fusée	vusée	panier	ranier
chien	chion	train	prain	hibou	dibou	fourmi	bourmi
pain	paen	pelle	pelte	gilet	vilet	râteau	raleau
ped	piel	singe	sinre	poupée	roupée	bougie	boulie
chat	clat	coeur	coeut	gâteau	sâteau	ciseau	ciseou
robe	rabe	lampe	sampe	ballon	dallon	cerise	cetise
bras	blas	botte	fotte	oreille	oroille	raisin	raifin
ours	outs	corde	corpe	crayon	crajon	renard	resard
jupe	gupe	pêche	fêche	maison	naison	valise	valose
lion	tion	tasse	tasje	oiseau	oiteau	église	éflise
lune	lume	plume	plude	soleil	soteil	toupie	tousie
clef	clep	tigre	pigre	cheval	chemal	moulin	toulin
gant	mant	noeud	noeuj	carotte	carutte	flèche	plèche
loup	leup	bague	mague	souris	sonris	violon	voilon
roue	quoie	crabe	crale	orange	oraige	landau	gandau
banc	banl	niche	giche	camion	carion		
cage	cade	règle	bègle				
clou	cloi	zèbre	zèble				
vase	dase	veste	vespe				
pipe	pibe	mouche	fouche				
chou	chon	brosse	prosse				
pouce	poude	fraise	kraise				
verre	verle	peigne	prigne				
balle	balte	chèvre	chèfre				
doigt	doint	montre	pontre				
table	takle	cloche	bloche				
arbre	arpre	douche	doucre				
chaise	claise	chaîne	chaîle				

Réponses Non					Réponses Oui				
ɔ̃ ɲ ʒ	ʒ ɲ ɔ̃	ʒ ɔ̃ ɲ	ɲ ʒ ɔ̃	ʒ ɔ̃ ɲ ɲ	ɲ ɲ ɲ	ɲ ɲ ɲ	ɲ ɲ ɲ	ɲ ɲ ɲ	ɲ ɲ ɲ
ɔ̃ ɲ ɲ	ɲ ɲ ɲ	ɲ ɲ ɲ	ɲ ɲ ɲ	ɲ ɲ ɲ	ɲ ɲ ɲ	ɲ ɲ ɲ	ɲ ɲ ɲ	ɲ ɲ ɲ	ɲ ɲ ɲ
ɲ ɲ ɲ	ɲ ɲ ɲ	ɲ ɲ ɲ	ɲ ɲ ɲ	ɲ ɲ ɲ	ɲ ɲ ɲ	ɲ ɲ ɲ	ɲ ɲ ɲ	ɲ ɲ ɲ	ɲ ɲ ɲ
ɲ ɲ ɲ	ɲ ɲ ɲ	ɲ ɲ ɲ	ɲ ɲ ɲ	ɲ ɲ ɲ	ɲ ɲ ɲ	ɲ ɲ ɲ	ɲ ɲ ɲ	ɲ ɲ ɲ	ɲ ɲ ɲ
ɲ ɲ ɲ	ɲ ɲ ɲ	ɲ ɲ ɲ	ɲ ɲ ɲ	ɲ ɲ ɲ	ɲ ɲ ɲ	ɲ ɲ ɲ	ɲ ɲ ɲ	ɲ ɲ ɲ	ɲ ɲ ɲ
ɲ ɲ ɲ	ɲ ɲ ɲ	ɲ ɲ ɲ	ɲ ɲ ɲ	ɲ ɲ ɲ	ɲ ɲ ɲ	ɲ ɲ ɲ	ɲ ɲ ɲ	ɲ ɲ ɲ	ɲ ɲ ɲ
ɲ ɲ ɲ	ɲ ɲ ɲ	ɲ ɲ ɲ	ɲ ɲ ɲ	ɲ ɲ ɲ	ɲ ɲ ɲ	ɲ ɲ ɲ	ɲ ɲ ɲ	ɲ ɲ ɲ	ɲ ɲ ɲ
ɲ ɲ ɲ	ɲ ɲ ɲ	ɲ ɲ ɲ	ɲ ɲ ɲ	ɲ ɲ ɲ	ɲ ɲ ɲ	ɲ ɲ ɲ	ɲ ɲ ɲ	ɲ ɲ ɲ	ɲ ɲ ɲ
ɲ ɲ ɲ	ɲ ɲ ɲ	ɲ ɲ ɲ	ɲ ɲ ɲ	ɲ ɲ ɲ	ɲ ɲ ɲ	ɲ ɲ ɲ	ɲ ɲ ɲ	ɲ ɲ ɲ	ɲ ɲ ɲ

B/ Stimuli utilisés dans l'épreuve de décision de rime

Rimes				Non-Rimes			
Homographes		Non-homographes					
enfant	devant	pas	chat	être	avoir	devoir	entre
matin	enfin	alors	encore	petit	autre	ainsi	avant
avant	enfant	maman	moment	alors	enfant	voilà	rendre
parler	aller	jamais	forêt	jamais	maison	tenir	penser
été	côté	venir	ouvrir	papa	matin	celui	maître
avoir	devoir	papa	voilà	pauvre	venir	maman	déjà
savoir	devoir	après	jamais	mettre	aussi	dormir	passer
penser	passer	petit	ami	savoir	notre	ami	moment
entrer	tirer	dormir	sentir	encore	forêt	ici	parler
devant	avant	cela	déjà	devant	garçon	aimer	sentir
venir	tenir	crier	été	cela	enfin	savoir	forêt
courir	ouvrir	moment	avant	vivre	penser	alors	déjà
avoir	savoir	ici	amis	enfin	mettre	rendre	savoir
être	mettre	que	deux	jamais	ainsi	chien	femme
les	des	chez	ses	que	les	sous	frère
grand	quand	elle	quel	pas	elle	voir	peur
dans	sans	tout	coup	quand	tout	croire	plein
pour	jour	mais	très	mais	lui	même	chez
beau	eau	lui	nuit	dit	pour	main	oui
terre	pierre	dit	qui	père	son	soir	bout
leur	peur	cette	tête	vous	bien	terre	blanc
fois	trois	gros	trop	moi	comme	noir	tant
comme	homme	haut	eau	beau	cette	quoi	air
car	par	heure	leur	gros	rire	temps	loin
coup	loup	près	vrai	car	heure	dire	beau
père	mère	femme	rame	vrai	tant	jour	près
son	mon	voix	quoi	deux	chat	chat	elle
faire	plaire	que	peu	jouer	quel	qui	tout
vous	nous	maison	garçon	quand	coup	homme	pierre
bien	chien	très	fait	fait	qui	ses	dans
moi	roi	puis	nuit	jour	puis	chien	trop
chien	rien	plein	main	mère	bon	rire	gros
sous	vous	blanc	tant	rien	nous	mon	pour
mon	bon	temps	blanc	homme	fois	moi	coup
frère	mère	tant	temps	eau	dire	puis	haut
père	frère	loin	main	tête	trop	peu	chat
sous	nous	bout	loup	par	près	près	bien
bien	rien	jouer	des	peu	blanc	coup	vrai
moi	toi	chez	ses	ses	roi	nuit	vers
rire	dire	haut	beau	nuit	très	leur	roi

Réponses Non				Réponses Oui			
smgbt	smgbt	sbgt	sbgt	sbtmg	tbmgs	smtg	smtb
tmbgs	tmbgs	tmgb	tmgb	tmbsg	bgsmt	gmtb	mgbt
bmsgt	bmsgt	bstm	bstm	bsmtg	msbgt	stmb	bmts
mgtsb	mgtsb	msgb	msgb	mgtsb	stgbm	bmst	tgsb
gtbms	gtbms	gbms	gbms	tmgbs	gbmts	gtsm	bmst
sbtgm	sbtgm	sgtm	sgtm	stgbm	mgst	mtsg	smbgt
tsmgb	tsmgb	tbsg	tbsg	tsbmg	tgbm	mtbg	gmsbt
btmsg	btmsg	bgms	bgms	btgms	gstb	tgbm	tbmsg
gsmtb	gsmtb	mgbt	mgbt	mtgbs	gbtm	tmbs	mtbgs
msbtg	msbtg	gmst	gmst	gmtsb	stbm	gtsb	stmbg